

Geologia dell'Ambiente

Periodico trimestrale della SIGEA
Società Italiana di Geologia Ambientale - APS



Fondatore *Giuseppe Gisotti*

Supplemento al n. 4/2023 ISSN 1591-5352

ATTI DEL CONVEGNO

LA GEOLOGIA AMBIENTALE AL SERVIZIO DEL PAESE

ROMA, 10-11 OTTOBRE 2022



A CURA DI

**Mario Bentivenga
ed Eugenio Di Loreto**

SESSIONE

RISORSE GEOLOGICHE





SPERI SOCIETÀ DI INGEGNERIA E DI ARCHITETTURA SPA

Una moderna società di ingegneria che porta a patrimonio fondamentale del proprio operato la conoscenza del contesto geologico e ambientale del territorio su cui interviene. Oltre 350 ruoli tecnici distribuiti su 8 sedi nazionali tra i quali oltre 25 tra geologi e ingegneri ambientali in costante crescita in numero e competenza. Partecipazione attiva nelle Associazioni Scientifiche e promozione della Ricerca e Sviluppo applicata all'ingegneria.



G.A.T. Dipartimento Geologia Ambiente e Territorio

 **SPERI**
TOGETHER. TOMORROW.

Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Associazione di protezione ambientale individuata con decreto ministeriale del 24 maggio 2007 e con successivo D.M. 238 del 28/07/2023 ai sensi dell'articolo 13, della legge 8 luglio 1986, n. 349

Fondatore *Giuseppe Gisotti*

PRESIDENTE
Antonello Fiore

CONSIGLIO DIRETTIVO NAZIONALE
Lorenzo Cadrobbi, Daria Duranti, Antonello Fiore (*Presidente*), Adele Garzarella, Giuseppe Gisotti (*Presidente Onorario*), Marianna Morabito, Stefania Nisio, Fabio Oliva, Michele Orifici (*Vice Presidente*), Vincent Ottaviani (*Vice Presidente*), Paola Pino d'Astora (*Tesoriere*), Luciano Masciocco, Sabina Porfido, Livia Soliani, Salvatore Valletta (*Segretario*)

Geologia dell'Ambiente
Periodico trimestrale della SIGEA - APS

Supplemento al N. 4/2023
Anno XXXI • ottobre-dicembre 2023

Iscritto al Registro Nazionale della Stampa n. 06352
Autorizzazione del Tribunale di Roma n. 229
del 31 maggio 1994

DIRETTORE RESPONSABILE
Antonello Fiore

CONDIRETTORE RESPONSABILE
Eugenio Di Loreto

COMITATO SCIENTIFICO
Mario Bentivenga, Aldino Bondesan, Francesco Cancellieri, Rachele Castro, Massimiliano Fazzini, Giuseppe Gisotti, Giancarlo Guado, Salvatore Lucente, Fabio Luino, Endro Martini, Luciano Masciocco, Davide Mastroianni, Antonio Paglionico, Mario Parise, Giacomo Prosser, Giuseppe Spilotro, Vito Uricchio, Gianluca Valensise

COMITATO DI REDAZIONE
Fatima Alagna, Federico Boccalaro, Valeria De Gennaro, Eugenio Di Loreto, Sara Frumento, Fabio Garbin, Michele Orifici, Vincent Ottaviani, Maurizio Scardella

REDAZIONE
SIGEA - APS c/o Fidaf - Via Livenna, 6 00198 Roma
info@sigeaweb.it

**PROCEDURA PER L'ACCETTAZIONE
DEGLI ARTICOLI**

I lavori sottomessi alla rivista dell'Associazione, dopo che sia stata verificata la loro pertinenza con i temi di interesse della Rivista, saranno sottoposti a un giudizio di uno o più referees

UFFICIO GRAFICO
Pino Zarbo (Fraserighe Book Farm)
www.fraserighe.it

PUBBLICITÀ
SIGEA - APS

STAMPA
Industria grafica Sagraf Srl, Capurso (BA)

La quota di iscrizione alla SIGEA-APS per il 2024 è di € 30 e da diritto a ricevere la rivista "Geologia dell'Ambiente".

Per ulteriori informazioni consulta il sito web all'indirizzo www.sigea-aps.it

Sommario

Prefazione	
MARCO AMANTI	5
Introduzione	
MARIO BENTIVENGA, EUGENIO DI LORETO	7
I giacimenti naturali di CO ₂ nel centro Italia	
ANTONIO MARIA BALDI	13
Caratteri idrologici e idrogeologici dell'Alto corso del T. Sentino (Marche-Umbria): indagini preliminari e valutazione delle risorse idriche	
MASSIMO BELBUSTI, MICHELE ROMAGNOLI, DANIELE FARINA, GIACOMO FURLANI, LUCA DE ANGELIS, CARLO BRENTARI	20
Valorizzazione geoturistica di antichi ipogei dell'agro nolano (Campania, Italia)	
GIANFRANCO CACCAVALE, DOMENICO CALCATERRA, MASSIMO RAMONDINI	27
Geopolimeri come materiali ecologici per il trattamento delle acque reflue	
VITO COFANO, MARINA CLAUSI, DANIELA PINTO	36
Erosione del suolo e degrado dell'ambiente naturale in contesti carsici	
UMBERTO SAMUELE D'ETTORRE, MARIO PARISE, ISABELLA SERENA LISO	43
Valutazione degli esiti del monitoraggio qualitativo dei Corpi Idrici Sotterranei in relazione alle pressioni antropiche insistenti sul territorio regionale della Puglia	
SILVIA DI CUNSOLO, CLAUDIA MARCELLA PLACENTINO, MINA LACARBONARA, VINCENZO MUSOLINO, VITO BRUNO, VINCENZO CAMPANARO	49
Attività estrattive nel territorio di Roma: evoluzione storica, normativa ed amministrativa; situazione attuale; prospettive e sviluppi futuri	
CRISTIANO DI FILIPPO	57

In copertina: Cascate di San Fele

Geo trekking urbano. Passeggiata tra i geositi della città eterna EUGENIO DI LORETO, MARINA FABBRI, MAURIZIO LANZINI, CARLO ROSA	67
Il Lago di Bracciano come infrastruttura naturale (Lazio, Italia) LUCA MARIA FALCONI, ALESSANDRO MECALI, FABIO MUSMECI, MARCO PROPOSITO, SARA TAVIANI	74
Studio per la valorizzazione geoturistica dell'area sud-orientale della provincia di Taranto CIRO GALEONE	81
I Geositi delle Marche: un patrimonio di geodiversità di eccezionale valore GIGLIOLA ALESSANDRONI, FABRIZIO BENDIA, PIERO FARABOLLINI, ENRICO GENNARI, OLIVIA NESCI, BENIAMINO TATALI, LAURA VALENTINI	89
Gli acquiferi carsici in contesti di cambiamento climatico: il caso della Regione Puglia (Italia meridionale) ISABELLA SERENA LISO, MARIO PARISE	102
Caratterizzazione chimico-fisica e biologica dell'area marina protetta Karaburun-Sazan ai fini della valutazione dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici, nella baia di Valona, Albania SIMONE MODUGNO, RACHELE CASTRO, IGLI PUSTINA, NEXHIP HYSOLAKOJ, LORELA LAZAJ, ENO DODBIBA, VIOLETA ZUNA	107
Applicazione della prima campagna IMAP nell'area di Patok-Rodoni, Albania SIMONE MODUGNO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, CARLO DEL GRANDE, MONICA PREVIATI, UBALDO PANTALEO, RACHELE CASTRO, GENC MYFTIU, ZAMIR DEDEJ, ANIS ZARROUK	114
Primi studi di valutazione dello stato delle praterie di <i>Posidonia oceanica</i> nell'area di Palasë, Albania SIMONE MODUGNO, RACHELE CASTRO, IGLI PUSTINA, GENTY KHROMIDA, ZAMIR DEDEJ	127
Prime linee guida di Pianificazione Spaziale Marina (MSP) per la baia di Valona, Albania SIMONE MODUGNO, RACHELE CASTRO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, GENC MYFTIU, ZAMIR DEDEJ, ANIS ZARROUK	134

Prime valutazioni sulla geomorfologia e bio-colonizzazione marine attraverso lo studio e il rilievo di alcuni relitti affondati lungo le coste albanesi SIMONE MODUGNO, RACHELE CASTRO, IGLI PUSTINA, MAURO PAZZI, CESARE BALZI, FABIO RUBERTI, GENTY KHROMIDA, ZAMIR DEDEJ	143
Il ruolo della Geologia Ambientale nella valutazione di potenzialità turistica e sostenibilità dell'arrampicata sportiva su pareti rocciose naturali MICHELE MOTTA	146
Il potenziale geotermico del Viterbese MARCELLO VITI	152
Le materie prime strategiche, usi industriali, la posizione italiana, ricorrenze e mercati FRANCESCO ZARLENGA	160

**“Investiamo con costanza
nello sviluppo di tecnologie
affidabili, innovative,
interoperabili e aperte
utili alla tutela del territorio
e alla salvaguardia
della popolazione.”**



*CAE S.p.A. propone un approccio multirischio
nella progettazione, realizzazione e manutenzione di
sistemi e tecnologie
per il monitoraggio e l'allertamento ambientale.*

CAE
innovation for a safer world.

Prefazione

La geologia ambientale è una disciplina affascinante, che si occupa dello studio dell'interazione tra l'uomo e l'ambiente geologico. Anzi, si può parlare decisamente di molte discipline che concorrono a raggiungere gli obiettivi che si prefigge.

Infatti, se da un lato è necessario conoscere i fenomeni e le loro dinamiche che interagiscono sul territorio, dall'altro è importante valutare l'impatto di tali dinamiche sul territorio stesso e sulle persone che ci vivono.

Quindi discipline quali l'idrogeologia, il rilevamento geologico, lo studio dei suoli, la sismica, la meteorologia e non solo si confrontano con archeologia, pianificazione territoriale, turismo e sviluppo nell'ottica di avere un quadro globale di conoscenza finalizzata a migliorare la qualità della vita delle persone.

La SIGEA svolge da anni una intensa attività di diffusione della conoscenza in questo campo, attraverso iniziative di promozione e divulgazione di risultati di ricerche scientifiche, con lo scopo di permettere una sempre più vasta diffusione della informazione, contemporaneamente cercando di sensibilizzare, oltre l'opinione pubblica, anche i decisori politici a tutti i livelli. Convegni molto seguiti e pubblicazioni specifiche e tematiche sono il risultato di questi sforzi.

In occasione dei suoi 30 anni di attività, nell'ottobre 2022, SIGEA ha organizzato il Convegno dal titolo "La geologia ambientale al servizio del Paese". Questo volume, in particolare, raccoglie i contributi presentati nel corso della terza Sessione di tale Convegno, proponendo una panoramica approfondita delle principali tematiche legate alle Risorse geologiche, dalla importante questione delle risorse idriche alla valorizzazione geoturistica del territorio, dagli effetti dei cambiamenti climatici sulle aree marine e costiere, dalla geotermia alle attività estrattive.

Quest'ultimo tema riveste una sempre maggiore preminenza nelle attività geologiche che occuperanno gli specialisti nei prossimi anni. Se è vero che le attività minerarie si sono praticamente esaurite alla fine del secolo scorso in Italia, è pure vero che le esigenze del nuovo modello di sviluppo economico legato alla quarta rivoluzione industriale ed al necessario contenimento delle emissioni climalteranti sta determinando una richiesta in continua crescita delle risorse minerarie strategiche utili per la realizzazione delle tecnologie verdi e per la riduzione dell'impronta di carbonio dei processi produttivi. La chiusura delle miniere, accompagnata dall'abbandono dei progetti di ricerca mineraria, ha comportato anche il declino dell'interesse verso la formazione universitaria, con la progressiva chiusura dei corsi di laurea in Ingegneria mineraria e in Geologia delle risorse minerarie con il conseguente allontanamento dall'Italia delle grandi imprese del settore. In questo momento è quindi necessario ricostruire le competenze e recuperare le conoscenze pregresse quali elementi propedeutici alla ripartenza del settore minerario in Italia, a supporto ed integrazione delle pratiche di Economia Circolare.

La Geologia Ambientale inoltre svolge un ruolo fondamentale per valorizzare e promuovere i geositi come risorse di interesse, scientifico, culturale, archeologico, e turistico. Essi sono spesso in aree protette o riserve naturali, e svolgono un ruolo cruciale nella conservazione della geodiversità, biodiversità e nella tutela dell'ecosistema. Forniscono infine informazioni preziose sulla storia geologica e climatica del nostro pianeta e sono indispensabili per preservare la memoria e le tradizioni delle comunità locali.

Ben vengano quindi iniziative legate alla geologia Ambientale che tengano conto anche di queste esigenze legate allo sviluppo del paese in maniera sostenibile.

Marco Amanti

Direttore del Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia

Sottocontrollo.



Strumenti ad alta tecnologia anche a noleggio per:

Studio del sottosuolo

Georadar, sismica, geoelettrica, magnetometria ...

Monitoraggio ambientale

Sonde e sensori oceanografici, droni marini ...

Studio dei fondali e delle coste

Multibeam, SSS, SBP, sismica marina ...

*Seleziona
il link!*

Tecnologie



Codevintec rappresenta anche:

KONTÜR
(ex 3D:Radars)

RBR



CODEVINTEC

Tecnologie per le Scienze della Terra e del Mare

tel. +39 02 4830.2175 | info@codevintec.it | www.codevintec.it

Introduzione

La Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA - APS) ha voluto celebrare i suoi 30 anni di attività, organizzando a Roma, nei giorni 10 e 11 ottobre 2022, il Convegno dal titolo “La geologia ambientale al servizio del Paese”.

L'evento è stato articolato in tre sessioni: 1) Rischi geologici; 2) Rischi ambientali; 3) Risorse geologiche. Le sessioni, presiedute da rappresentanti di vari Enti di ricerca e di associazioni ambientaliste, hanno ricevuto numerosi contributi inviati da illustri studiosi, provenienti da tutt'Italia. I riassunti arrivati per la sessione dedicata alle “Risorse geologiche” sono stati in totale 34 e di questi otto sono stati scelti per le comunicazioni orali. In questo volume, tra tutti i lavori presentati nella sessione 3, sono stati accettati e pubblicati 20, di notevole interesse perché affrontano problematiche riguardanti risorse geologiche molto diverse tra loro e che quindi implicano conoscenze differenti per il loro studio, tutela e valorizzazione. I contributi pubblicati hanno saputo coniugare il rigore scientifico con un linguaggio chiaro ed accessibile anche ai non specialisti.

Gli articoli sono stati inseriti seguendo l'ordine alfabetico degli Autori, i cui nominativi sono riportati all'inizio di ciascun contributo. Per meglio orientare il lettore, riteniamo utile dare di seguito alcune indicazioni sui diversi temi trattati, che spaziano dagli aspetti generali fino a quelli particolari e locali.

Il volume si apre con un articolo che tratta l'argomento dei giacimenti naturali di CO₂ presenti nel centro Italia, delle loro peculiarità geologiche e di come coltivarli (Baldi). Vengono inoltre, menzionati i diversi impieghi che ha la CO₂ nel campo medicale e alimentare e descritti i primi utilizzi industriali in Italia.

Quattro lavori affrontano tematiche legate alla valorizzazione geoturistica di luoghi di interesse geologico ipogei e epigei (Caccavale *et al.*, Di Loreto *et al.*, Galeone, e Motta). Due articoli illustrano lo studio dei geositi ed in particolare quelli della regione Marche (Alessandroni *et al.*), mentre l'altro affronta il problema di come gestire in modo sostenibile un'area naturale protetta di grande attrattività come il lago di Bracciano (Falconi *et al.*).

I lavori che si occupano delle tematiche riguardanti le risorse idriche sono quattro. In particolare, il primo descrive i caratteri idrologici e idrogeologici dell'Alto corso del torrente Sentino tra Umbria e Marche (Belbusti *et al.*). Il secondo lavoro (Di Cunsolo *et al.*), parla dei risultati di monitoraggio di corpi idrici sotterranei legati alla pressione antropica di un'area del territorio pugliese. Gli altri due studi hanno focalizzato l'attenzione sui paesaggi in ambienti carsici epigei, sulla loro tutela e le azioni da mettere in campo per proteggerli. Il primo lavoro affronta i problemi di erosione del suolo e del degrado ambientale a cui sono sottoposti alcuni paesaggi carsici (D'Ettore *et al.*), mentre il secondo ci mostra le caratteristiche degli acquiferi carsici e come questi siano influenzati dai cambiamenti climatici in atto (Liso e Parise).

Un contributo ci racconta l'evoluzione nel tempo delle attività estrattive eseguite nel territorio del Comune di Roma, i cambiamenti avvenuti a livello normativo e amministrativo, lo stato attuale e quale potrebbe essere la situazione nel prossimo futuro (Di Filippo).

Un tema di grande attualità è quello del reperimento delle materie prime di interesse strategico, perché trovano impiego in numerosi processi industriali e non solo (Zarlenga). L'autore descrive le diverse problematiche che interessano l'Italia, evidenziando che non sono presenti imprese che riescano a competere, a livello internazionale, nell'aver concessioni in altri paesi e non vi è una *road map* nazionale per la ricerca di materie prime strategiche.

La risorsa geotermica è stata illustrata in modo dettagliato nel lavoro sul potenziale geotermico del Viterbese (Viti). L'articolo ci permette di conoscere l'*Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali*, che riporta i risultati di tutte le indagini fatte, sul territorio italiano, negli ultimi decenni.

Nell'articolo di Cofano *et al.* si parla del trattamento delle acque reflue con materiale ecologico, come i geopolimeri. Di questi materiali sono state descritte



ARPALAZIO

AGENZIA REGIONALE PROTEZIONE AMBIENTALE DEL LAZIO

Cos'è l'ARPA Lazio?

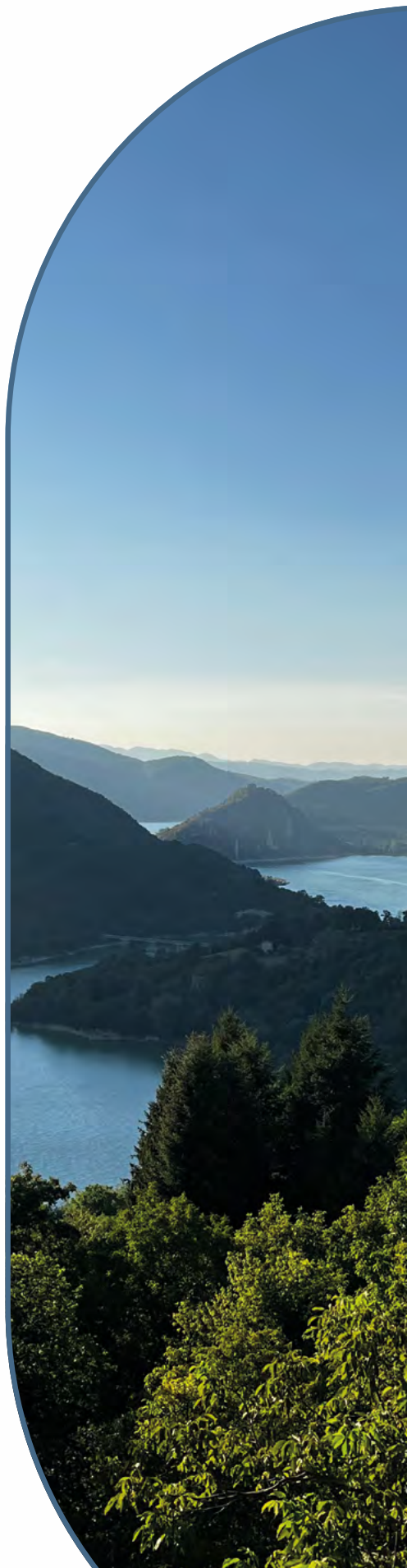
L'ARPA Lazio, Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale del Lazio, è ente strumentale della Regione Lazio istituito e disciplinato dalla Legge Regionale 6 ottobre 1998, n. 45. Le finalità dell'Agenzia sono indicate in apertura della legge istitutiva: sviluppo e potenziamento della tutela ambientale attraverso la definizione e la realizzazione di un sistema regionale permanente di protezione e di informazione ambientale basato su controlli oggettivi, attuabili e comparabili dal punto di vista scientifico.

Cosa fa l'ARPA Lazio?

In qualità di ente pubblico di natura tecnica, l'ARPA Lazio ha il ruolo di garantire la protezione dell'ambiente e della salute umana e contribuire a una sostenibile crescita economica. Con un organico di circa 500 persone dislocate in tutto il territorio del Lazio, l'Agenzia controlla e fornisce supporto su una vasta gamma di attività di interesse ambientale:

- monitora la qualità delle **acque** di balneazione come pure delle risorse idriche superficiali e sotterranee
- supporta la Regione nelle attività di monitoraggio della qualità dell'**aria** con la gestione della rete regionale di centraline di rilevamento fisse, con la realizzazione di campagne periodiche effettuate con mezzi mobili nelle zone del territorio regionale potenzialmente critiche e con l'uso di modelli di simulazioni di dispersione degli inquinanti
- in materia di **siti oggetto di bonifica**, effettua attività di vigilanza e controllo tecnico, verifiche analitiche e documentali, supporto tecnico agli enti locali e all'autorità giudiziaria
- effettua misurazioni degli **agenti fisici**, misure di campo elettromagnetico in abitazioni e luoghi di lavoro, campionamenti e misure per il controllo della radioattività ambientale
- collabora con gli enti locali dando pareri per il rilascio di autorizzazioni ad **attività produttive** che possono avere impatto sull'ambiente
- svolge funzioni di supporto e di consulenza tecnico-scientifica a Regione, enti locali e aziende sanitarie per lo svolgimento di compiti nel campo della **prevenzione** e tutela ambientale.
- si confronta con le **imprese** perché possano comprendere e adempiere alle loro responsabilità e obblighi ambientali e lavora in collaborazione con altri **soggetti pubblici e privati** per promuovere la comprensione dell'ambiente e costruire consenso sulle priorità e le questioni ambientali
- svolge attività di educazione ambientale per le scuole della regione e organizza **eventi formativi** o informativi
- diffonde **dati e informazioni ambientali**.

WWW.ARPALAZIO.IT



le loro caratteristiche e la loro efficacia nel trattamento delle acque reflue urbane ed industriali.

Modugno *et al.* hanno presentato cinque lavori che interessano le coste dell'Albania e che affrontano tematiche relative alle caratteristiche chimico-fisiche e biologiche delle acque, finalizzati alla valutazione dell'impatto legato ai cambiamenti climatici. Gli autori hanno applicato, per la prima volta nell'area di studio, la campagna IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*). Inoltre, hanno descritto le linee guida di MSP (*Marine Spatial Planning*). L'ultimo dei cinque lavori presentati da Modugno *et al.*, descrive lo stato delle praterie di posidonia e la valutazione di alcuni aspetti geomorfologici e di bio-colonizzazione marine osservati lungo la costa albanese.

Il volume, dedicato alle "Risorse geologiche", vuole fornire un ulteriore impulso per affrontare con più cognizione lo studio, la valorizzazione e la gestione delle risorse geologiche presenti sul territorio italiano e contestualmente mettere in evidenza quanto resta ancora da fare. In particolare, si dovrà affrontare il tema della pianificazione del territorio legato alle diverse risorse geologiche presenti a livello nazionale, perché spesso sono lasciate all'incuria totale. Alcune di queste aree, con risorse geologiche, sono numerose e spesso poco conosciute e di conseguenza poco frequentate, hanno bisogno di essere studiate in dettaglio per farle diventare un volano di crescita economica.

Le risorse, dopo essere state studiate, in termini quantitativi e qualitativi, da geologi esperti nel settore, hanno bisogno di essere gestite in modo sostenibile, così da poterle valorizzare e in alcuni casi trarne significativi vantaggi, anche in termini di nuove opportunità di impiego per i giovani.

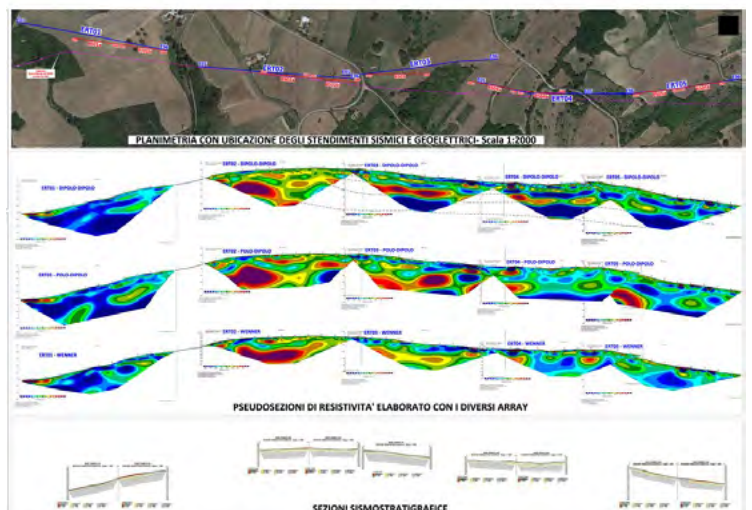
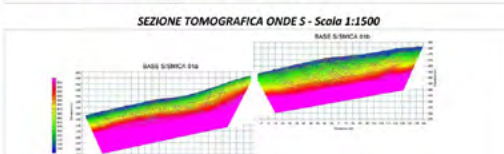
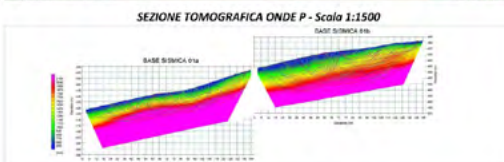
I curatori del volume auspicano che nei prossimi anni cresca sempre di più la consapevolezza dei cittadini nei confronti delle grandi potenzialità legate alle innumerevoli risorse geologiche disponibili su tutto il territorio nazionale, per garantirne il loro utilizzo in una prospettiva intergenerazionale.

Mario Bentivenga, Eugenio Di Loreto



- GEOLOGIA
- GEOFISICA
- TOPOGRAFIA
- TEMPORARY MANAGEMENT

WWW.APOGEO.BIZ





**SESSIONE
RISORSE
GEOLOGICHE**

SIGEA

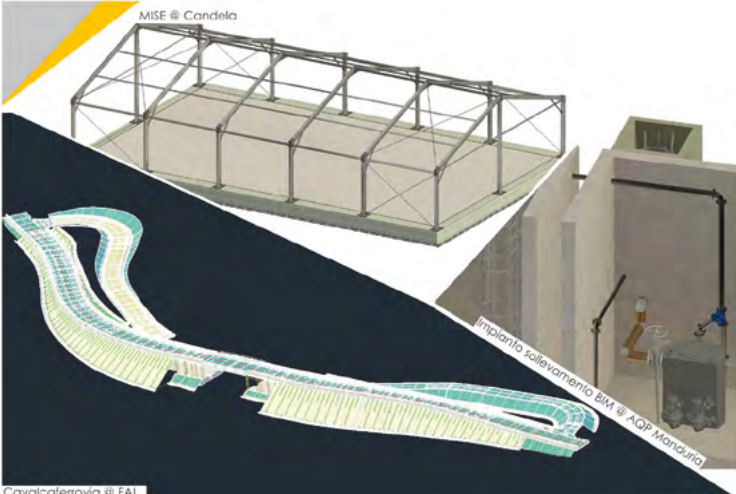
Servizi per il territorio



Rilievo spelologico ipogei @ Altamura

DTM @ San Martino D'Agri

Indagini geognostiche in mare @ Cilento



MISE @ Candelo

Impianto sollevamento BIM @ AQP Manduria

Cavalcaferrovia @ FAL

- Geomatica
- Geotecnica
- Geologia
- Indagini Geofisiche
- Progettazione BIM
- Diagnostica strutturale e dei beni culturali
- Infrastrutture Idraulica
- Geologia applicata
- Monitoraggio strutturale
- Monitoraggio ambientale
- SIT e WebGIS
- Strutture
- Archeologia
- Agronomia



I giacimenti naturali di CO₂ nel centro Italia

Natural CO₂ deposits in Central Italy

Parole chiave: CO₂, giacimenti, pozzi, termalismo, Toscana
Key words: CO₂, deposits, wells, thermal, Tuscany

ABSTRACT

Carbon dioxide (CO₂) of natural origin is generated deep within the earth's crust, about 120 km below the surface, as a result of carbonate lithologies that are subducted due to plate tectonics. In addition to volcanic emissions, the natural outgassing of the earth also releases this gas, which contributes to renewable mineral deposits. For more than a century, mining activities have focused on these mineral deposits, particularly in Tuscany and central Italy, where the mining and processing industries have thrived.

The value of this gaseous mineral of natural origin is high, especially in the food and medical sectors, where it is used to add fizz to drinks, preserve food in modified atmospheres, and more. It can also be an alternative to chemically synthesized CO₂ in various industrial processes, including steel production and food freezing.

Exploring these mineral deposits requires specialized skills and geological studies, often followed by geophysical prospecting to locate the collection wells. However, drilling wells in areas with pressurized gas (8-10 bar) carries inherent safety risks, requiring high levels of caution.

In summary, the following note highlights geological and mining knowledge gained through over 40 years of experience.

RIASSUNTO

L'Anidride Carbonica (CO₂) o diossido di carbonio naturale si origina intorno ai 120 km di profondità nella crosta terrestre a seguito alla fusione di litologie carbonatiche subdotte in riferimento alla tettonica a zolle.

Il degassamento naturale della terra, non associato alle emissioni vulcaniche, alimenta i giacimenti minerali rinnovabili che da oltre un secolo sono stati oggetto di coltivazione mineraria. Nell'Italia centrale ed in particolare in Toscana, tale attività mineraria e l'industria di trasformazione del prodotto, è storicamente risultata particolarmente fiorente.

L'interesse per tale minerale gassoso di origine naturale è elevato in quanto questo viene utilizzato in ambito alimentare e medicale (addizionato per le bibite gassate, conservazione degli alimenti in atmosfera modificata, ecc.) in alternativa alla CO₂ di sintesi chimica che, di contro, viene generalmente utilizzata per la surgelazione dei prodotti alimentari ed in diversi processi industriali, compreso il siderurgico.

L'investigazione di questi giacimenti minerali richiede molteplici competenze specialistiche ed agli studi geologici seguono generalmente delle prospezioni geofisiche che consentono di ubicare i pozzi di captazione. La perforazione dei pozzi, in relazione alle possibili intercettazioni di zone mineralizzate con gas in pressione (8 - 10 bar), richiede dei livelli di sicurezza elevati.

Nella nota si sintetizzano alcuni elementi conoscitivi giacimentologici e minerali acquisiti in oltre 40 anni di esperienza.

1. INTRODUZIONE

La CO₂ è un ossido acido (anidride) formato da un atomo di carbonio legato a due atomi di ossigeno. L'associazione internazionale chimica (IUPAC) classifica tale molecola come "diossido di carbonio", ma correntemente si usano anche i termini di "biossido di carbonio" ed "anidride carbonica".

La concentrazione di CO₂ nella colonna atmosferica è stata ampiamente studiata e misurata nelle zone emerse della terra ed in particolare in quelle densamente abitate. I dati osservati dimostrano che la concentrazione di CO₂ negli ultimi 200 anni si è notevolmente incrementata passando da un valore iniziale di 275-285 ppm ad un valore di 379 ppm nel 2005 (Pacchioni, 2021). La ragione primaria di tale incremento è ascritta all'uso di combustibili fossili, mentre il contributo delle emissioni naturali è da ritenersi trascurabile rispetto a quello di origine antropica.

Il degassamento naturale della Terra avviene in primo luogo a mezzo delle emissioni vulcaniche: attualmente sono

attivi 300-600 vulcani sub aerei distribuiti nelle zone attive della tettonica a zolle. Risulta estremamente difficile se non impossibile valutare l'entità delle emissioni naturali, ma la loro consistenza è trascurabile e non produce alterazioni nell'atmosfera se non a livello locale e per brevi periodi temporali.

La CO₂ naturale si forma per degassamento nel mantello terrestre e raggiunge la superficie attraverso le emissioni dirette vulcaniche (quantità stimata di circa 600 Mt/anno), mentre quella non vulcanica raggiunge ugualmente la superficie attraverso faglie o fratture e strutture geologiche specifiche con un quantitativo orientativamente stimato in 100-600 Mt/anno (Frezzotti, 2011). La tettonica a zolle fornisce la chiave per comprendere il processo che porta alla formazione della CO₂ naturale, in particolare questa è ricondotta alla fusione profonda della litosfera subdotta che consente il rilascio del carbonio dalle rocce. Il modello petrografico che stima il degassamento naturale di CO₂ in Italia è stato formulato recentemente sulla base delle caratteristiche geochimiche dei margini eruttati (Frezzotti *et al.*, 2009) ed evidenzia come i processi di decarbonizzazione e/o fusione delle litologie carbonatiche subdotte possono incidere sull'efficacia del rilascio di carbonio nel sistema litosfera-astenosfera. La litosfera subdotta della zolla adriatica-ionica (africana) avviene ad una pressione superiore a 4 GPa corrispondente a circa 120 km di profondità e può rappresentare il mezzo efficace per spiegare il ciclo profondo del carbonio nel mantello superiore verso l'esosfera nell'area mediterranea (Frezzotti *et al.*, 2009).

La CO₂ non vulcanica raggiunge la superficie a mezzo di strutture tettoniche associate a faglie dando luogo a delle manifestazioni naturali generalmente denominate "mofete" o "putizze". La captazione di tale gas naturale è oggetto di interesse commerciale ed è regolamentata dalla normativa mineraria che si esplica attualmente con la forma giuridica della "concessione mineraria" (Biagianni, 1991).

La presente nota ha un intento essenzialmente divulgativo ed intende condividere le problematiche giacimentologiche di questa particolare tipologia di depositi gassosi rinnovabili e delle complesse attività di captazione della CO₂ naturale che fluisce, in atmosfera, a seguito del degassamento della crosta terrestre.

2. NOTE STORICHE

Il primo ad avere l'intuizione dell'esistenza dell'anidride carbonica fu, nel 1638, Jean Baqtiste Van Helmont, un belga ritenuto il fondatore della chimica pneumatica, a lui si deve anche l'introduzione della parola "gas" (Fig. 1). Lo studioso, intuì che l'atmosfera è un insieme di gas distinti e che il "gas silvestre", originato dalla decomposizione organica, era presente nell'aria; si rese conto che il "gas silvestre" ottenuto dalla combustione del carbone era lo stesso prodotto della fermentazione del mosto, che rendeva irrespirabile l'aria nelle cantine sotterranee. Definisce altresì che il gas sprigionato è rappresentativo dell'oggetto iniziale ed intuisce che tutti i corpi solidi possono essere convertiti in gas introducendo così il concetto di "stato".



Figura 1. Jean Baptiste Van Helmont (1579 – 1644) è ritenuto il fondatore della chimica pneumatica e l'inventore della parola "gas". Monumento in suo onore a Bruxelles e francobollo belga commemorativo

Altri passaggi significativi verso l'uso industriale della CO₂ risultarono sinteticamente i seguenti:

- nel 1772 Joseph Priestley realizzò l'assorbimento dell'anidride carbonica in acqua, ottenendo così la prima acqua gassata;
- nel 1781 Antoine-Laurent de Lavoisier scopre la reazione di formazione dell'anidride carbonica a partire da carbonio ed ossigeno;
- nel 1866 Thaddeus Lowe mise a punto un ciclo di frigorifero ad anidride carbonica che venne utilizzato per la produzione del ghiaccio secco.

Questo sviluppo industriale provocò una trasformazione nel commercio con il superamento del "mercato della neve". L'utilizzo della neve e/o ghiaccio come refrigerante per bevande e sorbetti era noto nell'antichità, ma dal 1500 iniziò un commercio che trasportava il ghiaccio anche su grandi distanze: la neve dell'Etna veniva commercializzata in Egitto, la Norvegia riforniva giornalmente Londra con quindici battelli che impiegavano tre giorni di navigazione, con una quantità di prodotto che raggiunse, alla metà del XIX secolo, le 50.000 tonnellate annue. Le cronache raccontano anche di un memorabile trasporto di ghiaccio, nel 1833, da Boston a Calcutta e di una compagnia che assicurava il regolare trasporto del prodotto da Boston a Philadelphia, Charleston, New Orleans e raggiungeva anche il Brasile (Grandi, 2022).

La disponibilità di macchine in grado di produrre il "ghiaccio secco" si diffuse con sorprendente rapidità sul finire dell'800 ed in moltissime città italiane divennero attive delle "fabbriche del ghiaccio" che producevano dei blocchi parallelepipedi facilmente trasportabili



3. IMPIEGHI DELLA CO₂ DI ORIGINE NATURALE

L'utilizzo della CO₂ di origine naturale ha subito nel tempo, in riferimento al progredire dell'evoluzione industriale, trasformazioni e trovato numerosi nuovi campi applicativi. Sul mercato dei gas troviamo, in relazione alla sua origine, due tipologie di CO₂: quella naturale e quella di sintesi chimica. Il mercato è così sostanzialmente suddiviso: quella di origine naturale viene utilizzata nel campo medicale (linee del freddo, laser medicali, ecc.) ed in quello alimentare (effervescenza delle bevande, lievitazione, atmosfera modificata nel confezionamento degli alimenti, ecc.), mentre quella di sintesi chimica trova impiego in tutta la linea del congelamento con il ghiaccio secco, nella siderurgia, ed in numerosi altri usi (giubbotti gonfiabili e salvagenti, estintori, sabbiatura criogenica, ecc.). La CO₂ di sintesi chimica, che si origina come "cascame" nell'industria petrolchimica, è la più diffusa sul mercato ma la sua disponibilità è legata all'attività dell'industria primaria petrolifera.

La distinzione merceologica tra le due tipologie di prodotto risiede non tanto nel minerale base ma nelle eventuali impurità che potrebbero contaminare il prodotto, da ciò deriva che per gli usi più delicati si predilige il minerale di origine naturale più sicuro nei confronti dell'eventuali impurità contaminanti incontrollate nel processo di produzione. Si comprende quindi come per l'effervescenza nelle bevande o per l'uso medicale, anche una remota probabilità di contaminazione del gas, sconsigli l'utilizzo della CO₂ di sintesi chimica.

4. PRIMI UTILIZZI INDUSTRIALI IN ITALIA

Lo sfruttamento delle manifestazioni naturali di acido carbonico inizia intorno al 1850 in Toscana (Fig. 2) con la captazione delle manifestazioni naturali. Alla fine dell'800 viene introdotto sul mercato un procedimento industriale che consente la liquefazione dell'acido carbonico con la formazione del "ghiaccio secco"; questa trasformazione industriale consentirà il trasporto dell'anidride carbonica ed aprirà nuovi mercati al prodotto.

Nascono così numerosi impianti per la produzione del ghiaccio in blocchi che, insieme alla comparsa sul mercato di bibite gassate, richiedono sempre maggiori quantità di prodotto naturale; di contro, in ragione delle difficoltà connesse alla trasportabilità del gas, si assiste al proliferare di impianti di sintesi chimica.

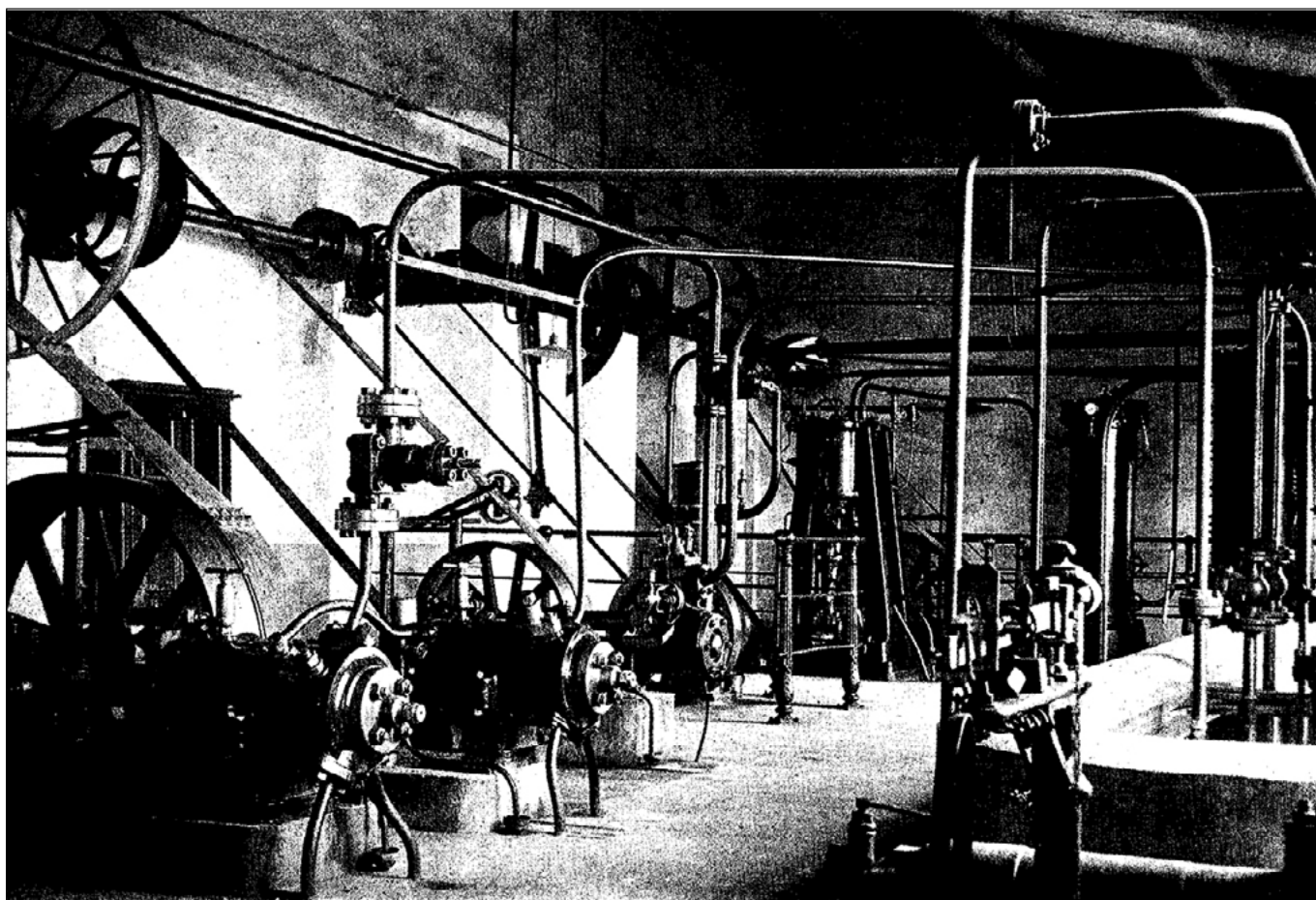


Figura 2. Stabilimento Pegna a Pergine Valdarno (Ar), sala macchine CO₂ nel 1905 (Biagiatti, 1991)

In Toscana l'impianto di Pergine Val d'Arno (Biagiatti, 1991), legato alla concessione mineraria omologa, captava il minerale dalle venute naturali, ma per incrementare la produzione del gas nel 1933 fu perforato il primo pozzo minerario e successivamente nel 1943-46 il secondo pozzo. Tale sito produttivo costituisce il fulcro italiano dell'innovazione tecnologica per il settore: nel 1932 inizia la commercializzazione della "neve carbonica" utilizzata nella produzione e nel trasporto dei gelati; successivamente, nel 1961, viene realizzata la prima cisterna per il trasporto della CO₂ liquida su strada e ferrovia.

Nel 1928 si annoverano in Italia quattro impianti per la produzione di acido carbonico: quello di Pergine (Ar) che produce 6.720 quintali/anno con 17 addetti, uno stabilimento a Palaia (Pi) denominato Bagni di Chiecinella, l'impianto di Larderello (Pi) annesso alla produzione dell'acido borico e quello di Cittaducale nel reatino.

Nel 1932 il quadro della produzione si modifica radicalmente in quanto entrano in produzione numerosi impianti per soddisfare il mercato locale: Palombara Sabina ed Acqua Rossa nel viterbese, Acqua Acetosa a Roma oltre ad un nuovo impianto nell'aretino; nel 1936 inizia lo sfruttamento delle manifestazioni di

Sant'Albino (Montepulciano-Si) con la produzione di 7 tonnellate anno.

In questa sede vorrei ricordare in particolare l'impianto di Palaia legato alla concessione mineraria Bagni di Chiarella, realizzato dall'industriale Camillo Candia, fondatore dell'omologo gruppo chimico, collezionista raffinato che ha donato i suoi magnifici vasi greci al Museo Civico di Rovereto. Successivamente, nel 1961 a seguito della "rinuncia alle attività terrene" da parte del figlio Marcello Candia, che diviene missionario francescano in Brasile (dichiarato "venerabile" dalla Chiesa cattolica nel 2014); le attività minerarie furono rilevate da un gruppo francese che attualmente mantiene la sua presenza in Italia.

Con l'introduzione nel 1961 della trasportabilità dell'anidride carbonica in forma liquida il quadro industriale della produzione e commercializzazione della CO₂ muta radicalmente: in carenza di minerale questo viene importato per via ferroviaria dalla Francia, ed inoltre in quello stesso periodo assistiamo all'introduzione su larga scala delle "macchine frigorifere". La produzione italiana di CO₂ naturale, in termini di prodotto arricchito di origine naturale, si aggira negli ultimi anni intorno alle 20 tons/ora.

5. GIACIMENTI DI CO₂ IN ITALIA

L'industria mineraria della CO₂ era già attiva precedentemente all'Unità d'Italia e diversi, in riferimento ai vari stati, erano le leggi minerarie vigenti; con l'unificazione si rese necessario armonizzare in un unico indirizzo la giurisprudenza.

In alcuni stati vige, derivato dal diritto romano, il principio prettamente fisiocratico e favorevole alla illimitata proprietà fondiaria, questo definisce che "il proprietario di un terreno o fondo, vi comprende non solo il suolo vegetale, ma eziandio il sottosuolo con tutti i giacimenti minerali che vi stanno inclusi e sino a qualsiasi profondità: giacché il proprietario del fondo è considerato il padrone assoluto anche di tali giacimenti". Questa disposizione rimarrà vigente in diverse parti dell'Italia fino all'adozione della legge mineraria italiana del 29 luglio 1927 (entrata in vigore il 23 agosto 1928), secondo la quale lo stato considera "res nullius" i giacimenti minerali e ne concede il diritto di escavazione dietro la corresponsione di un canone annuo legato all'entità della superficie della Concessione (Biagiatti, 1991).

Per compensare di fatto l'esproprio del bene minerario furono rilasciate ai proprietari delle miniere attive delle "Concessioni Perpetue" alcune delle quali, in

Toscana, conservano fino ai giorni nostri la loro vigenza sia nell'ambito minerario della CO₂ che del termalismo.

A seguito del riordino delle competenze minerarie amministrative operato nel 2011, con la modifica dell'articolo 117 della Costituzione Italiana, allo Stato centrale è rimasta solo la competenza mineraria per gli idrocarburi, mentre la competenza per tutti i metalli e minerali, sia solidi che gassosi, è stata conferita alle regioni; quest'ultima attribuzione completa le competenze e si somma alle "acque termali" e "cave" già trasferite in precedenza dallo stato alle regioni.

Tale distribuzione delle competenze ad Enti di secondo livello ma diversi per indirizzo politico ha portato a comportamenti non omogenei sul territorio nazionale in ordine al rilascio dei "permessi di ricerca" e delle "concessioni minerarie". Di recente alcune Regioni, quali ad esempio la Toscana, hanno assunto degli "atti di indirizzo" tesi ad impedire la ricerca e la coltivazione dei giacimenti di CO₂; nello specifico non possono essere rilasciati nuovi "permessi di ricerca" o "concessioni" ed inoltre non possono essere realizzate nuove captazioni o perforati nuovi pozzi anche nelle concessioni vigenti.

Risulta pertanto complesso fornire un elenco esatto delle concessioni minerarie per CO₂ vigenti attualmente in Italia; di seguito si fotografa questo settore minerario citando le varie realtà e fornendo alcune indicazioni minime in merito allo stato di produzione. Nello specifico si ricorda:

- *Mofeta Palaci: Sicilia;*
- *DAM: Campania;*
- *Pergine: Toscana.* La produzione risulta estremamente ridotta essendo, i serbatoi superficiali di accumulo ormai in fase di esaurimento (n° 3 in Fig. 4);
- *Bagno: Toscana.* La chiusura mineraria dei pozzi porterà alla chiusu-

ra della concessione tra non molto tempo (n° 4 in Fig. 4);

- *Pratantico: Toscana.* Pure in questa concessione si procede con la chiusura dei pozzi ed a breve si procederà con la "riconsegna" della concessione (n° 5 in Fig. 4);
- *Michelangelo: Toscana.* Dopo la conclusione di un permesso di ricerca promettente, la successiva fase di messa in produzione è risultata negativa e pertanto tale concessione è in fase di chiusura (Bonini, 2009, - Bicocchi *et al.*, 2013);
- *Acquabugliola: Toscana.* La concessione è in produzione ma con una quantità di minerale non elevata (Baldi *et al.*, 2006), (n° 2 in Fig. 4);
- *Sant'Albino ed Acquapuzza Villa Contucci: Toscana.* Concessione in produzione con un'elevata resa e bassi consumi energetici (Baldi, 2016), (n° 9 in Fig. 4);
- *Poggio Santa Cecilia: Toscana.* Entrata in produzione nei primi anni 80 presenta una produzione costante in virtù di una captazione superficiale (Baldi *et al.*, 1986; 1992), (n° 7 in Fig. 4);
- *Ambra: Toscana.* Entrata in produzione alla metà degli anni 80 dello scorso secolo costituisce il giacimento italiano con la più alta produzione di minerale (Baldi *et al.*, 1992; 1999; 2006; 2016), (n° 6 in Fig. 4).

6. DESCRIZIONE DEI GIACIMENTI DI CO₂

I giacimenti di CO₂ sono, per le ragioni illustrate in precedenza, dei giacimenti "rinnovabili" e pertanto il gas che risale dal sottosuolo negli strati più superficiali presenta sempre un elevato grado di mobilità. Tale situazione implica che la coltivazione dei giacimenti naturali di CO₂ presenti delle peculiarità uniche che non sono comuni con gli altri giacimenti di gas fossile.

Gli elementi fondamentali da segnalare e ricordare sono sinteticamente i seguenti:

1. I giacimenti di CO₂ non sono fossili e questa peculiarità li rende diversi rispetto agli altri giacimenti minerali gassosi; la loro costante ricarica condiziona l'equilibrio del giacimento che risulta sostanzialmente inesauribile. Una buona coltivazione implica che il prelievo deve risultare compatibile con la ricarica naturale evitando la depressurizzazione dei serbatoi di accumulo generalmente presenti negli strati permeabili prossimi alla superficie terrestre;
2. Trattandosi di giacimenti gassosi "rinnovabili" nella zona ove si sono realizzate le condizioni geologiche per la risalita in superficie del gas, è sempre presente una manifestazione gassosa spontanea (mofeta, putzze, sorgenti sulfuree, ecc.) che trasferisce all'atmosfera il degassamento naturale della Terra (Fig. 3);
3. Alla CO₂ naturale fluente in superficie sono altresì associate delle quantità minime (generalmente inferiori al 5-8%) di altri gas quali: acido solfidrico, metano, azoto, elio, idrogeno, ecc.. Pertanto per la commercializzazione della CO₂ è indispensabile un "impianto minerario di arricchimento" che separa gli altri gas associati e comprime la CO₂ fino a portarla allo stato liquido; tale passaggio di stato rende economicamente compatibile il trasporto del minerale;
4. Essendo i giacimenti di CO₂ legati alla risalita dal mantello terrestre alla superficie del gas mediante fratture più o meno aperte gli strati di terreno a contatto con queste, in relazione alla loro permeabilità al gas, possono assumere funzione di "serbatoio" o di "copertura del serbatoio". Generalmente nei giacimenti troviamo un



Figura 3. Mofeta il Bossoleto a Rapolano Terme (Si) (Sanità di Toppi *et al.* 2001): trattasi di una conca circolare di circa 80 m di diametro ove diverse aperture sul terreno emettono CO₂ (a destra). La concentrazione di CO₂ è elevatissima ed i palloncini bianchi, ripieni di aria, indicano il livello di saturazione su cui galleggiano essendo questi più leggeri dell'atmosfera circostante saturata in CO₂ (a sinistra)

- “serbatoio primario” profondo di accumulo del gas ove è presente anche dell’acqua mineralizzata o termale, e più in superficie dei “serbatoi di migrazione” alimentati dal gas, che risale attraverso le fratture che possono presentare un’apertura anche centimetrica;
5. Le falde idriche ospitate negli strati permeabili superficiali svolgono la funzione di contenimento del gas (“tavola d’acqua”) impedendone la dispersione verso l’alto e favorendo la ricarica dei serbatoi superficiali di migrazione. Le variazioni dello spessore saturo, in relazione alla ricarica stagionale, influenzano l’efficacia dell’azione di contenimento; localmente possono innescarsi così manifestazioni intermittenti stagionali di acqua e gas che condizionano negativamente l’uso del suolo;
 6. L’entità del giusto prelievo dal giacimento gassoso rinnovabile in relazione al contenimento superficiale esercitato della “tavola d’acqua”, è costantemente evidenziato dal permanere della fluenza della manifestazione superficiale. Una quantità minima dell’emissione documenta il corretto

- prelievo quantitativo dal giacimento rinnovabile ed allontana il rischio del super sfruttamento che può condurre all’abbandono della coltivazione;
7. Per i serbatoi profondi in relazione alla copresenza di gas ed acqua termale occorre ricordare che la mineralizzazione è opposta rispetto a quella dei giacimenti metaniferi: infatti nella parte superiore si accumula l’acqua termale sorretta e spinta dal sottostante gas. Possono comunque esistere anche serbatoi ove le due fasi non sono separate, in tal caso per emungere la CO₂ occorre estrarre l’acqua termale e “striappare” da questa il gas disciolto;
 8. L’eventuale fuoriuscita in superficie dell’acqua mineralizzata associata al gas è strettamente condizionata dalla pressione di esercizio dei pozzi di captazione. Generalmente con pressioni basse nel pozzo si ha la massima produzione di acqua mineralizzata e/o termale mentre a pressioni più elevate (indicativamente superiori a 5 bar) si riesce ad estrarre del gas secco o con quantitativi minimi di fluido. Ovviamente la pressione del sistema pozzo è strettamente legata

a quella del serbatoio o della frattura nel quale questo attinge.

7. PECULIARITÀ GEOLOGICHE DEI GIACIMENTI TOSCANI

Come si evince dall’elenco delle concessioni attive precedentemente riportato, la produzione di CO₂ naturale italiana si concentra prevalentemente in Toscana per la presenza di numerosi giacimenti rinnovabili ivi presenti. Tale condizione predisponente ha prodotto un’interessante storia mineraria; inoltre la loro posizione geografica, prossima alle zone di utilizzo del gas, ha contribuito positivamente allo sviluppo commerciale del settore minerario.

La Geologia della Toscana rappresenta una delle zone più complesse di tutto il territorio nazionale ed è stata oggetto di innumerevoli studi che hanno portato alla formulazione di diverse teorie sul corrugamento e sul sollevamento della Catena Appenninica e della successiva tettonica distensiva. In questa sede risulta pertanto improprio addentrarsi in una dissertazione afferente all’assetto tettonico-strutturale della Toscana (Fig. 4).

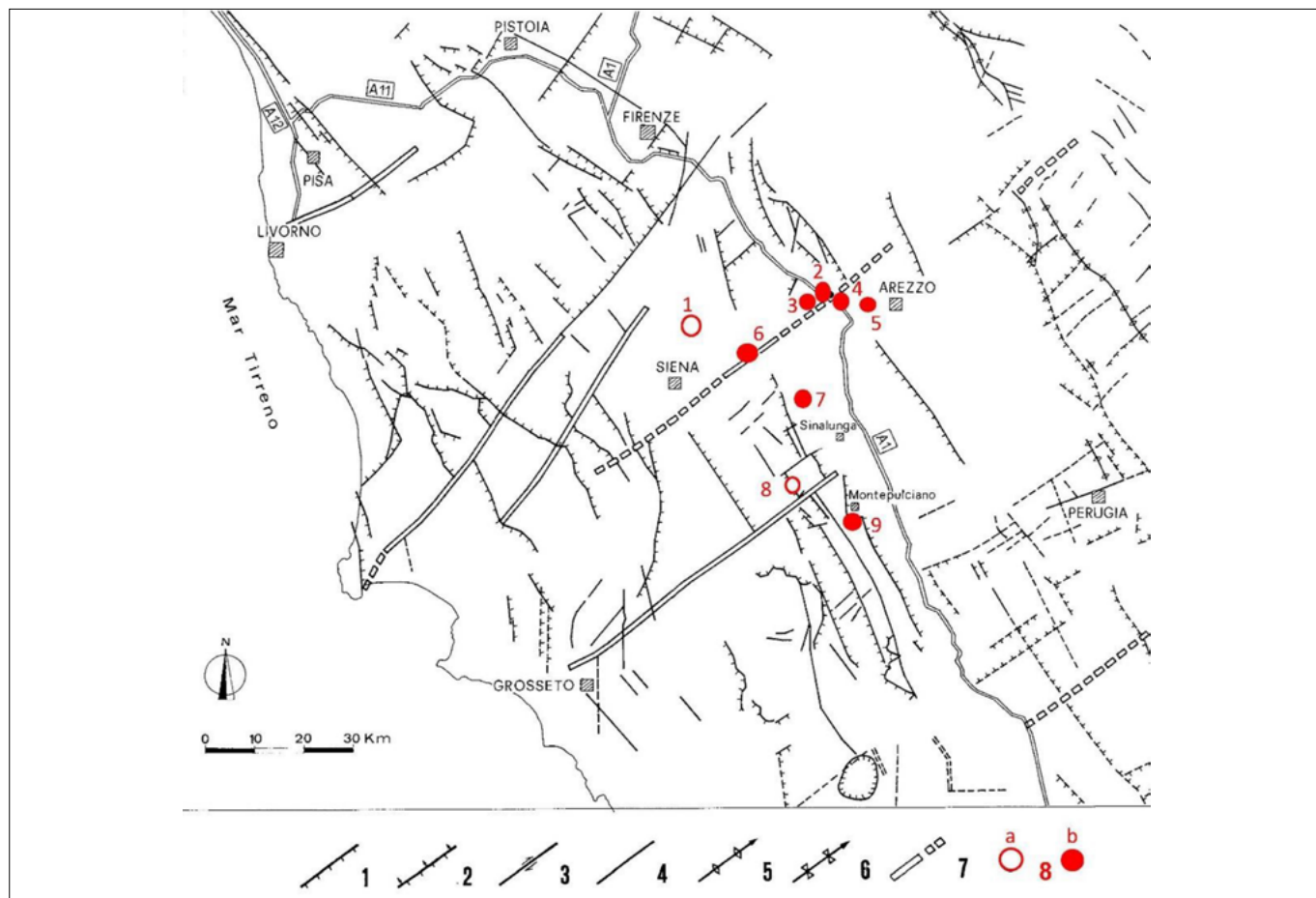


Figura 4. Tettonica e manifestazioni di CO₂ nella fascia medio-toscana (Carta Neotettonica d’Italia C.N.R. modificata). Legenda: 1 faglia diretta; 2 faglia inversa; 3 faglia trascorrente; 4 faglia strutturalmente indefinita; 5 asse di anticlinale; 6 asse di sinclinale; 7 zone di deformazione con trascorrenza; 8 manifestazioni di CO₂: a) libere e non captate ai fini produttivi, b) oggetto di coltivazione mineraria. Ubicazione delle manifestazioni di CO₂ di cui al capitolo 8: 1 Loc. Mofeta di Dievole-Vagliagli (Si), 2 Loc. Acquabugliola-Rimaggio (Ar), 3 Loc. Pergine (Ar), 4 Loc. Ponticino (Ar), 5 Loc. Pratanico (Ar), 6 Loc. Torrente Ambra (Si), 7 Loc. Poggio Santa Cecilia (Si), 8 Loc. Mofeta Bossoletto - Terme San Giovanni (Si), 9 Loc. Sant’Albino di Montepulciano (Si)



Figura 5. Mofeta del Torrente Ambra (Si): nell'alveo del Torrente si evidenzia la fluenza del gas e sullo sfondo si osserva l'impianto di captazione del gas con i "separatori di strippaggio"

Sul suo bordo orientale, in accordo con il modello strutturale della penisola italiana, troviamo molte strutture mineralizzate a CO₂ che presentano elementi comuni e specifiche peculiarità; sinteticamente si possono segnalare le seguenti associazioni:

- I giacimenti di Pergine, Ponticino, Pratantico ed Acquabugliola (Fig. 4 numeri 2 – 3 – 4 – 5) alimentati dalla faglia di bordo del Graben della Val di Chiana che risultano, dopo circa un secolo di produzione (Bigianti, 1991), in fase di esaurimento (Baldi *et al.*, 2006). Più nello specifico si sono esauriti i serbatoi di migrazione superficiale ubicati all'interno del Macigno e della Scaglia e l'alimentazione costante della CO₂ dal profondo attualmente è proporzionata ai prelievi;
- Manifestazioni alimentate direttamente dal profondo (inferiormente alla Moho) attraverso lineazioni tettoniche disgiuntive recenti, che possono risultare anche non particolarmente significative nel modello tettonico regionale e caratterizzate da un modesto rigetto (Baldi *et al.*, 1986). Un esempio di questa tipologia di giacimento è rappresentato dalla manifestazione del Poggio Santa Cecilia (Baldi *et al.*, 1992) che è caratterizzata da una portata fluente costante nel tempo di gas secco (Fig. 4 numero 7);

- Strutture plicative, con direzione appenninica, della Serie Toscana, interrotte nella loro prosecuzione settentrionale da sbarramenti litologici o tettonici. Queste strutture sono radicate al basamento regionale e nei livelli calcarei di base della Serie Toscana e costituiscono il serbatoio saturo di acqua termale e gas CO₂. All'estremità nord della struttura, ove questa è troncata e gli strati mineralizzati si avvicinano alla superficie, danno origine a delle consistenti emanazioni gassose a cui si associano, nel loro intorno, anche delle fluenze di acqua termale. Appartengono a questa tipologia più complessa, le seguenti strutture:
 - Giacimento di Sant'Albino-La Vena (Fig. 4 numero 9): costituisce l'estremo settentrionale della struttura del Monte Cetona (Sarteano e Chianciano) ed è caratterizzato, in prossimità dello sbarramento riconducibile alla Soglia di Pienza-Montepulciano (Torrente Parce), dalla mofeta di Sant'Albino e dalla sorgente termale omonima (Baldi, 2016);
 - Struttura delle Terme di San Giovanni immediatamente ad occidente di Rapolano Terme (Fig. 4 numero 8); questa costituisce l'estremo nord della dorsale, di direzione appenninica, Montalceto - Trequanda. La

struttura sepolta, conformata ad anticlinale, origina una fluente manifestazione termale e l'importante (Fig. 3) mofeta del Bossoleto (Sanità di Toppi *et al.*, 2001- Brogi *et al.*, 2006);

- Il giacimento del Torrente Ambra (Fig. 4 numero 6) è associato alla propaggine nord della Dorsale di Rapolano che è conformata ad anticlinale e costituita dai litotipi della Serie Toscana (Baldi *et al.*, 1999). Questa struttura positiva si interrompe a seguito



Figura 6. Perforazione di un pozzo minerario per CO₂, eruzione incontrollata con l'espulsione del fango e dei detriti

dell'intersezione con la Faglia dell'Ambra originando la mofeta nel letto del Torrente (Fig. 5). Alla mofeta è associata una fluenza termale fredda rappresentativa della miscelazione tra le acque termali calde e la "tavola d'acqua" superficiale fredda che non riesce a contenere completamente la risalita della mineralizzazione (Baldi *et al.*, 2006).

8. COLTIVAZIONE DEI GIACIMENTI

La coltivazione dei giacimenti viene attuata quasi esclusivamente con la perforazione di pozzi che consentono di captare il gas in pressione contenendo i costi energetici per la liquefazione presso l'impianto di arricchimento. In Italia solo in un giacimento la captazione del gas, che fluisce naturalmente dal terreno, è praticata a mezzo di una "cupoletta" che recupera tutto il minerale fluente a pressione atmosferica (Baldi *et al.*, 1992).

La perforazione dei pozzi minerari richiede particolari procedure ed attenzioni onde contenere la pressione del gas; le cementazioni delle tubazioni di rivestimento devono risultare idonee a mantenere nel tempo l'efficienza per impedire pericolose fuoriuscite laterali dai pozzi. Il perdurare della tenuta di una cementazione è condizionato in primo luogo alle caratteristiche di resistenza del cemento stesso ed in particolare al venir meno della sua compattezza a causa degli agenti aggressivi, quali lo zolfo, contenuto nello stesso gas. Tale buona efficienza evita l'infiltrazione del gas in altri strati più superficiali non mineralizzati e ne impedisce così la risalita incontrollata, verso la superficie.

L'azione corrosiva del gas si manifesta altresì sull'acciaio impiegato per il rivestimento e per la realizzazione della "testa pozzo"; attualmente si impiegano acciai ad alta resistenza ma in passato i materiali impiegati avevano delle caratteristiche di resistenza inferiore e pertanto attualmente si presenta spesso la problematica del mantenimento in sicurezza dei pozzi produttivi realizzati molti anni or sono.

Particolare attenzione deve essere posta, durante l'avanzamento della perforazione alla densità ed alla circolazione del fango onde evitare perdite improvvise a causa di l'intercettazione di cavità e/o fratture. Lo "spiazzamento del fango" provoca l'eruzione del pozzo con l'espulsione e la proiezione del fango e dei detriti di perforazione (Fig. 6). Il recupero delle condizioni di sicurezza

(atmosfera alterata ed irrespirabile, ricaduta di elementi detritici lapidei, ecc.) avviene generalmente dopo un certo lasso di tempo con il pompaggio di ingenti quantità di fango pesante addizionato con intasanti. Tale azione di "acquietamento" può compromettere, in ragione alle caratteristiche della via di filtrazione del gas, la produttività futura del pozzo.

Al termine dell'avanzamento della perforazione od in tratti significativi durante l'avanzamento, possono essere eseguiti dei logs geofisici che consentono la ricostruzione stratigrafica individuando esattamente i vari orizzonti significativi: quelli mineralizzati da captare con i filtri e quelli da cementare al fine di impedire l'ingresso dell'acqua nel pozzo. Successivamente alla realizzazione delle cementazioni alcuni logs specifici consentono altresì di certificare la continuità e l'omogeneità delle cementazioni eseguite.

Conclusa questa delicata fase costruttiva occorre installare all'interno del pozzo la tubazione di produzione del gas (tubing); alla definizione della sua profondità ottimale si perviene a mezzo di una specifica elaborazione ingegneristica che tiene conto di molteplici parametri.

BIBLIOGRAFIA

- BALDI A.M., ROSSI C. (1986), *Caratteristiche strutturali del bordo orientale degli affioramenti mesozoici di Rapolano Terme (SI)*. Memorie della Società Geologica Italiana, vol. 35, pp. 457-479, Roma.
- BALDI A.M., MARZOCCHI A., MENEGOLI M. (1992), *Nuove individuazioni di giacimenti di anidride carbonica in Toscana*. Rivista: Geoingegneria Ambientale e Mineraria (Bol. Ass. Min. Subalpina) anno XXIX n. 4, pp. 335-345, Torino.
- BALDI A.M., BIANCHI F. (1999), *Sperimentazione della tecnica di rilievo sismico a riflessione T.S.P.* Atti XX Convegno Nazionale di Geotecnica - Ass. Geotecnica It., pp. 23-30, Parma.
- BALDI A.M., CIVELI A., MENCARINI S. (2005), *Nuove captazioni alle Terme "Antica Querciolaia" - Rapolano Terme (Siena)*. Atti 2nd International Workshop - 4th National Congress on the Protection and Management of Groundwater: GEAM, Parma.
- BALDI A.M., MENCARINI S., MONDET M. (2006), *The geoelectrical exploration of the layers of CO₂ of Val d'Arno*. Atti: fifteenth international symposium on Mine Planning & Equipment Selection. Vol. 2, pp. 1243-1248, Torino.
- BALDI A.M., CIVELI A., LA BELLA M., SEITZ H. (2006), *The extraction of the layer of CO₂ "Torrente Ambra" in the Province of Siena*. Atti: fifteenth international symposium on Mine Planning & Equipment Selection. Vol. 2, pp. 939-945, Torino.
- BALDI A.M., CIVELI A. (2010), *Il sistema*

termale di Rapolano Terme (Siena). Riv. "Acque Sotterranee" n. 120, pp. 29-41.

- BALDI A.M. (2016), *L'esplorazione geofisica dei giacimenti di anidride carbonica naturale*. Atti del XIII Workshop in geofisica. Museo Civico di Rovereto.
- BIAGIANTI I. (1991), *Aquae Ferventes*. Ed. Ponte alle Grazie, Firenze.
- BICOCCHI G., TASSI F., BONINI M., CAPECCHIACCI F., RUGGIERI G., BUCCIANTI A., BURGASSI P., VASELLI O. (2013), *The high pCO₂ Caprese Reservoir (Northern Apennines, Italy): Relationships between present-and poleo-fluid geochemistry and structural setting*. Chemical Geology n. 351, pp. 40-56.
- BONINI M. (2009), *Structural controls on a carbon dioxide-driven mud volcano field in the Northern Apennines (Pieve Santo Stefano, Italy): Relations with pre-existing steep discontinuities and seismicity*. Journal of Structural Geology n. 31, pp. 44-54.
- BROGI A., CAPEZZUOLI E. (2006), *La fessura-rigge di travertino delle Terme San Giovanni (Rapolano Terme, Toscana meridionale) e sue implicazioni tettoniche*. Rend. Soc. Geol. It. n. 2, Nuova Serie, pp. 89-93.
- BROGI A. (2008), *Fault zone architecture and permeability features in siliceous sedimentary rocks: Insights from the Rapolano geothermal area (Northern Apennines, Italy)*. Journal of Structural Geology n. 30, pp. 237-256.
- FANCELLI R., NUTI S. (1974), *Locating Interacting Geothermal Areas in the Tuscan region (Italy) by Geochemical and Isotopic Methods*. Geothermics, 4.
- FREZZOTTI M.L. (2011), *La degassazione naturale di CO₂ in Italia*. Riv. Etruria Natura anno VIII, pp. 48-55. Edizione dell'Accademia dei Fisiocritici - Siena.
- FREZZOTTI M.L., PECCERILLO A., PANZA G.F. (2009), *Carbonate metasomatism and CO₂ lithosphere-asthenosphere degassing beneath the Western Mediterranean: An integrated model arising from petrological and geophysical data*. Chemical Geology n. 262, pp. 108-120.
- GRANDI A. (2022), *L'incredibile storia della neve e della sua scomparsa*. Saggi: Human Ecology. Ed. Aboca Sansopolcro (Ar).
- MINISSALE A., VASELLI O., TASSI F., MAGRO G., GRECHI G.P. (2002), *Fluid mixing in carbonate aquifers near Rapolano (central Italy): chemical and isotopic constraints*. Applied Geochemistry n. 17, pp. 1329-1342.
- MORNER N.A., ETIOPE G. (2002), *Carbon degassing from the lithosphere*. Global Planetary Change n. 33, pp. 185-203.
- PACCHIONI G. (2021), *W la CO₂: possiamo trasformare il piombo in oro*. Ed. Il Mulino, Bologna.
- SANITÀ DI TOPPI, L., RASCHI, A., MIGLIETTA, F. (2001), *Effetto serra? Neppure le piante l'apprezzano*. Riv. Le Scienze ed. italiana n. 390, Milano.
- VANNOLI P., MARTINELLI G., VALENSISE G.L. (2021), *The Seismotectonic Significance of Geofluids in Italy*. Frontiers in Earth Science Vol. 9.
- VITI M., (2020) *Active Tectonics in Tuscany (Central Italy): Ten Years of Seismicity (2009-2019)*. International Journal of Geosciences n. 29, pp. 613-650.

Caratteri idrologici e idrogeologici dell'Alto corso del T. Sentino (Marche-Umbria): indagini preliminari e valutazione delle risorse idriche

Hydrological and hydrogeological features of upper Sentino river watershed (Marche-Umbria): preliminary surveys and assessment of water resources

Massimo Belbusti
Ingegnere, Viva Servizi Spa

Michele Romagnoli
Ingegnere, Consorzio Gorgovivo

Daniele Farina
Geologo, libero professionista, PhD

Giacomo Furlani
Ingegnere, Idraulica&Ambiente srl

Luca De Angelis
Ingegnere, studio Tecmin

Carlo Brentari
Geologo, SWS-Systra Spa

E-mail: farinadaniele61@gmail.com

Parole chiave: deflusso superficiale, acquiferi carbonatici
Key words: Runoff, carbonatic aquifers

ABSTRACT

The study area represents a sector of the Umbro-Marchigiano mountain ridge, with an altitude of 1000-1700 m o.s.l., characterized by a significant average rainfall (1200-1600 mm/y) and the presence of important carbonate aquifers. In recent years the local Public Water Services Company has carried out hydrometric measurements, installed a river level-gauge station, and lately promoted a thorough hydrogeological and hydraulic study, aimed to the assessment both of surface and groundwater, in order to let decision makers have a sufficient knowledge of the potential water resources that could replace and/or replenish the existing ones, particularly in times of water scarcities and other possible emergencies (such as water contamination and similar). The study evidenced potential hydraulic and slope stability risks, (confirmed by the recent

flood events of September 2022), both posing significant limitations on the feasibility of surface water storage and diversion projects. On the other hand the research showed the important role of groundwater seeping into the Sentino river and thus sustaining its base flow. Considering the section of S. Emiliano (watershed surface of 56,5 Km²) the yearly average base-flow is 900 l/s, with a Summer average of 200 l/s. The groundwater seepage involves the Calcareo Massiccio aquifer in the mid to upper part of the basin, and the Maiolica aquifer in the lower part. Both environmental and economic constraints tend to suggest the possibility to tap groundwater through deep wells as a sustainable way to access and use the basin' water resources.

1. INTRODUZIONE

Nell'ambito della ricerca e valutazione di risorse idriche integrative/sostitu-

tive ad uso idropotabile nel territorio della Provincia di Ancona, sono stati condotti studi specifici sull'alto corso del T. Sentino (Bacino del F. Esino), volti a caratterizzare la consistenza e qualità delle acque superficiali e di quelle sotterranee, primariamente derivanti dagli acquiferi carbonatici della dorsale umbro-marchigiana. In particolare il gestore dei servizi idrici ha implementato un sistema di misurazione delle portate del corso d'acqua mediante installazione e gestione di un idrometrografo fisso situato alla confluenza T. Sentino-T. Riofreddo e svolgimento di periodiche misure correntometriche a guado, anche al fine di tarare la curva portate / livelli. A tali attività sono seguite campagne di indagini geognostiche dirette ed indirette, ed una serie di osservazioni e misure idrometriche e fisico-chimiche delle acque fluenti e di falda, (Consorzio Gorgovivo, 2022). I risultati preliminari

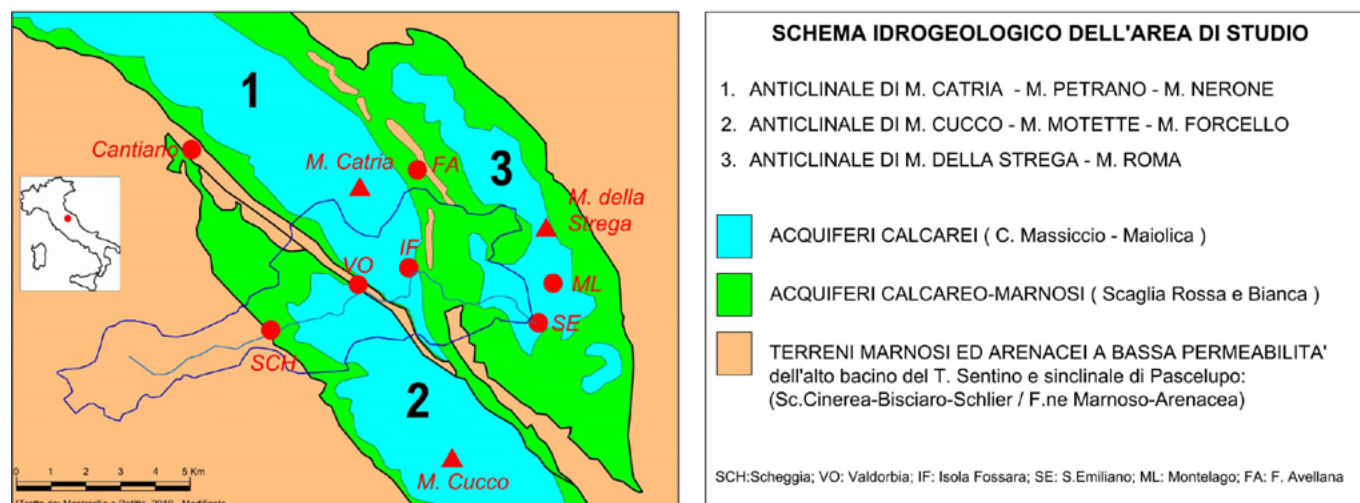


Figura 1. Inquadramento idrogeologico del bacino del T. Sentino chiuso alla sezione di S. Emiliano (SE)

di tali studi, ancora in corso, comprendono pertanto gli aspetti geologico-idrogeologici, idraulici e ambientali, di seguito presentati.

2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

L'area oggetto di studio, idrograficamente ricompresa nell'alto bacino del T. Sentino, (affluente del F. Esino) rappresenta il settore di attraversamento da parte del suddetto corso d'acqua della Dorsale Umbro-Marchigiana (Massici del M. Catria e del M. Cucco, dorsale del M. Roma-M. Strega). La testata del bacino si spinge da SW sino alle propaggini dei monti di Gubbio, al dislivello con il bacino del Chiascio (affluente del Fiume Tevere). Il bacino analizzato chiude a valle in loc. S. Emiliano, alla confluenza con il T. Riofreddo, che drena il versante NE del massiccio di M. Cucco (Fig. 1).

Sotto il profilo geologico-strutturale il bacino è articolato in quattro unità orografiche, corrispondenti a *strutture anticlinali complesse*, con assi orientati da NW a SE (Caprari M. e Nanni T., 1999). La idrografia del territorio è fortemente condizionata dai fattori litologici e strutturali, nonché da aspetti attinenti alla neotettonica, in particolare: per il carattere "antecedente" del T. Sentino, che taglia le strutture anticlinali delle dorsali, dando luogo a caratteristiche gole o forre appenniniche (Molino delle Ogne-Valdorbia, Gola del Corno, gola tra Casacce e C. Fossarave); per l'influenza delle linee tettoniche antiappenniniche (orientate SW-NE) nel modificare durante il Plio-Quaternario l'andamento dell'idrografia, anche attraverso fenomeni di *cattura fluviale* (Cencetti C., 1988).

2. STRATIGRAFIA E TETTONICA

I terreni del substrato roccioso appartengono alle serie umbro-marchigiana. Sotto il profilo litologico si distinguono le formazioni prettamente calcaree (C. Massiccio, Corniola, Calcari ad Aptici/Calcari Diasprini, Maiolica, Scaglia Bianca) da quelle Calcarea-marnose (Sc. Rossa), sino ai termini a prevalente componente marnosa (Scaglia Cinerea e Variegata, Marne a Fucoidi, Rosso Ammonitico) (Servizio Geologico d'Italia, 1976). Un aspetto stratigrafico importante riguarda la "sostituzione" delle formazioni del medio ed alto Giurassico (Serie Completa o di Bacino) con la Formazione del Bugarone (Serie Condensata o di *Alto strutturale*), in relazione

alla paleogeografia locale dell'Oceano della Tetide nel Giurassico, articolata in *aree di bacino* ed aree di *Alto-strutturale (Sea-mount)*. Tale situazione determina una forte riduzione degli spessori della serie medio - giurassica sino alla locale diretta sovrapposizione della Maiolica al Calcare Massiccio. Nell'area in questione la successione in Serie Condensata affiora alla Gola del Corno, con la totale eteropia delle formazioni alto-giurassiche sostituite dalla Formazione del Bugarone, mentre sia la Corniola che la Maiolica presentano spessori ridotti (< 100 m). Situazioni stratigrafiche intermedie si rilevano in zone limitrofe, come, a valle di Fonte Avellana, alla sezione in Loc. Castellaccio, nel bacino del Cesano ("successioni composte lacunose" in Centamore & alii, 1971). La variazione litologica all'interno della serie stratigrafica ha importanti ripercussioni sotto il profilo della risposta alle deformazioni tettoniche e gravitative, per gli aspetti morfologici che ne derivano, nonché per il quadro idrogeologico che caratterizza l'area.

Per quanto riguarda le coperture continentali, queste sono rappresentate da **Depositi alluvionali**: si tratta di sedimenti in genere sciolti, talora debolmente cementati, di granulometria variabile da ghiaie e ciottoli a sabbie ghiaiose, trasportati e deposti dal T. Sentino nel corso del Pleistocene ed Olocene. Essi sono organizzati in depositi attuali o recenti, di modesto spessore (3-4 m) ed alluvioni terrazzate, queste ultime ridotte a lembi che si collocano a varie altezze sul fondovalle.

Questi passano lateralmente e verso l'alto a **Depositi di versante**: si tratta di depositi granulari di taglia grossolana e di forma angolosa (brecce), più o meno ricchi in matrice limosa, localmente cementati; **Depositi di frana**: si tratta di depositi derivanti da fenomeni gravitativi che interessano direttamente gli affioramenti del substrato calcareo (es. deposito da crollo di parete rocciosa, del tipo *rock-fall* o *rock-avalanche*) o che sono associati ai depositi di versante, ad esempio da processi di rotolio o colata, alimentati dal deposito di frana "primario". I corpi detritici olocenici ed attuali sono rappresentati da depositi da *debris-flow*, alcuni dei quali generatisi dagli eventi alluvionali che hanno colpito l'area in tempi recenti. Nel tratto a valle di C. Fossarave lo spessore dei depositi di versante e di frana localmente sovrapposti a depositi alluvionali terrazzati, raggiunge i 16-18 m in destra idrografica, i 14-15 m in sinistra idrografica.

L'assetto strutturale presenta due elementi peculiari rispetto alla normale alternanza di anticlinali e sinclinali: a) nella porzione medio-alta del bacino, la struttura di tangenza delle anticlinali contigue del Catria e di M. Cucco (*en-echelon*).

Questa determina la parziale elisione tettonica della sinclinale interposta, che affiora verso SE, con nucleo nella formazione del Bisciario, nei pressi di Pascelupo; b) La *faglia transpressiva di Corno di Catria* realizza l'innalzamento ed il contatto del Calcare Massiccio con i terreni cretaci della Scaglia e, più internamente della Maiolica.

La porzione inferiore del bacino è caratterizzata dalla presenza di una struttura anticlinalica, delimitata a NW dalla *faglia di Fosso delle Rave - Poggio Pantano*: si tratta di una faglia ad andamento leggermente arcuato, con un cinesmatismo di tipo transpressivo, ove la Maiolica si presenta interessata da pieghe decametriche a tratti verticalizzate. Ad Est si passa al settore inferiore, nel complesso piuttosto regolare, ove verso Sud, circa 150 m a monte di S. Emiliano, si evidenzia una seconda faglia, orientata N160-170E: questa presenta caratteri trascorrenti, associati ad un probabile cinesmatismo transtensivo, suggerito dalla presenza di fratture beanti, lungo le quali, per un certo tratto a monte, si è impostato il T. Sentino. Nel complesso tali dislocazioni individuano un settore ribassato, corrispondente appunto al tratto di valle del Sentino compreso tra C. Fossarave e S. Emiliano. Lo spessore in affioramento della Maiolica raggiunge qui 500 m circa, valore che potrebbe derivare dalla probabile presenza di faglie dirette, che abbassano il letto di tale formazione al disotto del *thalweg*.

3. IDROGEOLOGIA

Sotto il profilo idrogeologico e climatico l'area è caratterizzata dalla presenza di importanti acquiferi carbonatici, in un contesto pluviometrico caratterizzato da precipitazioni di significativa entità (1200 -1600 mm/anno) ed afflussi efficaci altrettanto rilevanti (sino a 900-1000 mm/anno).

Il comprensorio studiato è caratterizzato dalla assenza di sorgenti puntuali significative ($Q_{min} > 10l/s$), mentre prevalgono di gran lunga i fenomeni di ravvenamento in alveo.

Il Sentino presenta portate estive molto ridotte o quasi nulle a monte di Ponte Calcara, ed in generale in tutti i bacini affluenti che interessano l'acquifero della Scaglia Rossa, mentre gli ap-

Tabella 1. Principali Unità idrogeologiche e contributi estivi da acque sorgive

UNITÀ IDROGEOLOGICHE	CONTRIBUTO ESTIVO in l/s
Unità 1 - M. Cucco - M. Motette - M. Forcello (P. Calcara - Valdorbia)	80 l/s
Unità 2 - M. Catria - Corno di Catria, di cui:	192 l/s
U. 2.1 - Fosso della Gorga (a Valdorbia)	76 l/s
U. 2.2 - Gola del Corno (Valdorbia - Isola di Fossara)	116 l/s
Unità 3 - M. Roma - M. della Strega	106 l/s

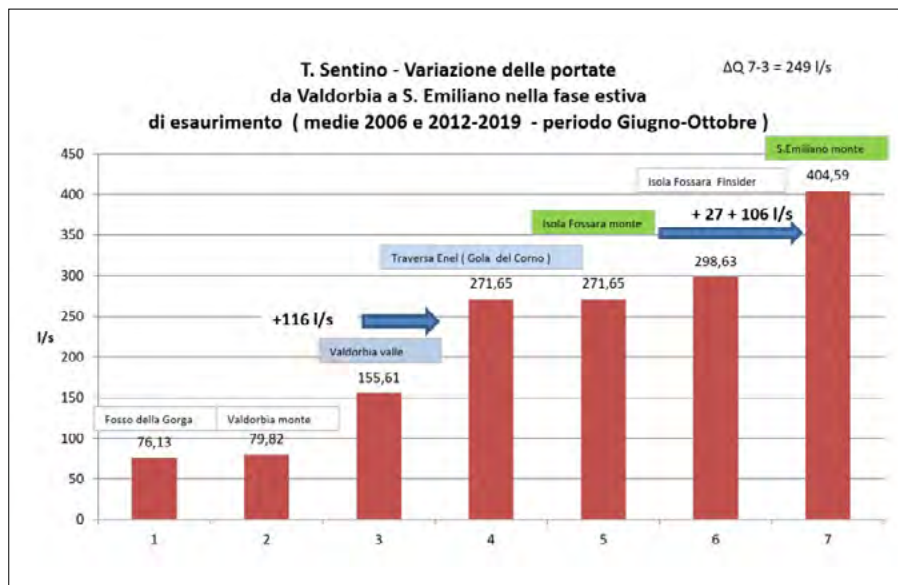


Figura 2. Deflusso di base medio estivo lungo il T. Sentino (da dati Consorzio Gorgovivo, 2020-21). Le frecce blue rappresentano gli apporti sotterranei dedotti dalle portate differenziali

idrostruttura si ricavano i seguenti contributi estivi di acque sorgive (2013-19) di cui alla Tab. 1.

A ciò si aggiunge il contributo di 27 l/s imputabile al F. Artino, quindi all'acquifero della Scaglia Rossa, e ad apporti trascurabili da Fossa Magna e Fosso Cirillo, come dal corso superiore del Sentino a monte di P. Calcara. Pertanto nel tratto interessato dal dominio carbonatico il ravvenamento estivo ammonta a circa 400 l/s, (vedi Tab. 1 e Fig. 2).

Considerando invece tutte le portate minime misurate anche nel periodo di ricarica (Novembre – Maggio), i medesimi apporti minimi salgono a 515 l/s. Tali dati sono sostanzialmente allineati a quello degli autori (Farina e Gerboni, 1994; Caprari e Nanni, 1999). Tali apporti si riducono ulteriormente in massima magra, con contributi di 85 l/s dalla idrostruttura di M. Catria e 72 l/s da quella di M. Strega ed una portata media nel periodo di massima magra pari a 237 l/s, (vedi Fig. 3).

Per ottenere una stima del deflusso sorgivo nel periodo di morbida si è fatto riferimento agli idrogrammi del Consorzio: dalla serie di 2103 dati di portata media giornaliera (dal 17/5/2014 al 17/2/2020) del periodo Novembre - Maggio sono state estratte 1890 misure utili alla stima del deflusso di origine sorgiva, tagliando gli eventi plurigior-

porti crescono all'attraversamento degli acquiferi della Maiolica e del Calcarea Massiccio. Pertanto i diversi contributi in alveo sono stati determinati prioritariamente in corrispondenza delle sezioni di "chiusura" dei nuclei anticlinali, ad opera dell'acquicludite delle Marne a Fucoidi (Ponte Calcara, Valdorbis, Casacce) mentre nel settore vallivo tale orizzonte a bassa permeabilità affiora a valle della confluenza con il T. Riofreddo, presso la loc. Pantana. Il quadro idrogeologico ricostruito su basi idrometriche fa rilevare come circa la metà del deflusso superficiale medio annuo del T. Sentino misurato negli anni 2013-2020 alla sezione di S. Emiliano ($S = 56,5 \text{ Km}^2$) abbia origine sorgiva, derivante in massima parte dagli acquiferi della Maiolica e del Calcarea Massiccio. Si evidenzia pertanto la funzione del T. Sentino come importante asse drenante per le acque sotterranee, che riemergono attraverso scaturigini diffuse provenienti dai versanti (substrato calcareo e coltri detritiche) e «sorgenti lineari» in alveo. Il quadro è quindi coerente con quanto derivato dagli autori (Boni *et al.*, 1986; De Rosa *et al.*, 1990; Caprari e Nanni, 1999; Farina, 2013), che in precedenza hanno adottato un analogo approccio di indagine quantitativa.

Per meglio discriminare il contributo del deflusso di base, di sicura origine sorgiva, sono state integrate le misure correntometriche istantanee con quelle dell'idrometro, limitandosi inizialmente all'analisi del deflusso di base, durante la magra estiva (Giugno-Ottobre). Dal grafico di Fig. 2 si rileva come il contributo medio estivo di acque sorgive nel tratto compreso tra Valdorbis valle e S. Emiliano ammonta a circa 250 l/s, escluso il Fosso della Gorga, che vale in media estiva 76 l/s. Parzializzando per

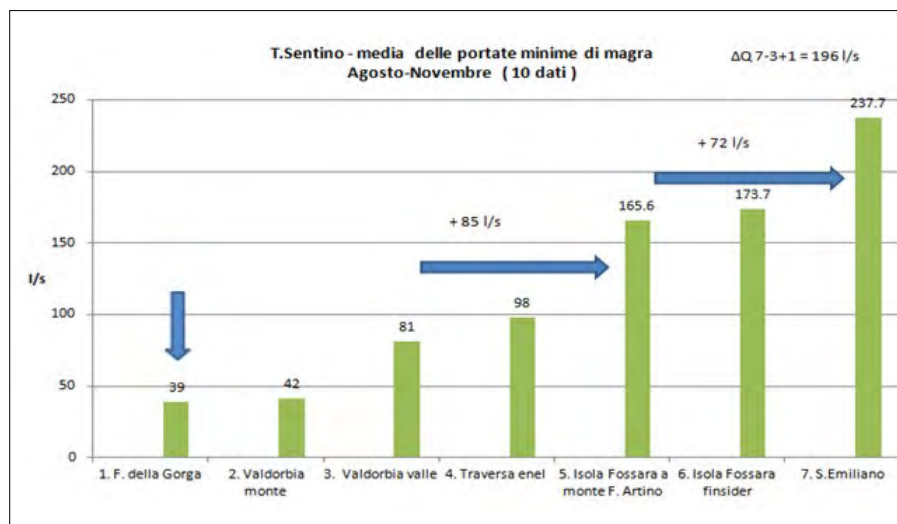


Figura 3. Deflusso di base in periodo di magra tardo-estiva/autunnale del T. Sentino espresso come media delle portate minime misurate nel periodo 2008-2019

Tabella 2 a-b. Precipitazioni e temperature medie annue, medie annue 1981-2010 e recenti (2013-2019)

STAZIONE	quota (m s.l.m.)	Precipitazione media 1981-2010 (mm)	Precipitazione media 2013-2019 (mm)	Temperatura media 1981-2010 (°C)	Temperatura media 2013-2019 (°C)
Cantiano	360	1202.3	1394	n.d.	13.12
Fonte Avellana	690	1499.7	1766	12.25	11.73
Sassoferrato	312	922.7	1138.2	n.d.	13.95
Campodiegoli	532	1077.6	n.d.	n.d.	13.27
Scheggia	688	(1190.2)*	(1089.6)**	n.d.	12.76
M.Cucco	1089	1303.2***	1518	8.78***	9.13
S.Emiliano	375	n.d.	1274.2	n.d.	n.d.

STAZIONE	quota (m s.l.m.)	Precipitazione media annua (mm)	Anni di osservazione annue	Temperatura media annua (°C)	Anni di osservazione annue
Cantiano	360	1271.6	1949-2018	13.13	2015-2018
Fonte Avellana	690	1691.1	1935-2018	11.97	1938-2004, 2014-18
Sassoferrato	312	1039.8	1935-2017	13.95	2015-2018
Campodiegoli	532	1230.7	1935-2014	13.28	2014-2018
Scheggia	688	1176.9	1935-62,2015-17	11.52	1935-1961,2014-18
Gubbio	473	1087.1	1921-2019	13.15	1951-2019

Note: *Medie di 9 anni dal 1956 al 2017; **media 2015+2017; ***media 1997-2010. Gubbio (2014-19): Pm = 1042; Tm =13.8°C

nalieri rappresentativi di circa 12 periodi piovosi, controllati dall'esame degli idrogrammi e dei dati pluviometrici e imponendo un filtro "taglia-alto" a 5,0 m³/s, quale marker dell'esaurimento della "coda" del ruscellamento/deflusso ipodermico ed inizio del deflusso sorgivo. Tali apporti sono espressione sia dei contributi sorgivi profondi, che di quelli "di versante", quindi legati anche al drenaggio delle coperture detritiche e dell'epicarso e possono essere messi in relazione alla estensione del bacino scolante. Tale componente, associabile al "campo indeterminato" (Boni *et al.*, 1995) è determinata in circa 1300 l/s (ca. 23 l/s/km²), e rappresenta la gran parte della risorsa idrica totale del bacino a monte di S. Emiliano. Il deflusso totale è infatti pari a 1.604 l/s (28,4 l/s/km²), comprendente il contributo del ruscellamento s.s.. La quota parte del deflusso di origine sotterranea ammonta a circa 930 l/s, di cui 450 l/s derivante dalle sole idrostrutture di M.Catria e M della Strega, ivi compresi apporti sotterranei

extra-bacinali stimati in circa 150 l/s. I dati presentati vanno peraltro correlati agli apporti pluviometrici del medesimo periodo nel quale sono disponibili le misure, considerato la influenza delle cicliche variazioni pluviometriche rilevate nelle serie storiche dei dati (Farina, 2013), nonché dei noti trend termometrici degli ultimi decenni. A tal fine si presentano i dati raccolti dalla rete di stazioni termopluviometriche SIMN del territorio (Tab. 2).

In tabella 2 sono presentati i valori di Precipitazioni efficaci ricavati con l'applicazione del metodo delle isoiete, delle curve quota/temperatura e della nota Formula di Turc per la determinazione della Evapotraspirazione (ETR) (Farina, 2013, Consorzio, 2022) e relativi ai diversi periodi di riferimento, ivi compreso quello indicato dalla World Meteorological Organization (1981-2010), dal quale si rileva come il periodo di misura dei deflussi (2013-2019) è stato caratterizzato da precipitazioni sensibilmente superiori alla media

1981-2010. Come noto a tale periodo è seguito un triennio caratterizzato da apporti pluviometrici sensibilmente inferiori, specialmente nella stagione primaverile (2020-2022).

Il Bilancio idrologico del bacino ed in particolare quelle delle singole idrostrutture (A-B-C), preliminarmente suggerisce il verificarsi di trasferimenti idrici significativi di acque sotterranee dal massiccio del Catria, verso l'unità di M. Strega, (settore di M. Foria-M. Aguzzo nel tratto da C. Fossarave a S. Emiliano).

4. PIEZOMETRIA

Le misure piezometriche svolte nel 2021-2022 nei nuovi piezometri multipli realizzati, (profondità sino a 50 – 60 m dal p.c.) evidenziano in condizioni di magra una quota assoluta sostanzialmente coincidente con il pelo libero del T. Sentino ed escursioni comprese per lo più tra 2 e 3 m (2021-22). In S1-a (drenato entro il substrato) si nota un carico piezometrico localmente di po-

Tabella 3. Precipitazioni, temperature medie e precipitazioni efficaci (PE), calcolate con la formula di Turc

Bacino del T. Sentino ad Abbazia Sant'Emiliano a monte della confluenza con T. Riofreddo (56.5 Km ²)			
Anno medio di riferimento	Pm (mm/a)	Tm (°C)	PE (mm/a)
"lungo termine" (≥ 50 anni, aggiornato al 2019)	1353	11.2	761
"breve termine" (2013-2019)	1440	12.0	810
Riferimento WMO (1981-2010)	1300	12.0	686

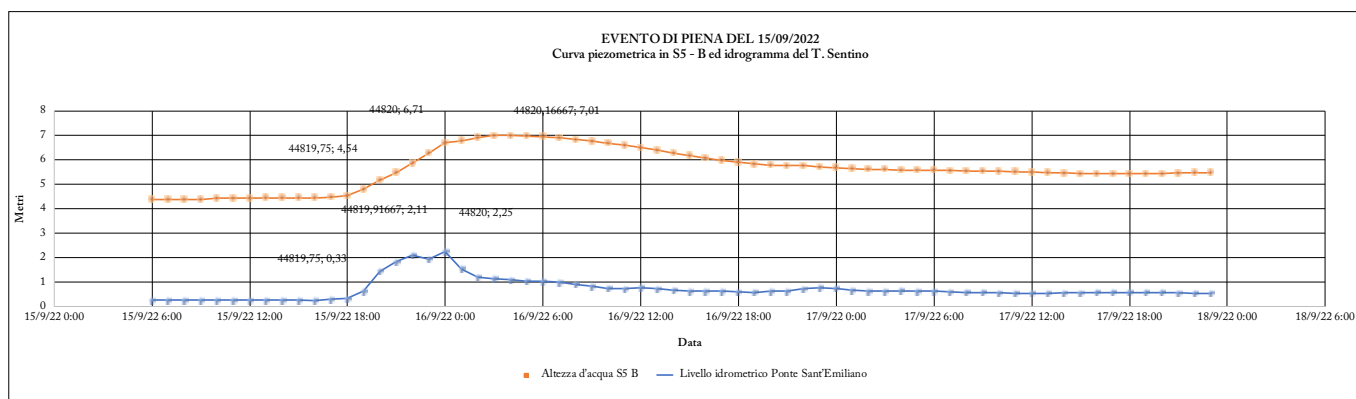


Figura 4. Variazione piezometrica registrata in S5-b (in rosso) e corrispondente curva idrometrica durante la piena del 15/9/2022 sul T. Sentino (in blue). La differenza sull'asse y si riferisce alle quote dell'alveo del T. Sentino in corrispondenza dei due sensori di livello (372 e 368 m s.l.m. circa)

Tabella 4. Caratteristiche dell'evento pluviometrico del 15 settembre 2022 misurato ai pluviometri della rete della Protezione Civile, alle stazioni di Scheggia (a monte) e Sassoferrato (a valle) ed al pluviometro aziendale in loc S. Emiliano (a valle della confluenza Sentino-Riofreddo)

Stazione	Orario evento	Pioggia evento (mm)	Pioggia massima nei 30'	Intervallo di tempo	Intensità massima evento (mm/min)
Campo pozzi S. Emiliano	16:30-22:30	134.4	13.4	20:30-21:00	0.45
Sassoferrato	14:30-20:15	100.4	23	19:30-20:00	0.77
Scheggia	14:30-20:30	187.6	61.8	16:30-17:00	2.06

co maggiore rispetto alla falda freatica misurata in S1-b (*drenanza superiore*), mentre in S5a-b la quota piezometrica della coltre detritica risulta per lo più superiore a quella profonda. In fase di ricarica, rispetto ai principali input pluviometrici si osserva una risposta molto veloce (dalle ore a 1-2 giorni). L'evento alluvionale del 15-16/9/22 ha determinato una rapida impennata dei livelli piezometrici, con limitato sfasamento temporale rispetto alla risposta dell'idrometro (vedi Fig. 4 relativa a S5-b): ciò suggerisce come sia la coltre detritica che il substrato calcareo fratturato costituiscono un unico complesso idroforo, caratterizzato da elevata infiltrazione efficace.

5. ASPETTI IDRAULICI

Lo studio idrologico-idraulico del bacino, sviluppato principalmente mediante procedure consolidate (ad es. metodo del *Curve Number*, formulazioni di Giandotti-Giambetti) e la implementazione di codici di calcolo per la ricostruzione degli idrogrammi di piena (<https://www.mikepoweredbydhi.com/>),

ha confermato l'aspetto non secondario del rischio idraulico, che nel passato recente ha interessato, in particolare, l'abitato di Scheggia e Isola Fossara, coerentemente con quanto emerge dagli studi e valutazioni svolte in sede di pianificazione urbanistica alla scala comunale. A livello quantitativo le portate al colmo di piena, con tempo di ritorno $Tr = 500$ anni hanno evidenziato con la formulazione di Giandotti-Giambetti valori compresi tra 244 m³/s alla sezione di Isola Fossara (monte) e oltre 309 m³/s alla sezione di S. Emiliano (valle). A Isola Fossara non sono presenti sezioni idrauliche sufficienti allo smaltimento delle suddette piene.

A livello geomorfologico lo studio fa emergere, aldilà di quanto desumibile dalle cartografie (Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) e dell'Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani (IFFI), la presenza di alcune situazioni di potenziale instabilità, sia di tipo gravitativo che idraulico, anche connesse a fenomeni di tipo *debris-flow*. Tale quadro idraulico è stato in qualche modo "testato" dal recente evento alluvionale del

15 Settembre 2022, che ha interessato in particolare il bacino del T. Burano (Metauro), del Cesano e, in ore successive e più a valle quello del Misa-Nevola, ove si sono registrate perdite di vite umane ed enormi danni agli insediamenti ed alle infrastrutture.

L'evento è stato caratterizzato da un centro di scroscio posizionato sull'alto Burano, sul M. Catria e sul versante orientale del M. Strega. In tale ambito sono stati registrati valori abnormi di piogge giornaliere in particolare alle stazioni di Cantiano (419 mm), M. Acuto (384 mm) e F.te Avellana (373 mm). A Cantiano e M. Acuto il 75-90% della precipitazione si è registrata tra le 15 e le 18 (207-222 mm/3 ore). Nell'alto bacino del Sentino, peraltro, l'evento è risultato sensibilmente meno severo (vedi *Tabb. 4 e 5*).

Nella porzione montana gli effetti al suolo hanno comportato gravi esondazioni e danni a Cantiano (T. Burano), Cagli e Sassoferrato, (soprattutto dal T. Sanguerone), mentre sull'alto Sentino a valle di Scheggia sono stati registrati incrementi di livello più contenuti (me-

Tabella 5. Caratteristiche dell'evento di piena del T. Sentino misurato all'idrometro aziendale in località S. Emiliano (a valle della confluenza Sentino-Riofreddo - S ≈ 85 Km²)

Orario dell'evento di piena*	Livello massimo	Ora	V max (m/s)	Ora	Portata massima (m ³ /s)	Ora	Portate USCS (m ³ /s)
19:00-17:30 del 16/9	+223 cm	23:59	3.9	23:00	50	Dalle 23:00 alle 00:30	78-97-124

Nota*: evento di piena considerato dall'esordio a $Q = 5.0$ m³/s alla coda di pari portata. Riferimenti delle portate al colmo di piena calcolate per il bacino del T. Sentino a S. Emiliano a monte della confluenza - metodo USCS per Tempi di ritorno di 100-200-500 anni



Figura 5. Debris-flows, M. Mura (alto bacino del T. Cesano)

diamente 2.5 m sull'alveo ordinario), come confermato anche dall'idrometro di S. Emiliano (incremento massimo di 2.23 m, contro i circa 6 m registrati all'idrometro di Pontedazzo, a valle di Cantiano). La conseguenza forse più eclatante ha riguardato gli ingenti trasporti di massa verificatisi negli impluvi montani, con incisioni imponenti delle falde detritiche (*gullies*), seguite da trasporto e sovralluvionamento lungo le aste torrentizie, fenomeni particolarmente vistosi nell'alto bacino del T. Cesano, ma anche presso Isola Fossara sul Sentino (Fig. 5). In termini statistici l'evento pluviometrico sul Sentino è inquadrabile con tempi di ritorno dei decenni, mentre sul Burano e Cesano ha assunto proporzioni "fuori scala" (Tr > 1000 anni).

6. CONCLUSIONI

Lo studio preliminare condotto ha evidenziato la rilevanza dell'alto bacino del torrente Sentino sotto il profilo delle potenzialità idriche, attraverso la determinazione delle portate disponibili in alveo in condizioni di morbida e di magra e sulla valutazione della origine prevalentemente sotterranea di tali acque. Il contesto orografico, geomorfologico e climatico evidenzia alcuni caratteri della pericolosità e del rischio idraulico ed idrogeologico che influenzano in maniera determinante la programmazione di un potenziale utilizzo della risorsa superficiale.

Il necessario criterio della sostenibilità, indirizza verso una ricerca di acque degli acquiferi carbonatici, previa verifica della interferenza tra i circuiti pro-

fondi e le emergenze stesse dei deflussi, che sostengono il flusso di base del corso d'acqua, anche in relazione alla fattibilità di soluzioni che prevedano un utilizzo combinato delle acque superficiali e di falda e/o e di ricarica artificiale di queste ultime.

BIBLIOGRAFIA

- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986), *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35, 991-1012.
- BONI C., MASTRORILLO L. & PETITTA M. (1995), *Scomposizione della portata dei corsi d'acqua dell'Appennino Marchigiano con il metodo delle "Portate mensili caratteristiche"* - Atti del 3° Convegno Nazionale dei Giovani Ricercatori in Geologia Applicata, Potenza, 28-30 ottobre 1993 SAFRA edit., Bari 1995.
- CAPRARI M. & NANNI T. (1999), *Idrogeologia della dorsale carbonatica del M. Catria - M. Nerone (Appennino umbro-marchigiano settentrionale)*. Boll. Soc. Geol. It., 118, 563-584.
- CENCETTI C. (1988), *Evoluzione del reticolo idrografico in un tratto umbro-marchigiano dello spartiacque principale dell'Appennino* - Geogr. Fis. Dinam. Quat., 11 (1988), 11-24, 10 if, 1 t.
- CONSORZIO GORGOVIVO (2022), *Studio di fattibilità per la costruzione di un invaso artificiale lungo la valle del Torrente Sentino nei Comuni di Sassoferrato (AN) e/o Scheggia Pascelupo (PG)*.
- DE ROSA F. FARINA D. GERBONI R. LA TORRACA F. SALVADORI P. (1990), "Hydro-metric and hydrochemical study of karstic aquifer discharge into gaining streams" (Appennino Umbro Marchigiano, Italy) V° Colloque International d'Hydrologie en pays calcaire et en milieu fissuré - Neuchâtel, 1990.
- FARINA D. GERBONI R. (1994), "Indagine idrometrica ed idrochimica sulla discarica sorgiva nei corsi d'acqua del settore settentrionale della Dorsale Umbro - Marchigiana (Fiumi Candigliano, Bosso, Burano, Sentino) e considerazioni idrogeologiche sugli acquiferi carbonatici dei Massicci dei Monti Nerone Catria e Cucco" Memorie del VII Congr. Ordine Nazionale dei Geologi, Roma, 1994.
- FARINA D. (2013), *Analisi idrogeologica e valutazione delle risorse idropotabili della Provincia di Pesaro-Urbino utilizzabili secondo criteri di sostenibilità ambientale* Tesi di Dottorato Ciclo XXVI Dipartimento di Scienze della Terra della Vita e dell'Ambiente Università degli Studi di Urbino "Carlo Bo".
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1976), *Note Illustrative del Foglio 291 - Pergola, Roma 1976*.

SITOGRAFIA

- <https://www.mikepoweredbydhi.com/>
<https://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Console-Servizi-Protezione-Civile/SIRMIP-online>

Ente strumentale della Regione Campania che sviluppa attività di monitoraggio, prevenzione e controllo per la tutela del territorio e il superamento delle criticità ambientali



L'Agenzia ha siglato un accordo di collaborazione con la SIGEA finalizzato a promuovere iniziative e progetti comuni volti alla sensibilizzazione su i temi legati allo sviluppo sostenibile e alla diffusione di stili di vita rispettosi dell'ambiente.

Per saperne di più



www.arpacampania.it



[arpac_educazione ambientale](https://www.instagram.com/arpac_educazione_ambientale)



[arpa campania](https://www.youtube.com/arpa_campania)

Valorizzazione geoturistica di antichi ipogei dell'Agro Nolano (Campania, Italia)

Geotourism enhancement of ancient hypogea in the Nola countryside (Campania Region, Italy)

Parole chiave: Tufo Grigio Campano, cavità sotterranee antropogeniche, geoturismo
Key words: Campanian Ignimbrite, anthropogenic underground cavities, geotourism

Gianfranco Caccavale

Geologo, libero professionista, Dottore di Ricerca in Analisi dei Sistemi Ambientali, Università degli Studi di Napoli Federico II, Casamarciano (Na)
E-mail: geosunda1@libero.it

Domenico Calcaterra

Professore Ordinario di Geologia Applicata, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Università degli Studi di Napoli Federico II
E-mail: domenico.calcaterra@unina.it

Massimo Ramondini

Professore Associato di Indagini e Monitoraggio Geotecnico, Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale, Università degli Studi di Napoli Federico II
E-mail: massimo.ramondini@unina.it

ABSTRACT

It is known that in the Neapolitan area, since ancient times until the first half of the last century, the abundance of tuff deposits, mainly of Phlegrean origin, favoured an intense excavation activity aimed at their use in the construction sector or for the creation of protected environments for different purposes (tombs, places of worship, aqueducts, etc.) or for food storage (canning, wine-making). In the Agro Nolano, a fertile plain north-east of Napoli, the study of artificial cavities started a few decades ago, returning an interesting series of data for the identification of ancient sampling sites, the analysis of the genesis of instability and the evaluation of the effective stability of hypogea in territorial and planning studies. In this study, next to the important historical-archaeological emergencies of this area, the underground heritage singularities and possible public fruition are considered.

RIASSUNTO

Nell'area napoletana, dall'antichità fino alla prima metà del secolo scorso, l'abbondanza di giacimenti di tufo, soprattutto di origine flegrea, ha favorito un'intensa attività di escavazione per il loro impiego o per la creazione di ambienti protetti per vari usi (sepulture, luoghi di culto, acquedotti, etc.) o per lo stoccaggio alimentare (attività conserviera, enotecnica). Nell'Agro Nolano, storica plaga a nord-est di Napoli, lo studio delle cavità artificiali è stato avviato da pochi decenni restituendo un'interessante serie di dati per l'individuazione degli antichi siti di prelievo, l'analisi della genesi dei dissesti e la valutazione dell'effettiva stabilità degli ipogei negli studi di pianificazione territoriale e di dettaglio. In questo studio, insieme alle importanti emergenze storico-archeologiche dell'area, si considerano le singolarità del patrimonio ipogeo e la sua possibile fruizione pubblica.

INTRODUZIONE

A nord-est della metropoli partenopea, la pianura interposta tra l'apparato vulcanico del Somma-Vesuvio e le prime propaggini dell'Appennino meridionale (Fig. 1) costituisce da sempre un territorio storicamente ricco di risorse naturali. Tra queste l'approvvigionamento di materiali da costruzione, quali la *facies* più litoide dell'Ignimbrite Campana (I.C., 39 ka), fu oggetto di un intenso sfruttamento in sotterraneo e/o con cave a fossa (Fig. 2).

Il deposito vulcanico, che assume una distribuzione radiale attorno ai Campi Flegrei e colma la Piana Campana con spessori compresi tra i 60 m, presso la caldera, e varie decine di metri, ai piedi dei rilievi, è ricoperto da terreni sciolti di provenienza vesuviana e alluvionale (Bellucci, 1994; 1998).

La coltivazione del tufo in alcuni centri urbani (Casamarciano, Tufino, Comiziano), presente in *facies* litoide a

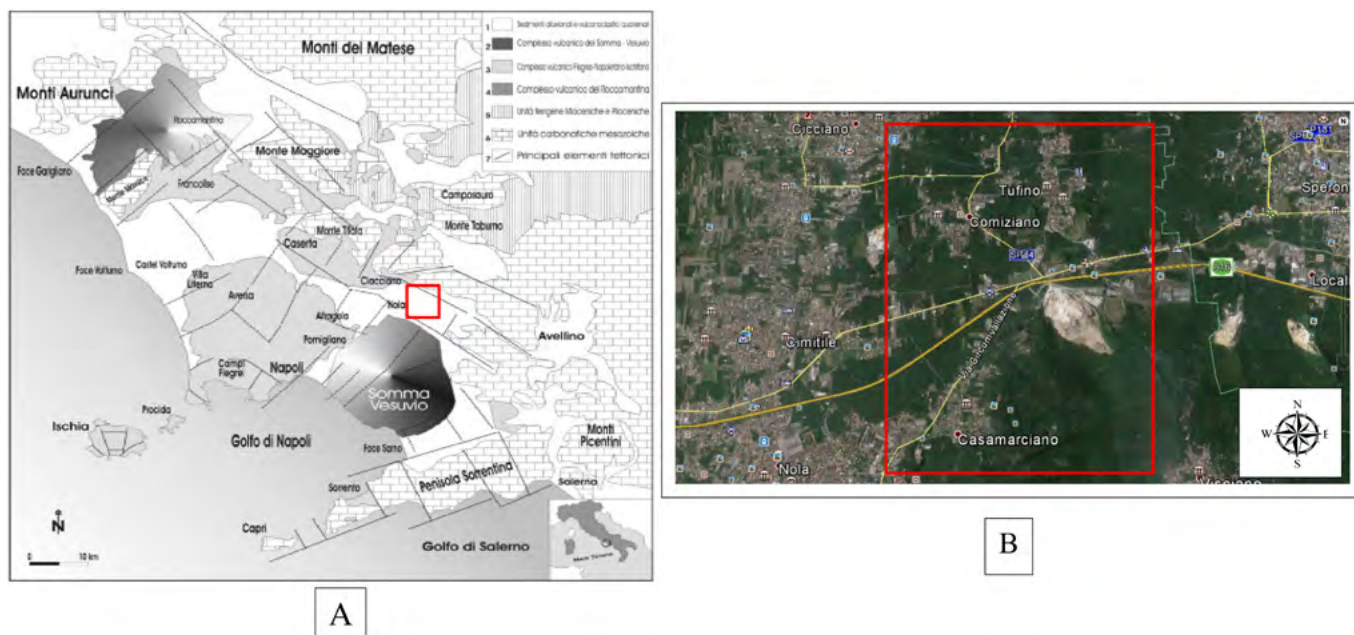


Figura 1. Inquadramento Territoriale; A) Schema geologico della Pianura Campana (Aprile et al., 2004) e B) Individuazione dell'unità intercomunale in studio (da Google Earth)

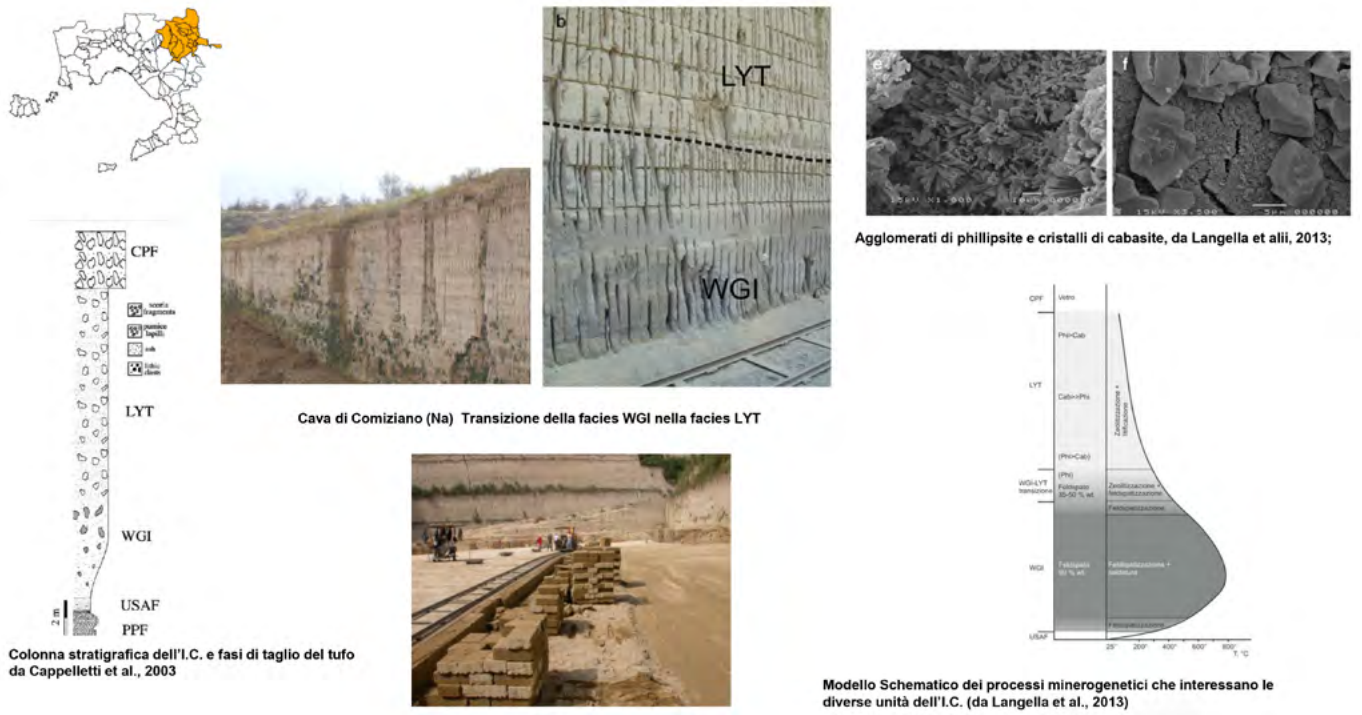


Figura 2. L'Ager Nolanus e l'Ignimbrite Campana; A) Limiti amministrativi dei Comuni dell'Agro Nolano con cavità sotterranee Ambito 5 (Provincia di Napoli, 2002); B) Fronti di cava con l'esposizione delle facies WGI e LYT; C) Colonna stratigrafica dell'I.C. e fasi di taglio del tufo da Cappelletti et al., 2003; D) processi minerogenetici che interessano le diverse unità dell'I.C. (da Langella et al., 2013); E) micrografie SEM con agglomerati di phillipsite e cristalli di cabasite, da Langella et al., 2013

profondità variabili tra 8 e 13 m dal p.c., si attuava da pozzi cilindrici che, in previsione del futuro impiego della cavità, erano successivamente ricondotti ad una sezione quadrata e rivestiti in muratura di tufo, per consentire in maniera ade-

guata il contrasto alla spinta dei terreni di copertura. Una volta raggiunto il tetto del giacimento, si dava inizio al taglio ed alla risalita dei blocchi a mezzo di una ruota dentata azionata da animali da tiro, lasciando nell'immediato sottosuolo

grandi camere sotterranee dalla sezione "a campana" e gallerie di collegamento con la volta generalmente piana. Il collegamento dell'ipogeo con le fabbriche attigue, nei cui cortili sfociavano i pozzi di areazione, era realizzato con un siste-



Figura 3. L'Ignimbrite Campana e la Città Capoluogo; A) Nola (Na), Tomba sannita con lastre di tufo e pareti dipinte, Museo Archeologico; B) frontespizio del "DE NOLA" di Ambrogio Leone (1514) con citazione di uno dei centri del tufo; C) Nola (Na) - Interno della Cattedrale con il Campanile ricostruito in tufo dopo il sisma del 26 luglio 1805; D) Archivio di Stato di Caserta - Stralcio del Rogito per l'affido della ricostruzione del Campanile al Tavolario Reale Carlo Praus; E) Caserma Principe Amedeo poi Cesare Battisti, iniziata dal Fugà (1751) e completata dal Vanvitelli (1758); F) Archivio di Stato di Caserta, Stralcio da un Contenzioso Amministrativo tra Nola e Casamarciano per i danni prodotti da un impluvio montano

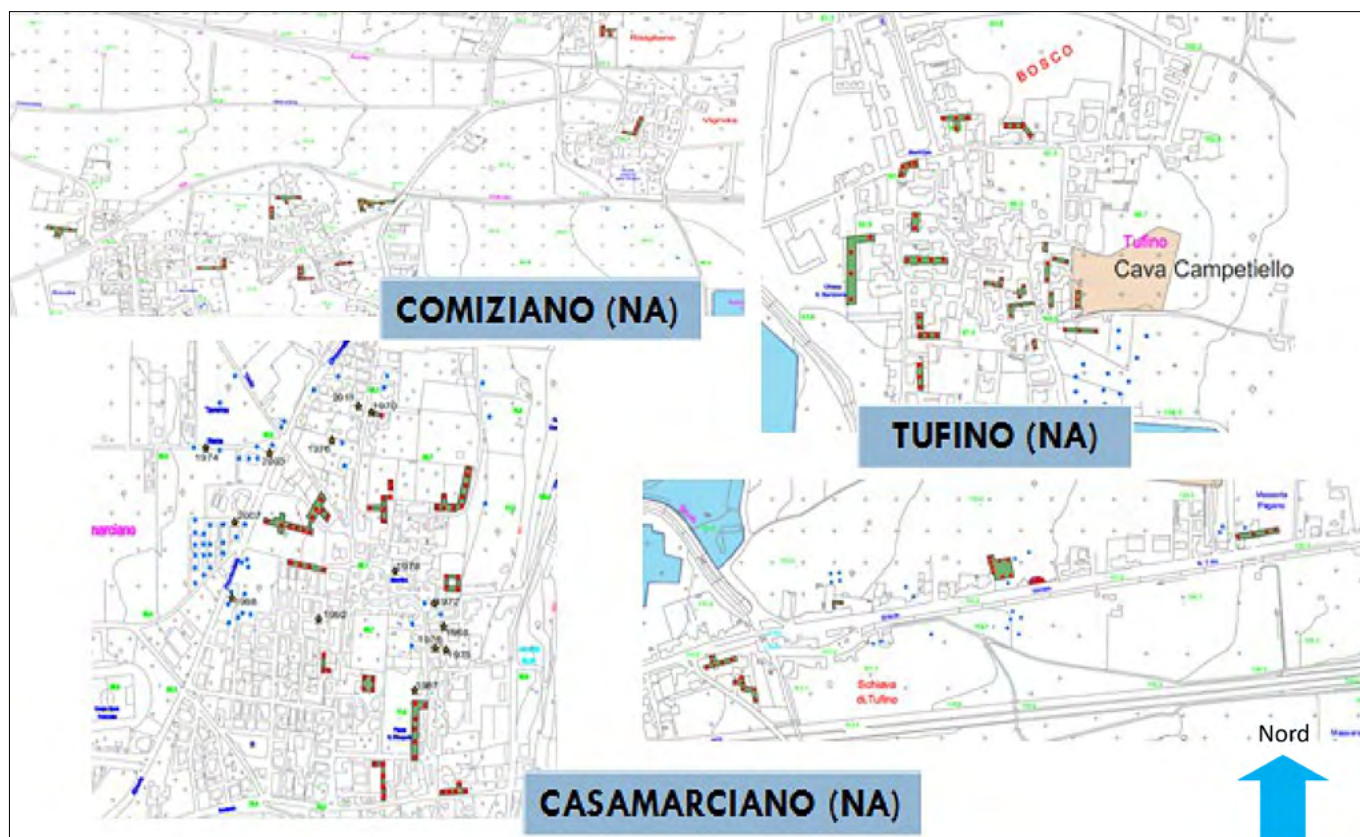


Figura 4. Distribuzione delle grotte-cantine nel centro urbano (Caccavale et al., 2017)

ma di scale e cunicoli che si dipartivano da alcuni locali al piano terra.

Lo studio, molto utile anche per la pianificazione territoriale, vuole mettere in evidenza le principali peculiarità geologiche, storiche e architettoniche dei luoghi interessati dagli ipogei e dare indicazioni sulle diverse modalità di fruizione da parte dei potenziali visitatori.

1. L'AGRO NOLANO E IL SUO TUFO

L'estrazione dell'Ignimbrite Campana nell'Agro Nolano è documentata già in epoca sannitica (De Caro, 1984) ed alto-medioevale (Ebanista, 2003), ma solo a partire dal XVI secolo abbiamo indicazioni sull'esatta provenienza del materiale edilizio fornito alla Città di Nola (Leone, 1514); qualche secolo dopo, ulteriori documenti testimoniano il suo utilizzo per la realizzazione di opere religiose e opere militari (Ruopoli, 1806; Intendenza Borbonica, 1809-1814, 1819-1814) indicate nella Fig. 3. Il tufo nolano concorse anche al restauro di molti edifici napoletani, profondamente danneggiati dal disastroso terremoto del 1805, sostituendo il sempre più raro Piperno (Langella et al., 2013). Una trasformazione urbana interessò gli agglomerati che sfruttavano la risorsa geologica intorno alla Città capoluogo con la costruzione di "case palaziate" con annessa proprietà terriera, nel corso della quale il tufo iniziava ad essere

prelevato in loco e le conseguenti cavità erano successivamente destinate a vari usi (Lucci, 1991). La mappatura di tali manufatti spesso risulta poco agevole, in quanto, per buona parte di essi se ne è persa la memoria. Recentemente, Caccavale et al. (2017) hanno eseguito un dettagliato lavoro di rilievo storico e successiva schedatura, che ha permesso di individuare una sessantina di cavità nei Comuni di Tufino (circa il 50%), Casamarciano e Comiziano (circa il 25% per ciascuno dei due Comuni) (Fig. 4), mentre nuovi elementi di rilievo si stanno acquisendo anche per i Comuni di Cicciano e Roccarainola. Gli impieghi documentati di questi spazi sotterranei sono riferibili per la gran parte all'attività enotecnica, all'approvvigionamento idrico e come laboratorio per la solforazione delle ciliegie. L'altezza delle camere (h) oscilla dai 4 ai 12 m, la larghezza (b) ricorrente non supera i 6 m, salvo alcuni ipogei di maggior ingombro, in cui raggiunge anche i 12 m. Lo spessore del tufo in volta è sempre intorno al metro e, dove la formazione litoide è più superficiale, è prossimo ai 2 m (Fig. 5-A). La profilatura delle cavità rimanda ad una parametrizzazione degli ambienti ipogei che, a luoghi, dipende dalla profondità di rinvenimento e dalla qualità dell'ammasso tufaceo (Fig. 5- B). Gli elementi che maggiormente caratterizzano tali opere sono: 1) *le discenderie di accesso*, con pendenza del 15% e provvi-

ste di un'ottantina e più di gradini, che, nel caso di più proprietari, si pongono a 90° e 180° fra di loro; 2) *la volta di copertura delle scale*, soffusamente illuminata da pozzi secondari; 3) *le grandi camere* che accoglievano le attività di lavorazione e/o di conservazione di derrate agricole; 4) *gli elementi esterni di protezione* delle canne di areazione che, in non pochi casi, evidenziano motivi decorativi. L'assetto planimetrico delle cavità, la cui estensione varia da poche centinaia ad alcune migliaia di m², dipende dalla geometria della proprietà su cui si edificava, dalla destinazione degli ambienti e dalla consistenza e posizione del costruito nel contesto urbano (Ebanista, 2014). Ciò ha comportato lo sviluppo di molteplici geometrie di coltivazione, che possono essere così raggruppate: a) pianta rettangolare, talora con angoli smussati e pareti regolari, con accesso dal lato corto e scala ad una rampa in asse, due pozzi di areazione nella cavità ed una bocca di areazione nel vano scala; b) pianta rettangolare, con vano laterale, disposti a formare una "L", con accesso dal lato corto con scale ad una rampa in asse; nel vano scala sono presenti una/due bocche di aerazione, e due nella cavità principale, uno dei quali può permettere il prelievo dell'acqua di falda nella cavità ed una in quella laterale; c) pianta "a barca", con accesso dal lato lungo e scala centrale a due rampe disposte a formare una "L", tre bocche nella ca-

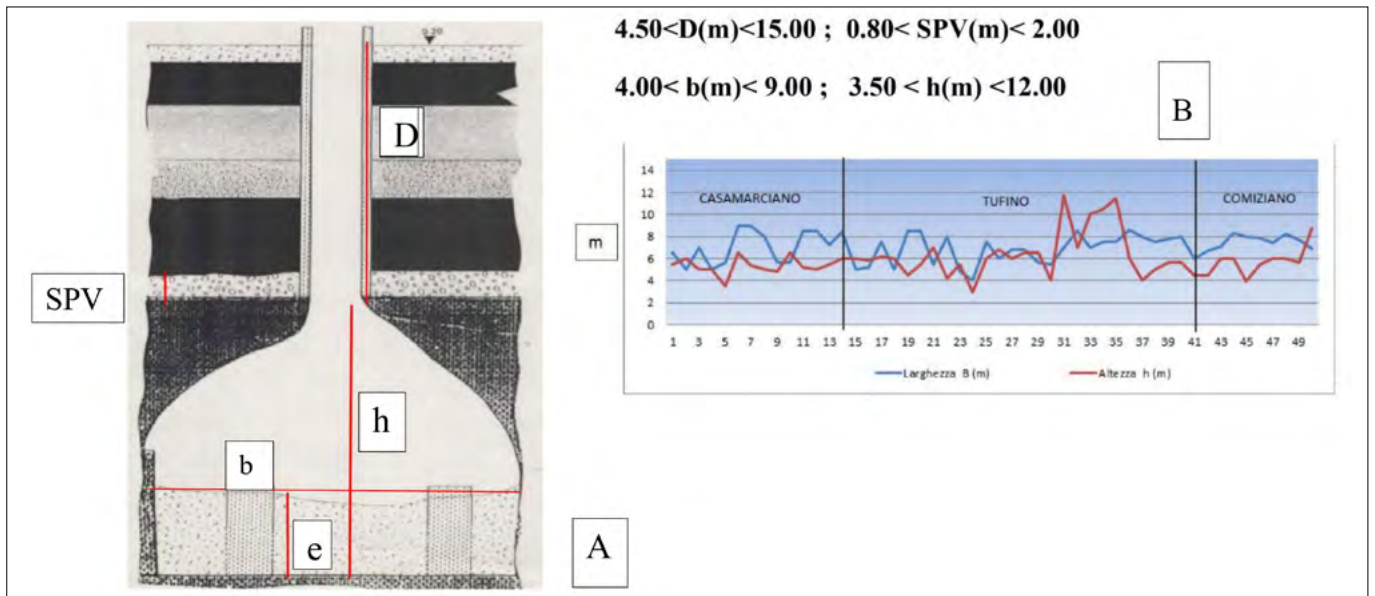


Figura 5. La Geometria degli ipogei: A) Dimensionamento di una cavità sotterranea con D=altezza del camino di accesso, SPV=spessore dello strato alluvionale a tetto del tufo, h= altezza della cavità, b=larghezza della cavità, e=spessore del taglione di tufo; B) Distribuzione delle larghezze e delle altezze, espresse in metri, osservate nelle grotte-cantina dei centri dell'Agro Nolano

vità ed una nel vano scala; d) pianta “a barca”, anche irregolare, con accesso dal lato lungo a scala laterale/laterale obliqua, due/tre pozzi di areazione nella cavità e due bocche di areazione nel vano scala; e) pianta complessa, costituita da una sala principale e da due ambienti laterali con accesso sul lato corto e la scala ad una rampa in asse, tre condotti di areazione nella cavità principale ed uno in una delle due laterali, con una sola bocca nel vano scala; f) pianta a due gallerie parallele, con due vani laterali ed ingresso dal lato corto, con scala ad una rampa in asse, dieci bocche sulle gallerie e una nel vano scala; g) ampia cisterna a pianta quadrangolare, con pozzi per

il prelievo dell'acqua o regolazione del troppo pieno, intorno alla quale corre una lunga galleria accessibile con scale poco illuminata, collegata all'invaso da stretti cunicoli; h) pozzi-cisterna, costituiti da “occhi” comunicanti, dove la cavità sottostante svolge una funzione di invaso, facendo intravedere il pelo libero della falda freatica.

2. UTILIZZO PRIMARIO DEGLI IPOGEI

Lo scavo delle cavità artificiali in Campania si richiama ad una radicata tradizione che, nel corso dei secoli, ha visto susseguirsi e talora intrecciarsi diverse modalità di utilizzo, con una

documentazione ricca che investe una pluralità di situazioni differenti. Nella maggior parte dei casi, proprio perché la tipologia delle cavità e le tecniche di scavo si ripetono invariate nei secoli, in assenza di testimonianze scritte e di dati di scavo la loro datazione può diventare problematica. Nel caso dei Comuni di Casamarciano, Tufino e Comiziano, la documentazione d'archivio rappresenta un utile indicatore cronologico; ad esempio, i Catasti Onciari del XVIII secolo sono una delle fonti di informazioni più dettagliate sulle celle vinarie delle “case palaziate” dell'aristocrazia locale e sull'intensiva coltura delle uve nei loro possedimenti (Fig. 6). Ancora oggi

A (Photos of caves)

B (Historical documents)

C (Transcriptions)

F. Magnifico D. Luzio Valenzano di Napoli
 -...Possiede un cellaro co(n) ingegno, seu cerqua da premer vino, e tinacci, con spazzo accanto, nel luogo detto “Le Curti”, giusta li ben di...” Dal Catastu Generale Unitatis Terre Casamarciani (ASN, Onciano, 1755 [f. 140])

Magnifico D. Giuseppe De Cannitius
 -...Abita in casa propria palaziata con ogni comodità con porzione di giardino contiguo per uso proprio, sita nel luogo detto Casamotone [o S. Bartolomeo], giusta li beni di ..., con cerqua da premer vino e cellaro per uso proprio..... possiede terreno arbustato vitato e fruttato di 10 moja nel luogo detto la Starza Bianca”, Dal Catastu Tufini (ASN Onciano, 1746, [f. 53])

Figura 6. Gli Ipogei nei Catasti Onciari (XVIII secolo): A) Cavità sotterranee con discenderie e pozzi di luce; B) Frontespizi degli antichi documenti dei centri di Comiziano, Casamarciano e Tufino; C) Trascrizione censuaria di alcuni proprietari delle celle vinarie

VITIGNI NOLANI
VINI PRIMARI A PRONTA BEVA

a bacca bianca

Greco di Nola
Sanginella
San Nicola



a bacca nera

Palombina
Tintore
Aglianico
Olivella
Lugliese
Soricella

VINI FINI DA PASTO ASCIUTTO-SAPIDI

PIEDIMONTE ROSSO (Aglianico, Palombina, Lugliese, Tintore), alcool da 11 a 12 gradi
VINO ROSSO DEL VESUVIO (Aglianico, Tintore, Palombina), alcool da 12 a 13 gradi

Comune	Abitanti al 1922	Produzione annua (hl)
Casamarciano	1822	5000
Comiziano	1551	4500
Tufino	2339	5000

Quantitativi di vino disponibili in alcuni centri del Nolano
VIV - Unione Italiana Vini - A. Marescalchi, Anno III

Tabella 1. Schema delle antiche uve e vini dell'Agro Nolanus (da Caccavale, 2014)

scelazione di uve minori, un vino color rosso granato, “brillante, asciutto, molto profumato e dal sapore armonico” (Leone, 1514). Le cavità profonde offrivano un microclima adatto alle caratteristiche olfattive di questi vini che, tanto per il modesto tasso alcolico ($T = 12-14^{\circ}\text{C}$), quanto per la bassa acidità (5-7 gr/l), riuscivano a conservarsi per lungo tempo. L'attività commerciale garantiva redditi significativi con una produttività per singolo Comune che non si discostava dai 5000 hl/anno (Marescalchi, 1922), dove le committenze, soprattutto napoletane, andavano ad acquistarlo in loco anche per servirlo nelle cantine sociali della Città. A partire dalla metà del secolo scorso, purtroppo, l'introduzione del nocciolo sulle terre nolane, intesa come una coltura più redditizia e meno onerosa, segnò il declino della coltura della vite e la chiusura di molte cavità-cantine dislocate sui centri urbani.

3. VALORIZZAZIONE DEGLI IPOGEI

La necessità di garantire la conservazione di un bene pubblico e/o privato si basa sul presupposto che tale attività debba essere finalizzata ad evidenziarne le singolari peculiarità, l'impiego di spazi fruibili, i benefici culturali e sociali del recupero. Deve essere sottolineato, al riguardo, che la fruizione di tali spazi è sempre più limitata dallo stato di abbandono (assenza di manutenzione che ac-

nei locali al piano terra e/o strettamente legati alle cantine, si conservano i possenti torchi in quercia e, in vicinanza di esse, pregevoli vasche di fermentazione. Il mosto d'uva era calato in grotta attraverso un primo canaletto a cielo aperto, ricavato in un piccolo corridoio di collegamento con la scala di accesso, ed un canale scavato all'interno della parete sinistra della stessa discenderia, così da rendere diretto ed agevole il travaso nelle grandi botti poste su robusti muretti in pietra di tufo. Sulle varietà dei vini dell'Agro la ricerca storica ha permesso di distinguere *cultivar* a bacca sia bianca (uva greca) che nera (uva latina) indicati nella Tab. 1, con vini primari di pronta

beva originatisi dalla miscelazione di più mosti (Piancastelli, 2001) o che, in alcuni casi, contribuivano alla produzione di varietà fini da pasto ristrette al settore orientale del Somma-Vesuvio e sul promontorio di Posillipo. A riguardo, si menzionano - 1) *IL GRECO DI NOLA O CICALA* (Asprinio) proveniente dalla lavorazione di un vitigno a bacca bianca coltivato sulle circostanti colline, un vino “matroso, grasso opilativo” (Del Zan *et al.*, 2004), molto ricercato dai sovrani angioini per i suoi minimi effetti sulla gotta, e - 2) *LA PALOMBINA* (Piedirosso), proveniente da un vitigno a bacca rossa presente oggi nell'Isola d'Ischia, che restituiva, con opportuna mi-

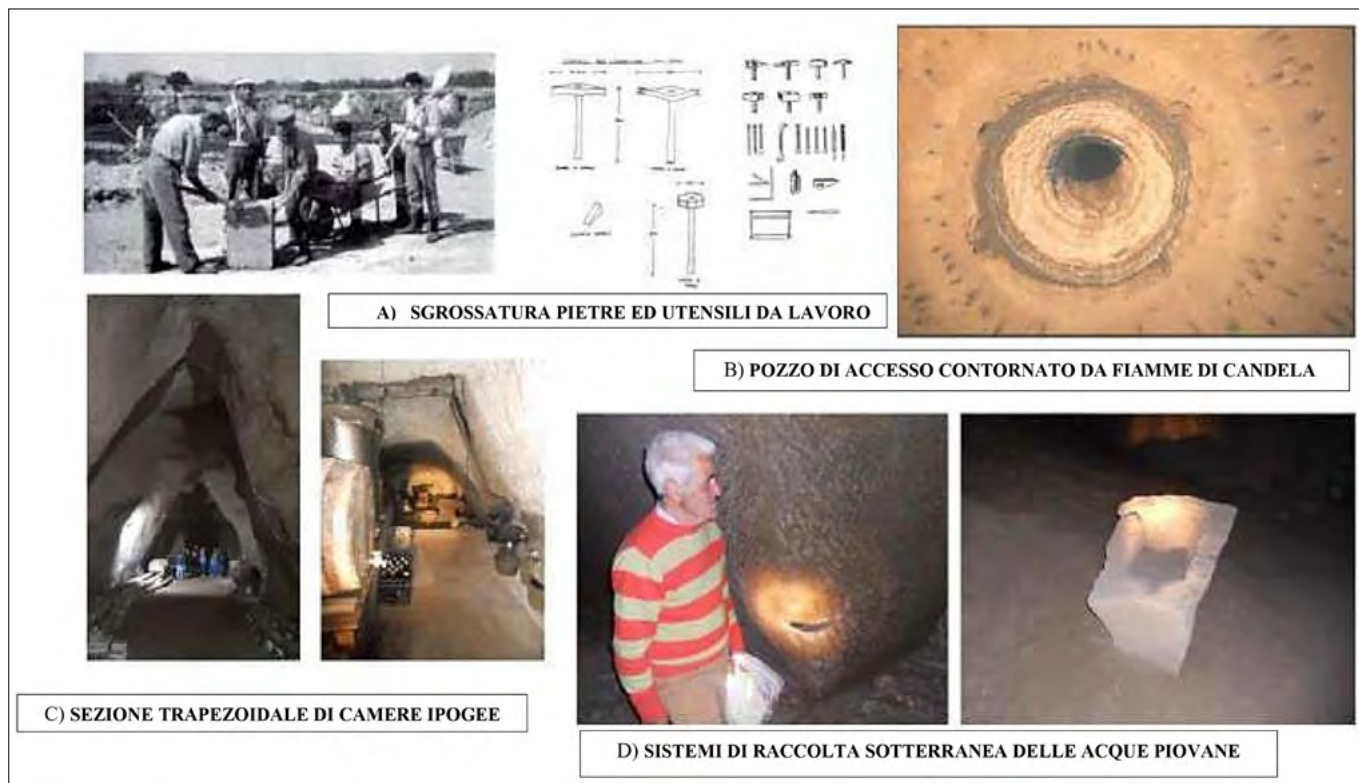


Figura 7. La sagomatura dei cavi sotterranei e la vita di miniera; A) Maestranze impegnate nella sgrossatura dei blocchi di tufo con gli utensili dei minatori, da Mascolo *et al.*, 1983; B) Pozzo di accesso visto dalla base di una cavità; C) Sezione trapezoidale di alcuni ambienti realizzati nel XVIII-XIX sec.; D) Sistemi di raccolta sotterranea delle acque, incavo realizzato a parete o in un blocco di tufo, da Caccavale G., 2014

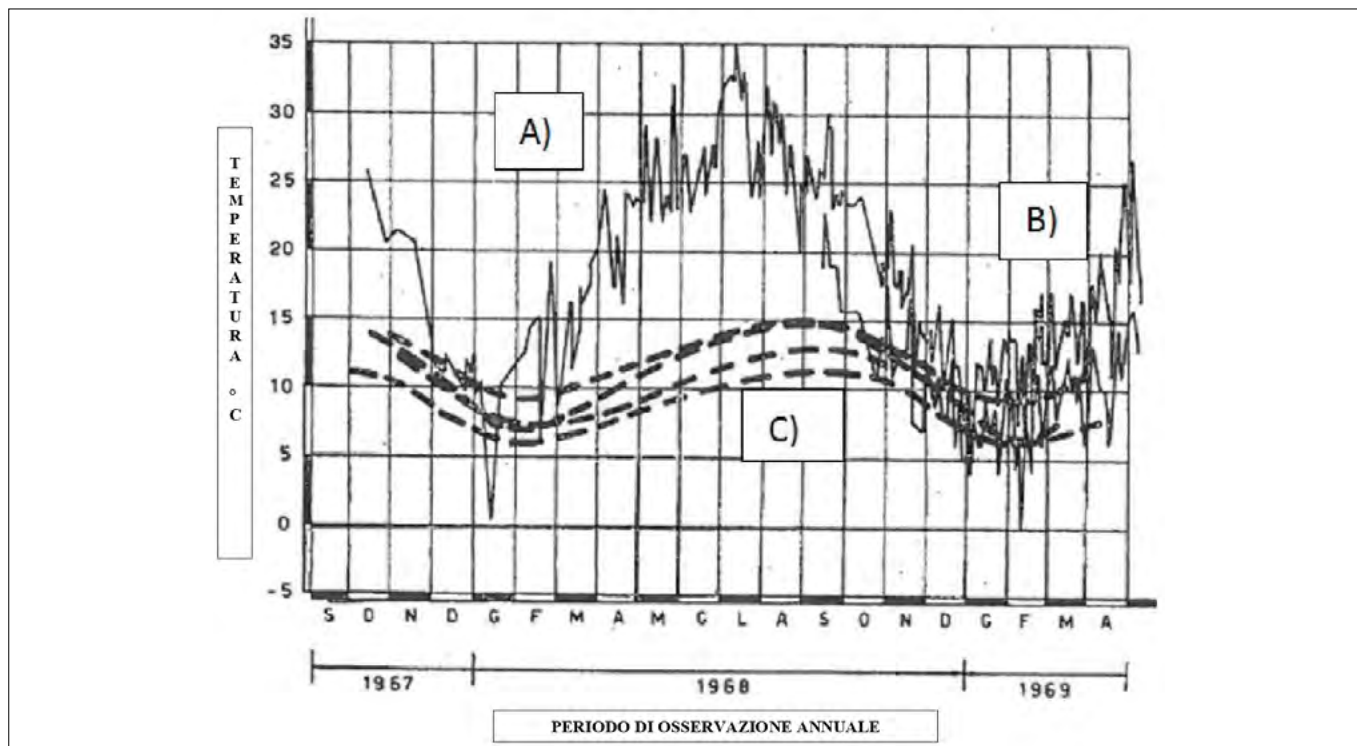


Figura 8. Il microclima degli ipogei: Andamento delle temperature centigrade registrate nel periodo temporale 1967-1969, con confronto di A) Temperatura massima esterna, B) Temperatura minima interna e C) Insieme delle temperature registrate, da Capolongo, 1969

celera i processi di degrado strutturale) e da manomissioni in epoche successive (chiusura delle discenderie con obliterazione per motivi fiscali; interrimento con scarti edilizi). Una recente analisi sulla valutazione della propensione al dissesto di questi sistemi di cavità ha suggerito per la loro conservazione vari interventi di messa in sicurezza, anche al fine di scongiurare l'insorgere di pericolosi collassi in prossimità dei pozzi di luce (Caccavale *et al.*, 2017). Sulla destinazione attuale di questi ambienti sotterranei, la letteratura recente ha proposto varie soluzioni, la cui attuazione dipende da più fattori (provenienza del bene, categoria catastale, interferenza dell'ipogeo con pertinenze pubbliche, condizioni strutturali, valore imprenditoriale dell'attività, adeguamento alle norme di sicurezza, etc.) che non sempre trovano il giusto incastro. A partire dalla metà del secolo scorso, le singolarità di questi ipogei sono stati argomenti di studio delle Scienze Applicate (Mascolo *et al.*, 1983, Spizuoco, 1996, Del Prete *et al.*, 2007) e Naturali (Capolongo, 1969). Gli elementi di rilievo delle cavità ricadenti nei centri abitati, considerati in questa sede, maggiormente estese (>1500 m²) e meglio mantenute (20%), hanno valenze di varia natura nel seguito riassunte:

a) **VULCANOLOGICA:** sulle pareti degli ipogei, come su quelle di una cava a fossa, è possibile riconoscere gli elementi dei complessi processi di deposizione della coltre ignim-

britica, dove le *facies* distali (LYT – *Lithified Yellow Tuffe* e WGI – *Welded Grey Ignimbrite*) si sono formate in conseguenza di processi secondari caratterizzati da differenti temperature di messa in posto e, relativamente alla *facies* LYT, in presenza di una matrice cineritica con dispersi lapilli pomicei arrotondati e poche scorie disperse, da interazione con acque meteoriche (Cappelletti *et al.*, 2003; Ort *et al.*; 2003, Langella *et al.*, 2013), Conseguenza di ciò è la diversa composizione mineralogica delle due *facies*: l'unità WGI ha una parte massiva più bassa, a grana relativamente fine, meno coerente e caratterizzata da un elevato tenore di K-feldspato sia pirogenico che autigeno, mentre il carattere litoide dell'unità LYT è il risultato dello spiccato fenomeno zeolitico che ha determinato la formazione di tectoalluminosilicati alcalocalcici idrati intermedi (philipsite, cabasite). Negli ipogei più profondi, adeguatamente illuminati, sono riscontrabili indizi di fratturazione colonnare singenetica/post-genetica che hanno interessato la *facies* litoide (Fiore e Lanzini, 2007) e l'emersione dal fondo della *facies* WGI, non cavabile (Miele *et al.*, 1991);

b) **GEOTECNICA:** diversamente dalle aree periferiche dei centri abitati, dove il prelievo intensivo del tufo ha lasciato molte cavità in condizioni di debolezza strutturale, negli

ipogei urbani si avverte una maggiore solidità strutturale che, partendo da una prima costruzione di camera a sezione trapezoidale, si conserva anche in quelle a sezione parabolica (Fig. 7-C). Le geometrie innanzi indicate trovano ragione nell'esperienza acquisita dalle maestranze che, allorché avvertivano il cambio delle proprietà geotecniche del tufo, risagomavano il cavo, adattando le dimensioni geometriche alla qualità dell'ammasso (Mascolo *et al.*, 1983; Aversa *et al.*, 1991). Durante la coltivazione, era prassi seguire la disposizione dei giunti della formazione per facilitare il disgiungimento dei blocchi e ridurre le operazioni di taglio con più e complessi utensili. Il gravoso lavoro svolto in miniera sollecitava le maestranze a usufruire di mezzi di fortuna per consentire l'illuminazione delle cavità o per soddisfare sinanche l'arsura (Fig. 7-B).

c) **MICROCLIMATICA:** la luce solare che penetra indirettamente attraverso le bocche di questi ambienti offre un'illuminazione molto scarsa e discontinua, con zone di maggiore intensità limitate alla base delle bocche stesse, che si attenua ancora più se la profondità è notevole. Se le grotte-cantina fossero perfettamente isolate dall'esterno, l'andamento termico atteso sarebbe a carattere solamente stagionale, con un'escursione annua sempre meno ampia che, verso i 30 m dal p.c., raggiunge

ORGANISMI

all'ingresso delle grotte, sulle muffe, sulle botti, sulle pareti, nel detrito di suolo

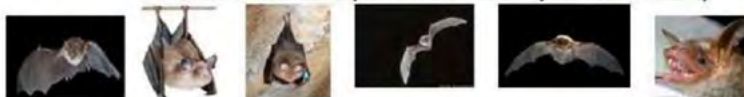
DECOMPOSITORI
(FUNGHI, ANIMALI SAPROFITI)

PREDATORI
(ANIMALI DI TAGLIA GROSSA)

- MUFFE



- CHORDATA (CHIROPTERA, RODENTIA)



- ARTHROPODA
(ISOPODA, DIPLOPODA, INSECTA)



Tabella 2. La Comunità Ecologica degli Ipogei: Schema essenziale della complessa biocenosi che abita gli ambienti ipogei, con diversificazione tra organismi eterotrofi stanziali (funghi, insetti) e predatori (cordati), modificato da Capolongo, 1969

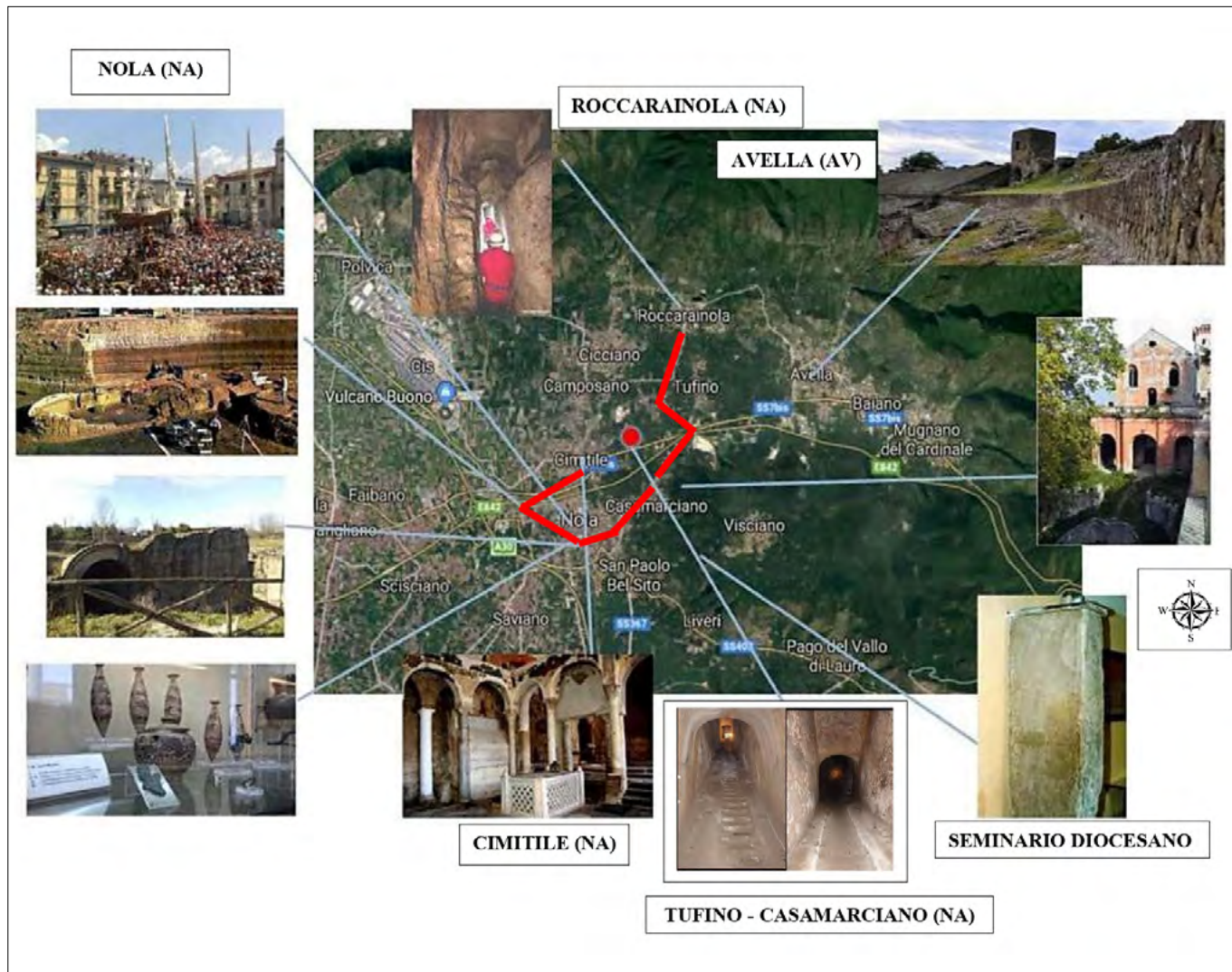


Figura 9. Itinerario Arco-Speleologico: Il percorso culturale, partendo dal Qanat di Roccarainola si sviluppa tra alcuni ipogei tufacei di Tufino e Casamarciano, dopo sosta enogastronomica, si raggiunge il Parco Archeologico del Bronzo Antico terminando presso le Basiliche Paleocristiane di Cimitile. La visita si sviluppa nell'arco di una giornata, con la durata di 2 ore per ciascuna tappa

un valore praticamente costante, pari a quello medio annuo dell'atmosfera della zona considerata (Capolongo, 1969). Nella sostanza, i numerosi pozzi di luce che collegano le cantine all'esterno sovrappongono all'andamento delle stagioni modulazioni rapide che si manifestano essenzialmente nella presenza di un'escursione diaria (minimo 1 °C nei periodi caldi e massimo 2-3 °C nei periodi freddi) e di una sensibilità marcata ai picchi di freddo invernale (qualche grado intorno allo 0 °C), con uno sfasamento che è meno evidente rispetto alle stagioni esterne (Fig. 8). Ne consegue che l'umidità osservata nelle cavità è sempre elevata, con un campo di variazione dall'80 al 100%. Esistevano quindi tutti i presupposti perché qualsiasi derrata alimentare, congiuntamente al vino, potesse essere conservata per un ragionevole lasso di tempo;

d) **BIOCENOTICA**: l'ingresso di un notevole quantitativo di materiale organico (fogliame d'autunno, accumuli di scarichi di grappi d'uva e fecce di vino), ad opera di movimenti d'aria che, talora, si accumulano specialmente alla base delle gallerie, hanno da sempre favorito lo sviluppo di una comunità ecologica dal metabolismo eterotrofo (Tab.2) composta

da organismi decompositori (funghi, insetti) e predatori (cordati). Uno studio accurato di questa biocenosi (Capolongo, 1969) ha evidenziato un sistema di nicchie ecologiche organizzate a più livelli, con specie viventi che si ritrovano sulle pareti dell'ipogeo, sul legno delle botti in disuso, nel detrito del suolo e sotto i massi. La famiglia dei funghi è rappresentata dal soffice e feltroso *Rhacodium cellare*, anticamente usato come antisettico ed emostatico, per preservare dagli urti o dall'umidità particolari oggetti e ancora come esca per accendere il fuoco, con le simbiotici *Coniophora cerebella*, *Stereum hirsutum* e *Thelephora sp.* Sulle ampie fruttificazioni delle conifere si riuniscono in gran numero molti insetti ospiti del *Rhacodium*, quali **Coleoptera** *Cryptophagidae* (*Cryptophagus*, *Mycetaea*), *Latrididae* (*Lathridius*, *Orthoperus*, *Athete*) e *Staphylinidae* (*Atheta*, *Aleochara*). Gli Artropodi più evoluti, abbondanti sulle botti, sulle pareti e nel detrito del suolo, sono alcuni rappresentanti dei **Chilopoda** (*Scutigera Coleoptrata*) e **Myriapoda** (*Callipus surrentinus*, *Brachydesmus superus*, *Brachydesmus proximus*, *Synischiosoma muro-rum*, *Ophiulus targionii verruculiger*, *Pachyulus flavipes*), **Hexapoda**

(*Pristonychus algerinus*, *Ceuthosphodrus acutangulus*, *Anchus ruficornis*, *Peryphus dalmatinus*) e **Arachnidae** con le specie pseudo-scorpiones (*Chthonius ischnocheles*) e opiliones (*Nelima silvatica*, *Dicranolasma diomedum*), **Araneae** (*Nesticus eremita*, *Nemesia cellicola*, *Tegerania domestica*, *Arcotsa lacustris*, *Pholcus*). Tra gli organismi predatori di grossa taglia si annoverano alcuni **Chordata**, quali **Chiroptera** (*Rhinolophus ferrumequinum*, *Rhinolophus hipposideros*, *Myotis capaccinii*, *Myotis oxygnathus*) che si rifugiano nelle parti alte delle volte, all'esterno o dentro fessure, e **Rodentia** (*Rattus sp.*).

4. INIZIATIVE PER LA PROTEZIONE DI "UN BENE CULTURALE"

Il D.lgs. n. 42 del 22/01/2004 disciplina le varie forme di tutela e conservazione di beni culturali italiani di appartenenza tanto pubblica che privata. La nozione di bene culturale è desunta dall'art. 2 comma 2 e dagli artt. 10 e 11 del suddetto decreto, a cui si affianca la categorizzazione di cose immobili e mobili di interesse, riportata nei commi 1 e 3 lett. a). Un accertamento del valore culturale di questi ipogei nolani, se attuata con l'attuale procedura VIC (Verifica di Interesse Culturale) prevista

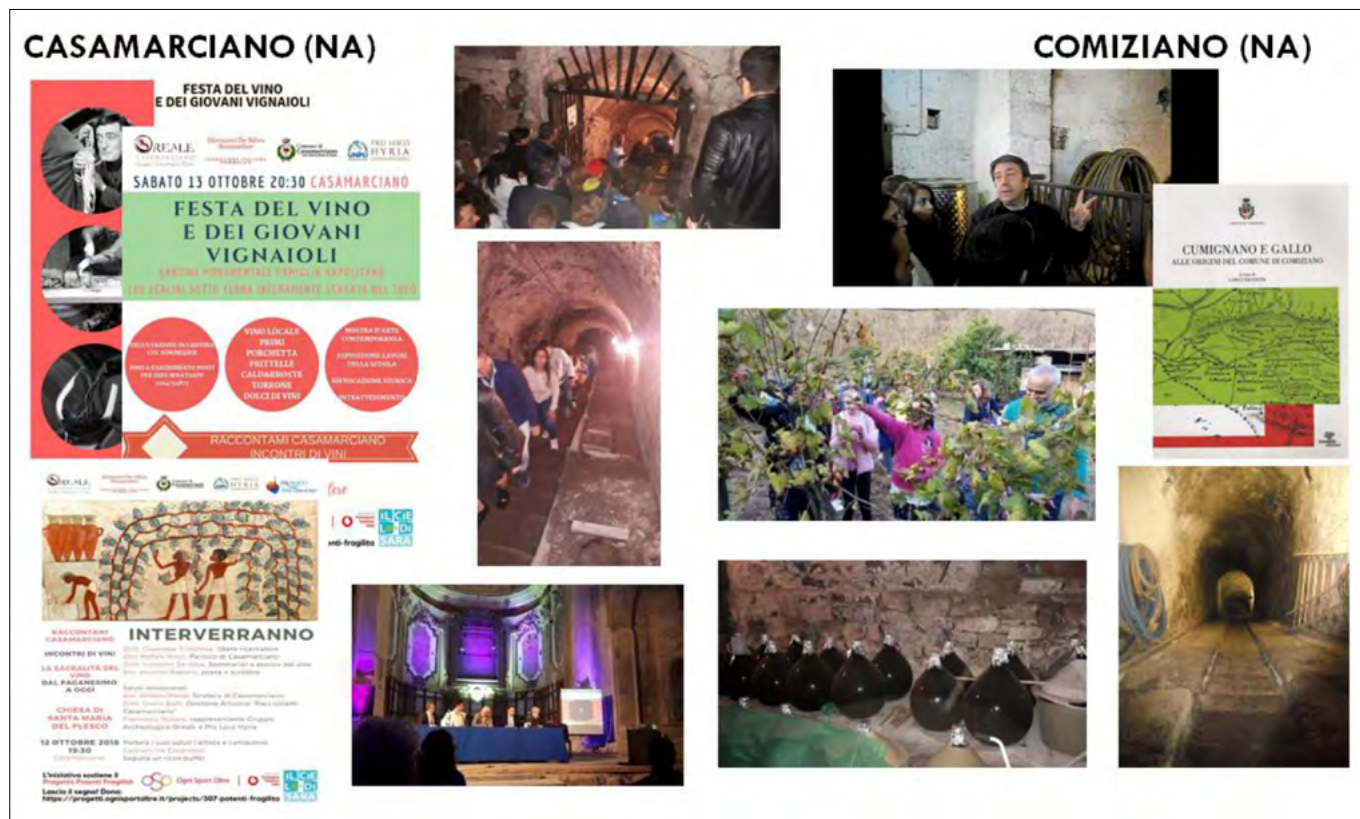


Figura 10. Iniziative di Valorizzazione: A sinistra, Casamarciano (Na) Locandine della Festa del Vino, dei Vignaioli e del Convegno sulla Nocciola tenutosi nella Chiesa di Santa Maria del Plesco, al centro, discesa nella cavità-cantina di Via Sidon; Comiziano (Na), un enologo presso la cavità-cantina Napolitano su Via Provinciale Cicciano, la visita al vigneto, la discesa in grotta con degustazione di Asprinio, in alto, a destra, frontespizio di un testo storico sul centro abitato e la sua frazione Gallo. (personal photos Caccavale, 2012-2018)

dal Ministero della Cultura, ne permetterebbe l'assoggettamento nell'ambito delle *architettura rurali*, di cui al comma 4 lett. a-l dell'art. 10, che richiama a testimonianze di un'economia antica basata sul connubio tra sfruttamento di risorse geologiche locali e attività rurale tradizionale.

La frequentazione di questi ambienti troverebbe ragione con percorsi enologico-rurali (ripresa della coltura della vite con degustazione di vini in grotta, musei del cavamonte e del contadino, danze e canti agricoli nelle corti urbane), mancanti sul territorio, in simbiosi con quelli folk-storico-archeologici di Nola (Festa dei Gigli, Museo Archeologico, Villaggio del Bronzo Antico, Anfiteatro Laterizio, Cippo Abellano presso il Seminario Diocesano), di Cimitile (Basiliche Paleocristiane), di Casamarciano (Chiesa di S. Maria del Plesco), di Avella (Castello di San Michele), di Roccarainola, (Qanat), con un itinerario indicato nella Fig. 9. Allo stato attuale, gli accessi alle grotte-cantine, che hanno visto la partecipazione di un folto pubblico, sono stati autorizzati dalle Amministrazioni di Casamarciano e Comiziano nel corso delle feste patronali (San Clemente, San Severino) o nel quadro di manifestazioni autunnali (Festival Nazionale del Teatro, Sagra della Nocciola e dei Vignaioli), con la produzione di opuscoli di storia del territorio e l'allestimento di pannelli descrittivi da parte di associazioni culturali (Fig. 10).

Il coinvolgimento delle istituzioni scolastiche, di diverso ordine e grado, è stato significativo nel corso di specifici seminari dove geologi, naturalisti, enologi hanno comunicato al giovane uditorio le peculiarità di questo patrimonio culturale. Una coscienza naturalistica, civica e politica che miri ad una strategica sensibilizzazione, trasmissione e riqualificazione della propria identità storica, potrà portare a riconoscimenti legislativi locali già acquisiti da altre realtà territoriali campane, con nuovi percorsi di sviluppo economico per quest'area.

BIBLIOGRAFIA

AVERSA S., EVANGELISTA A., RAMONDINI M. (1991), *Snerciamento e resistenza a rottura di un tufo a grana fine*, II Convegno dei Ricercatori del G.N. CSIG del CNR, Ravello, I, pag. 3-22.

BELLUCCI F. (1994), *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana*, Bollettino della Società Geologica Italiana, Vol. 113, fasc. 2, pp. 395-420.

BELLUCCI F. (1998), *Nuove conoscenze stra-*

tigrafiche sui depositi effusivi ed esplosivi nel sottosuolo dell'area del Somma-Vesuvio, Bollettino della Società Geologica Italiana, Vol.117, fasc. 2, pp. 385-405.

CACCAVALE G. (2014), *Analisi Sistemica per una valutazione della suscettibilità al dissesto di territori dell'Agro Nolano (Provincia di Napoli) con presenza di cavità e grotte cantine in tufo*, Tesi di Dottorato di Ricerca in Analisi dei Sistemi Ambientali, CI.R.AM, Università degli Studi di Napoli Federico II.

CACCAVALE G., CALCATERRA D., RAMONDINI M. (2017), *Analisi sistemica per una valutazione della suscettibilità al dissesto di territori dell'Agro Nolano (Provincia di Napoli) con presenza di cavità e grotte cantine in tufo*. Atti del Convegno Nazionale "Cavità di origine antropica, modalità di indagine, aspetti di catalogazione, analisi della pericolosità, monitoraggio e valorizzazione", Roma, 1° dicembre 2017, Geologia dell'Ambiente, Periodico trimestrale della SIGEA, Supplemento al n.4/2018, ISSN 1591-5352, pp.135-154, scaricabile all'indirizzo web sigaweb.it/supplementi.html.

CAPOLONGO D. (1969), *Studio Ecologico delle cantine del Napoletano*, Bollettino della Società Entomologica Italiana, Volume XCIX-CI, n. 9-10, pp. 194-205.

CAPPELLETTI P., CERRI G., COLELLA A., DE GENNARO M., LANGELLA L., PERROTTA A., SCARPATI C. (2003), *Post-eruptive processes in the Campanian Ignimbrite*, Mineralogy and Petrology, 79.

DE CARO S. (1984), *Una nuova tomba dipinta di Nola*, Rivista dell'Istituto Nazionale d'Archeologia e Storia dell'Arte, Terza Serie, VI-VII, 1983-1984, pp. 71-95.

DEL PRETE S., PARISE M. (2007), *L'influenza dei fattori geologici e geomorfologici sulla realizzazione di cavità artificiali*, Opera Ipogea, 2, pp. 11-24.

DEL ZAN F., FAILLA O., SCIENZA A. (2004), *La vite e l'uomo, dal rompicapo delle origini al salvataggio delle reliquie*, ERSA Agenzia regionale per lo Sviluppo Rurale, Lloyd Editore, San Dorligo della Valle, Trieste.

EBANISTA C. (2003), *Et manet in mediis quasi gemma intersita tectis: la basilica di S. Felice a Cimitile: storia degli scavi, fasi edilizie, reperti*, Memorie dell'Accademia di Archeologia, Lettere e Belle Arti in Napoli, XV, pp. 673, Napoli.

EBANISTA C. (2014), *Le cave di tufo, le cantine e le cisterne di Comiziano (Napoli)*, Opera Ipogea, Journal of Speleology in Artificial Cavities, 16/02, pp. 21-28.

FIGLIORE M., LANZINI M. C. (2007), *Problematiche di valutazione del rischio di crollo di cavità sotterranee*, Geologia & Territorio, Ordine dei Geologi della Puglia, nn. IV 2006/I.2007, pp. 33-45.

GAZZETTA UFFICIALE (2004), "Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137", Decreto Legislativo 22 gennaio 2004, G.U. n. 45 del 24-02-2004, Supplemento Ordinario n. 28.

LUCCI R., (1991), *La costruzione dell'abitare*, CUEN.

INTENDENZA BORBONICA (1809-1814), *Co-*

struzione di fabbriche nell'abolito Monistero di San Paolino di Nola, "Orsola Pugliese del Comune di Casamarciano, ... dovendosi costruire delle fabbriche nell'abolito Monistero di San Paolino di Nola, ivi si condusse a trasportar le pietre [di tufo], onde poter avere il salario giornaliero", Archivio di Stato di Caserta, Affari Comunali, Casamarciano, b. 1177, foglio non numerato

INTENDENZA BORBONICA (1819-1823), *Corrispondenza della Direzione Generale di Ponti e Strade a firma dell'Ing. Abate a Sua Eccellenza Segretario di Stato e Ministro degli Affari Interni in Napoli*, Archivio di Stato di Caserta, Affari Comunali di Nola, Contenzioso Amministrativo, b.1179-1180.

LANGELLA A., BISH D.L., CALCATERRA D., CAPPELLETTI P., CERRI G., COLELLA A., GRAZIANO S.F., PAPA L., PERROTTI A., SCARPATI C., DE GENNARO M. (2013), *L'Ignimbrite Campana (IC)*, in "Le Pietre Storiche della Campania, dall'oblio alla riscoperta", a cura di Maurizio de Gennaro, Domenico Calcatera, Alessio Langella, Luciano Editore, Napoli, pp. 155-177.

LEONE A. (1514), *De Nola, opusculum distinctum, plenum, clarum, doctum, pulchrum, vero, grave, varium et utile*, Venezia, Giovanni Rosso Editore.

MARESCALCHI A. (1922), *Annuario Vitivinicolo*, Unione Italiana Vini, Anno III.

MASCOLO G., PETRILLO G. (1983), *Il tufo come presenza del passato*, Tesi di Laurea in Architettura, Università degli Studi di Napoli Federico II, Anno Accademico 1982/83, Napoli.

MIELE A., PICIOCCHI C. (1991), *Studio delle cavità artificiali nel territorio di Cicciano (Na)*, 3RD International Symposium on Underground Quarries, Napoli Castel dell'Ovo, 10/14 July, organizzato dalla Sezione Provinciale del Club Alpino Italiano & Società Speleologica Italiana, Atti a cura di R. Paone e C. Picocchi, pp.139-162.

ORT M.H., ORSI G., PAPPALARDO L., FISHER R.V. (2003), *Anisotropy of magnetic susceptibility studies of depositional processes in the Campanian Ignimbrite, Italy*, Bull. Vulcanol., Vol. 65, 1, pp. 55-72.

PIANCASTELLI M. (2001), *I grandi vini della Terra di Lavoro*, Publital Edizioni, Napoli.

PROVINCIA DI NAPOLI, CITTÀ METROPOLITANA (2002), *Progetto Cavità - Censimento delle Cavità Sotterranee dei Comuni della Provincia di Napoli, Ambito Area Nolano*, Assessorato al Piano Territoriale di Coordinamento e Progetti Speciali, Area di Pianificazione Territoriale ed Urbanistica Direzione PTCP - SIT- Piani di Settore, pag. 11.

RUOPOLI G. (1806), *Istrumento di Appalto di Fabbriche della Cattedrale e del Campanile di Nola*, Archivio di Stato di Caserta, Atti Notarili, Ruopoli, n. 134, 4 febbraio 1806, 4.C. 3131.

SPIZUOCO A. (1996), *Cavità antropiche nel tufo della Piana Campana: problematiche geologiche e geomeccaniche*, Università degli Studi Federico II di Napoli, Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse, Dispensa Universitaria.

Geopolimeri come materiali ecologici per il trattamento delle acque reflue

Vito Cofano
Marina Clausi
Daniela Pinto

Università degli Studi di Bari Aldo Moro,
Dipartimento di Scienze della Terra
e Geoambientali

E-mail: vito.cofano@uniba.it

Geopolymers as eco-friendly materials for wastewater treatment

Parole chiave: geopolimeri, acque reflue, trattamento delle acque, riciclo
Key words: geopolymers, wastewater, water treatment, recycling

ABSTRACT

Water is a renewable resource, but several human-related factors are compromising its quality and availability. For this reason, it is necessary a major reuse of urban and industrial wastewater. There are several treatment steps and several effective technologies involving in wastewater treatment. However, they often have many disadvantages, including high operating costs and production of by-products. More environmentally friendly and lower cost solutions are therefore required. To this end, promising materials in water treatment are geopolymers. These materials (initially developed as cement substitutes), are proving to be highly versatile, easy to prepare and eco-friendly. Moreover, they are low-cost materials (as they are produced from waste) and developed with a resulting low CO₂ footprint. In experimentation, they have already proved effective in removal of numerous pollutants such as: heavy metals, radioisotopes, sulphate, phosphorus, ammonium, faecal coliforms, dyes and rare earth elements. However, in order to provide a large-scale industrial applications, time and continuous testing on real plants will be needed.

INTRODUZIONE

La presenza dell'acqua è un requisito fondamentale per lo sviluppo di qualsiasi

forma di vita sulla Terra. Ad oggi però, pur essendo una risorsa rinnovabile, alcuni fattori legati all'uomo (incessante crescita demografica, sovrasfruttamento, inquinamento, ecc.) ne compromettono la sua disponibilità e qualità, rendendo questo bene comune sempre più limitato. In una evidente situazione di crescente scarsità delle risorse idriche, il riutilizzo di acqua derivante da rifiuti liquidi può rappresentare un'alternativa efficace ai fini della salvaguardia dell'ambiente. In particolare, il riutilizzo di acqua derivante dal trattamento di reflui urbani rappresenta una strategia in grado di produrre notevoli vantaggi dal punto di vista ambientale, poiché permette di valorizzare volumi non trascurabili altrimenti destinati allo scarico in mare ed al contempo di ridurre l'uso di acqua derivante da invasi e da falde sotterranee. Tuttavia, ai fini del riutilizzo di acque di scarto, è necessario tenere conto dei potenziali inquinanti in esse contenute. Le cause dell'inquinamento idrico di acque reflue sono generalmente di diversa natura e sono relazionabili allo sviluppo antropico e industriale dei diversi territori (rifiuti industriali, attività estrattive minerarie, acque reflue e di scarico, pesticidi e fertilizzanti, produzione di energia, rifiuti radioattivi, ecc.). Diventa pertanto necessario oggi incentivare quanto più possibile la ricerca nell'ambito dello sviluppo di nuove

metodologie per il trattamento di acque di scarto al fine di eliminare eventuali componenti nocivi e di permetterne il riutilizzo in sicurezza. Ad oggi sono state sviluppate numerose metodologie, principalmente basate su trattamenti chimici, fisici, biologici, elettrici e termici. Solitamente la scelta del metodo è legata al tipo di inquinante da rimuovere. Ad esempio, i trattamenti biologici sono generalmente più utilizzati per la rimozione della materia organica perché più validi (Kanaujiya *et al.*, 2019), ma vi sono trattamenti chimico-fisici efficaci nella rimozione di una più ampia varietà di inquinanti, basati su scambio ionico (Hosseini *et al.*, 2020; Ammini *et al.*, 2015), adsorbimento (Rashid *et al.*, 2021) e osmosi inversa (Pettrinic *et al.*, 2015). In particolare, l'adsorbimento consiste nell'accumulo di una sostanza (adsorbito) sulla superficie di un solido (adsorbente), cioè sull'interfaccia bidimensionale di quest'ultimo. Tra i trattamenti fisici basati su questa tecnica, si distinguono i carboni attivi, utilizzati nella rimozione sia di sostanze organiche che inorganiche. La crescente richiesta di acqua potabile e nello stesso tempo di processi produttivi più sostenibili rende oggi necessaria la sperimentazione di nuovi sistemi che possano avere una efficacia paragonabile o superiore a quella degli attuali materiali adsorbenti utilizzati, ma un mino-



Figura 1. Il processo di preparazione di un geopolimero richiede la miscelazione meccanica di un precursore (come ad esempio il metacaolino) con una soluzione alcalina (composta ad esempio da silicato di sodio ed idrossido di sodio), in proporzioni definite. Dalla maturazione in condizioni controllate (tempo - temperatura - umidità) è possibile ottenere materiali con differenti proprietà chimico-fisiche

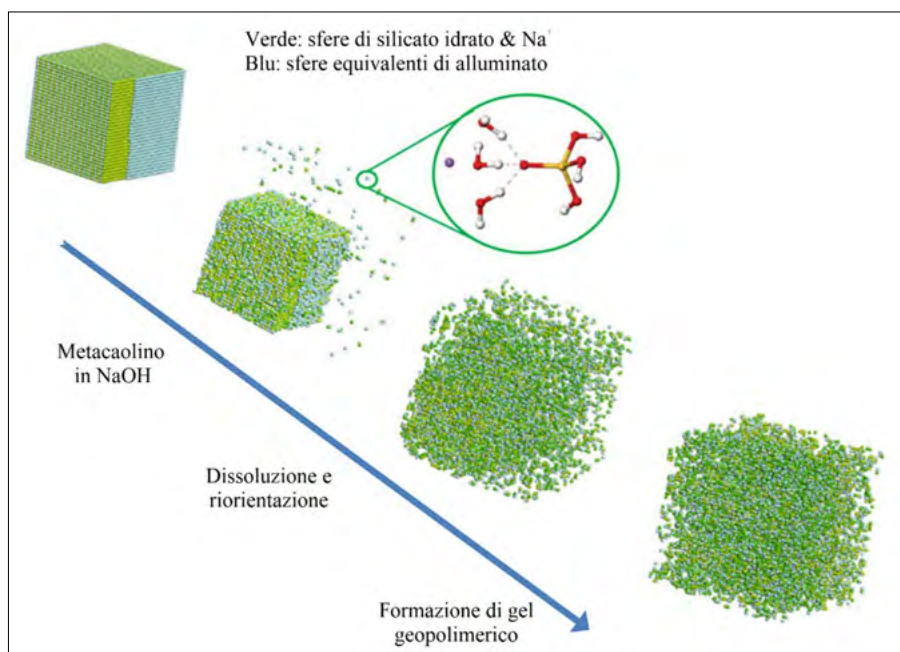


Figura 2. Schema descrittivo del processo di geopolimerizzazione del metacaolino con una soluzione di NaOH mediante un modello Monte Carlo (da Provis, 2014, mod.)

re impatto ambientale. A tale scopo, un interessante ambito di ricerca riguarda l'utilizzo di geopolimeri, una emergente classe di materiali che evidenzia oggi promettenti potenzialità di applicazione nell'ambito del trattamento dell'acqua (Della Rocca *et al.* 2021; El Alouani *et al.* 2021; Luukkonen *et al.* 2019).

I GEOPOLIMERI: CARATTERISTICHE, STORIA E VANTAGGI

La tecnologia geopolimerica, anche nota come tecnologia ad attivazione alcalina in una accezione più ampia, si basa sulla reazione, in determinate condizioni di sintesi e maturazione, tra un precursore alluminosilicatico (ricco in silice ed allumina reattiva) ed un attivatore alcalino (Fig. 1), per ottenere

materiali prevalentemente amorfi, noti come geopolimeri. Le materie prime più utilizzate sono le argille caolinitiche, ceneri volanti (flyash) o le scorie d'altoforno. Tuttavia, sempre maggiori studi sono orientati a sperimentare altri possibili precursori derivanti da materiali di scarto, come ad esempio ceneri di lolla di riso (Sundeeep *et al.*, 2016), ceneri di bagassa (Andreae *et al.*, 2019) e scarti di vetro al piombo (Abdel-Gawwad *et al.* 2023). Gli attivatori alcalini più utilizzati sono gli idrossidi di sodio o di potassio (NaOH, KOH) ed i silicati di sodio ($n\text{SiO}_2\text{Na}_2\text{O}$) o di potassio ($n\text{SiO}_2\text{K}_2\text{O}$) (Barbosa *et al.* 2000; Pacheco *et al.* 2008, part. 2). La reazione di geopolimerizzazione avviene in diverse fasi (Fig. 2): il precursore si dissolve in presenza dell'attivatore, e si riorganizza

creando una struttura amorfa. Le caratteristiche dei materiali geopolimerici sono state a lungo confrontate con quelle del tradizionale cemento Portland (OPC), emergendo come possibili alternative sostenibili, grazie al loro processo produttivo a bassa impronta di carbonio. Diverse sperimentazioni (Palomo *et al.*, 2014) hanno permesso di confrontare i geopolimeri con altri leganti attualmente in commercio, evidenziando le loro particolari proprietà di resistenza all'invecchiamento, durabilità (degradazione dovuta a cicli di gelo/disgelo e umido/secco), resistenza chimica (attacco chimico dovuto a soluzioni aggressive come acqua di mare, solfato di sodio ecc.), uguali o addirittura superiori al cemento Portland ed ai leganti attualmente in uso come cemento misto o cemento ad alto contenuto in allumina. Il processo produttivo dei geopolimeri è inoltre a bassa impronta di CO_2 in quanto la sintesi può avvenire a basse temperature (inferiori ai 100°C). I materiali geopolimerici sono stati prodotti e brevettati per la prima volta nel 1908 da Kühl, 1908, commercializzati e sviluppati ulteriormente da Purdon, 1940, in Belgio e da Glukhovskiy, 1957, a Kiev fra il 1930 ed il 1960, fino al 1978, quando il chimico francese Davidovits brevettò con il nome geopolimero un legante ottenuto dall'attivazione alcalina del metacaolino, di natura polimerica e che simulava le strutture silico-alluminate delle rocce presenti in natura (Provis, 2014; Davidovits, 2008). Da quel momento si è verificato un crescente interesse scientifico per lo studio dei materiali geopolimerici (Fig. 3). Il motivo di questo interesse risiede nelle potenzialità di questi materiali: i geopolimeri sono facili da preparare perché non richiedono attrezzature all'avanguardia, sono ambientalmente compatibili, sono in grado di fornire un'elevatissima resistenza iniziale, sono durevoli, economici e prodotti con processi a bassa emissione di CO_2 (Mugahed *et al.*, 2020). Inoltre, possiedono grande versatilità, in quanto è possibile modificarne le proprietà durante la preparazione intervenendo sui parametri di sintesi e maturazione, permettendone l'utilizzo per diverse applicazioni.

ATTUALI TECNOLOGIE PER IL TRATTAMENTO DI ACQUE REFLUE

Il trattamento delle acque reflue è un tema complesso, normato in Italia dal D.lgs. 152/06. Tale normativa individua i valori soglia che un impianto di tratta-

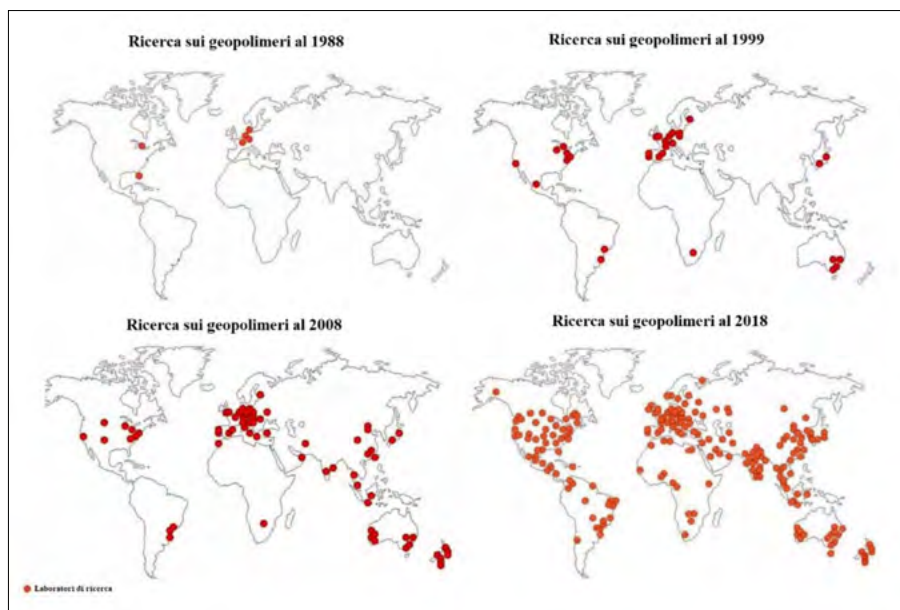


Figura 3. Crescita di gruppi di ricerca sui geopolimeri, tra il 1988 e 2018 (da Zhang *et al.*, 2021, mod.)

Tabella 1. Limiti di emissione per acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo. Si riportano le tipologie di contaminanti, le unità di misura e il valore soglia permesso (D. lgs. 152/06, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, mod.)

Contaminante	Unità di misura	Valore soglia	Contaminante	Unità di misura	Valore soglia
H		6-8	Piombo	mg/L	0,1
SAR		10	Rame	mg/L	0,1
Materiali grossolani	/	assenti	Selenio	mg/L	0,002
Solidi sospesi totali	mg/L	25	Stagno	mg/L	3
BOD5	mg O2/L	20	Vanadio	mg/L	0,1
COD	mg O2/L	100	Zinco	mg/L	0,5
Azoto totale	mg N/L	15	Solfuri	mg H2S/L	0,5
Fosforo totale	mg P/L	2	Solfiti	mg SO3/L	0,5
Tensioattivi totali	mg/L	0,5	Solfati	mg SO4/L	500
Alluminio	mg/L	1	Cloro attivo	mg/L	0,2
Berillio	mg/L	0,1	Cloruri	mg Cl/L	200
Arsenico	mg/L	0,05	Fluoruri	mg F/L	1
Bario	mg/L	10	Fenoli totali	mg/L	0,1
Boro	mg/L	0,5	Aldeidi totali	mg/L	0,5
Cromo totale	mg/L	1	Solventi organici aromatici totali	mg/L	0,01
Ferro	mg/L	2	Solventi organici azotati totali	mg/L	0,01
Manganese	mg/L	0,2	Saggio di tossicità su Daphnia magna	LC50 24h	< 50% sul tot.
Nichel	mg/L	0,2	Escherichia coli	UFC/100 ml	< 5000

mento di acque reflue deve rispettare al fine di un corretto riutilizzo dell'acqua depurata per scarico sul suolo (Tab. 1). Affinché i parametri dei componenti organici ed inorganici si mantengano sotto ai valori soglia, è necessario che un impianto effettui diverse lavorazioni sul refluo. Verosimilmente, maggiori sono le fasi, maggiore è la qualità del refluo all'uscita dall'impianto. Le principali fasi di trattamento si possono suddividere in: pretrattamento, trattamento primario, secondario e terziario (Fig. 4). Il pretrattamento, talvolta considerato parte del trattamento primario, si basa sulla rimozione dei solidi di dimensione maggiore in entrata nell'impianto e che potrebbero causare problemi per le successive fasi. Questo trattamento è costituito da una prima fase di grigliatura, che attraverso delle maglie rimuove particelle maggiori di una certa dimensione (fra 2 a 5 mm), una fase di dissabbiatura per la rimozione di sabbie, imponendo una determinata velocità del flusso al refluo in modo da permettere la deposizione delle sabbie sul fondo o sulle pareti delle vasche, e successiva flottazione o

disoleatura per la rimozione di oli e grassi attraverso l'introduzione di gas che portando in superficie il materiale, ne permettono la rimozione. Il trattamento primario o sedimentazione primaria favorisce la separazione per gravità delle particelle più pesanti rispetto all'acqua. Questo trattamento consente di rimuovere circa il 90% dei solidi sedimenta-

bili e riduce del 30% il BOD₅ (Lonigro *et al.*, 2011), ovvero l'ossigeno disciolto usato dai microrganismi nell'ossidazione biochimica della sostanza organica. Il trattamento secondario o biologico è diretto all'abbattimento della sostanza organica mediante microrganismi. Vi sono diverse tecnologie utili a questo scopo, come la biomassa dispersa con

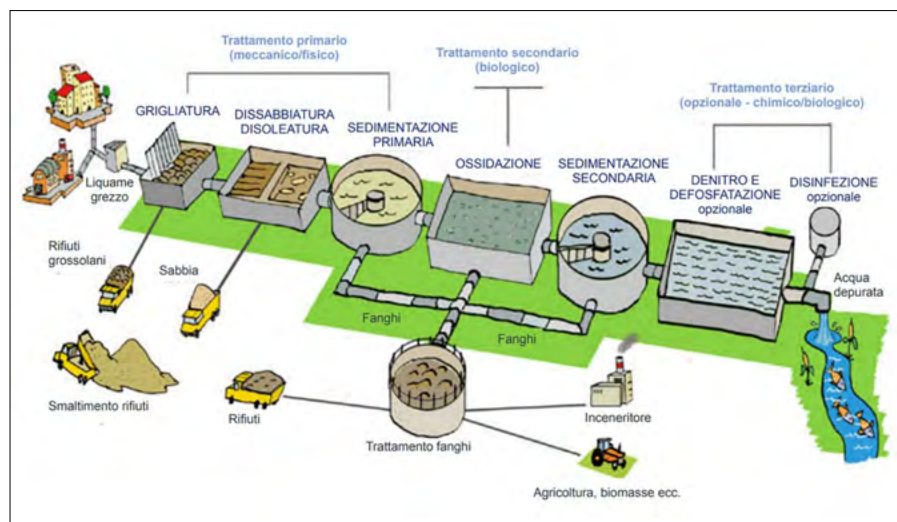


Figura 4. Illustrazione grafica del trattamento acque reflue urbane (da I depuratori di reflui urbani maggiori di 2000 abitanti equivalenti, ARPAT, 2020)

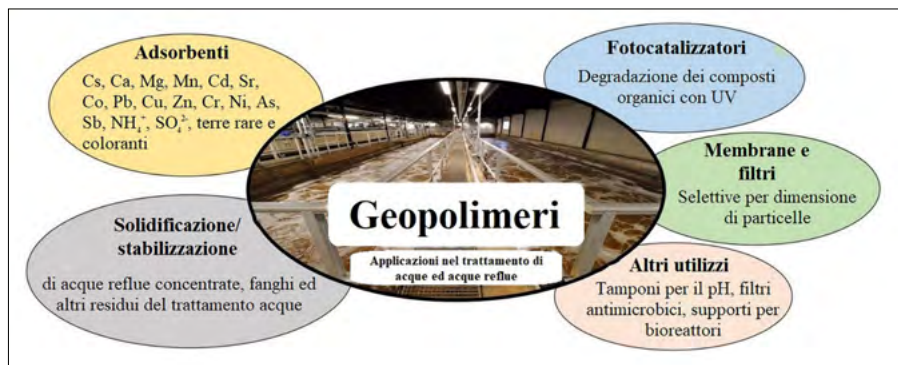


Figura 5. Panoramica delle attuali possibili applicazioni dei geopolimeri nel trattamento delle acque e delle acque reflue (da Luukkonen *et al.*, 2019, mod.)

fanghi attivi, la biomassa adesa con letti percolatori o biodischi e letti di fitodepurazione. Il trattamento terziario ha lo scopo di migliorare le caratteristiche del refluo in uscita dai precedenti trattamenti. Consiste in processi di coagulazione chimica (che contribuisce alla sedimentazione), correzione del pH, eliminazione dei patogeni (con ozonizzazione o clorazione), nitrificazione e denitrificazione, rimozione del fosforo e/o filtrazione sui carboni attivi. Al termine di queste procedure si ottiene un refluo chiarificato e dei fanghi che richiedono un ulteriore trattamento ed infine smaltimento. Processi mirati possono dare origine ad un'acqua depurata con buone caratteristiche per l'agricoltura o per altri utilizzi, come nel caso dei processi di potabilizzazione implementati in Piras *et al.*, 2020. Si tratta di un trattamento terziario basato su coagulazione, disinfezione e flocculazione, un treno di trattamenti che integra due AOP (advanced oxidation process) e la biofiltrazione granulare con carbone attivo ($O_3/H_2O_2 + BAC$ - biological activated carbon, + UV_{254}/H_2O_2), che determina un abbattimento del 99% dei microinquinanti totali. Oltre a questa tecnologia brevettata, vi sono altre metodologie applicabili per raggiungere valori di rimozione degli inquinanti pari a circa il 99% ed ottenere una possibile potabilizzazione delle acque reflue, ovvero il sistema di ultrafiltrazione + osmosi inversa (Petritic *et al.*, 2015). È necessario considerare però, che questi efficaci trattamenti possiedono anche alcuni "contro" che bisogna valutare. Nel caso del sistema ad ultrafiltrazione ed osmosi inversa, ci si riferisce a trattamenti a membrana che, non solo necessitano alti costi di gestione e manutenzione, ma producono degli agglomerati di membrana che devono essere smaltiti e richiedono pertanto costi per lo smaltimento. I processi di ossidazione avanzata, producono sottoprodotti di disinfezione come trialometani, clorati,

bromati ecc. La tecnologia più economica risulta essere al momento quella dei carboni attivi. Questi materiali però, non riescono da soli a rimuovere il 99% degli inquinanti, ma mostrano percentuali di rimozione fra il 70% e l'87% in aggiunta ai convenzionali trattamenti (Piras *et al.*, 2020; Margot *et al.*, 2013).

I GEOPOLIMERI PER IL TRATTAMENTO DELLE ACQUE REFLUE URBANE E INDUSTRIALI

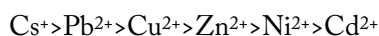
Nella ricerca di materiali sostenibili, a basso costo, polifunzionali ed efficaci per la purificazione di acque reflue, notevole interesse è rivolto ai materiali geopolimerici. Come osservato da Luukkonen *et al.*, 2019, questi materiali sono risultati idonei adsorbenti/scambiatori di ioni, membrane e mezzi filtranti, fotocatalizzatori, stabilizzatori di residui in acqua e materiali antibatterici previa incorporazione di rame, argento o nanoparticelle (nanocomposti di argento e silice) nella matrice alluminosilicatica (Adak *et al.*, 2015) (Fig. 5). Inoltre, la possibilità di questi materiali di essere

modificati chimicamente e microstrutturalmente in base agli utilizzi ed alle necessità, ne favorisce la sperimentazione su larga scala. Per l'adsorbimento, ad esempio, sono stati testati due principali metodi di preparazione: il *direct foaming* e la granulazione. Il primo metodo sfrutta agenti che promuovono porosità e adsorbimento (Bai *et al.*, 2016), come il perossido di idrogeno, il sodio dodecil solfato (tensioattivo), cetil trimetilammonio bromuro (tensioattivo), polietilenglicole (plastificante), acido oleico (modificatore idrofobico) o alginato di sodio (che fornisce gruppi funzionali carbossilici) (Luukkonen *et al.*, 2019). Il metodo della granulazione invece, consiste nel rendere in grani il materiale con successiva setacciatura ed inserimento in una colonna da cui passa il refluo da depurare. Questo metodo ha riscontrato ottimi risultati in sistemi di trattamento acque reflue di piccola scala in Finlandia, specialmente nella rimozione dello ione ammonio (Luukkonen *et al.*, 2016). Un ulteriore metodo innovativo, sviluppato da un team di ricerca italiano, consiste nella realizzazione di geopolimeri con una stampa 3D. Questo metodo, chiamato *additive manufacturing*, consente di personalizzare le dimensioni, la distribuzione, la forma e l'interconnettività dei pori, e quindi l'accesso ai siti portatori di carica (Franchin *et al.*, 2020). In pratica, i sorbenti geopolimerici possono essere comodamente installati in tubi o colonne, in cui l'acqua viene pompata attraverso la struttura reticolare per interagire con i siti superficiali attivi che racchiudono cationi come il Na^+ che sono interscambiabili (Luhar *et al.*, 2021; Guo *et al.*, 2018). L'adsorbimento risulta



Figura 6. Efficacia dei geopolimeri come materiali adsorbenti nel trattamento delle acque reflue. Per ogni elemento è indicato il massimo valore di rimozione raggiunto ed il tempo di contatto necessario al raggiungimento dello stesso

essere uno dei metodi più studiati e più efficaci nella cattura di diversi elementi (Fig. 6). I fattori che ne determinano la capacità di adsorbimento sono il pH, il dosaggio dell'adsorbente, la concentrazione iniziale di un dato inquinante, il tempo di contatto e la temperatura. Normalmente, l'aumento del tempo di contatto aumenta la capacità di adsorbimento fino a un certo punto prima che sia costante (Ariffin *et al.*, 2017). I geopolimeri si sono dimostrati efficaci nella rimozione di molteplici sostanze, fra cui numerosi metalli pesanti (Panda *et al.*, 2020; Luhar *et al.*, 2021). Elementi come il cobalto (Co), il piombo (Pb), il manganese (Mn), il rame (Cu), il cadmio (Cd), ecc., sono non biodegradabili, estremamente velenosi e spesso presenti come contaminanti in una serie di acque reflue industriali, superficiali e sotterranee. Per questo motivo è essenziale rimuovere questi ioni metallici dalle acque reflue industriali e dalle acque utilizzate per uso umano (Anguile *et al.*, 2013). Secondo López *et al.*, 2014b, la selettività dei metalli pesanti nei geopolimeri a base di metacaolino è così ripartita:



mentre nei geopolimeri a base di scorie di alto forno sarebbe $Ni^{2+} > As(III) > Sb(III)$ in base ad esperimenti effettuati da Luukkonen *et al.*, 2016 in effluenti provenienti da miniera. Secondo Andrejkovičová *et al.*, 2016, creando un geopolimero a base di 75% di metacaolino e 25% zeolite naturale, si rimuovono $Pb^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+} > Cu^{2+} > Cr^{3+}$, adsorbendo soprattutto il piombo ed il cadmio dopo 8 ore di contatto, con valori di rimozione maggiori del 98%. Nella cattura esclusiva del rame invece, Ge *et al.* 2015 hanno preparato sfere geopolimeriche porose a base di metacaolino, che hanno dimostrato una capacità adsorbente superiore ai setacci molecolari sferici commerciali (zeolite 4 A) ed una stabilità accettabile in condizioni acide. I geopolimeri sono risultati efficaci anche nell'adsorbimento di diversi radioisotopi come cesio, stronzio e radio (Kinoshita *et al.* 2011; Liu *et al.* 2014), tematica diventata cruciale specialmente dopo l'incidente al sito nucleare di Fukushima in Giappone nel 2011. In ambiente idrico, infatti, elementi come il cesio sono molto preoccupanti, perché altamente stabili e solubili, e l'isotopo radioattivo cesio-137 ha un lungo tempo di dimezzamento cioè 30,2 anni (Luhar *et al.*, 2021). Diversi studi (Liu *et al.* 2014; Chen *et al.*, 2013) hanno

dimostrato la validità dei geopolimeri a base di metacaolino e ceneri volanti nella rimozione dei principali elementi radioisotopi, con elevate prestazioni di adsorbimento, in confronto anche ad altri adsorbenti già noti per questo scopo. È stato sperimentato un geopolimero composto da cenere volante e scorie d'alto forno, che ha mostrato un'elevata selettività per il cesio e una percentuale di rimozione del 91% dopo 24 ore, e del 96% dopo 72 ore di contatto (Lee *et al.*, 2017). Altro inquinante spesso presente nelle acque reflue sono i coloranti. Fra questi, il più noto è senz'altro il blu di metilene, uno dei coloranti più comunemente utilizzati nell'industria dei tessuti e dei mobili, che è stato dimostrato causare cecità, disturbi addominali e difficoltà respiratorie (Khan *et al.*, 2015). Per questo motivo è necessario agire sulle acque reflue per rimuovere questo inquinante, specialmente per un corretto riutilizzo delle stesse. Vi sono diverse tecniche a questo scopo, come la fotodegradazione, lo scambio ionico e l'ultrafiltrazione. Tuttavia, l'adsorbimento è ancora considerato uno dei metodi più efficaci e semplici, anche se l'uso dell'attuale materiale con elevate capacità di adsorbimento, cioè il carbone attivo, ha una applicazione limitata a causa dei costi di produzione elevati (Rafatullah *et al.*, 2010). I geopolimeri hanno dimostrato la loro versatilità anche in questo contesto. Sebbene i geopolimeri granulati non siano risultati particolarmente efficaci, sono risultati molto validi i monoliti di geopolimeri porosi ottenuti tramite *direct foaming* (Novais *et al.*, 2018). Liu *et al.*, 2016, ad esempio, hanno ottenuto una capacità di adsorbimento sperimentale del 98% dopo 48 ore di contatto. Il loro adsorbente non solo ha mostrato un'ottima porosità ma anche proprietà di galleggiamento grazie all'aggiunta di H_2O_2 . I materiali geopolimerici sono risultati validi anche per la rimozione di altri composti, fra cui ione ammonio (NH_4^+), solfato (SO_4^{2-}), coliformi fecali e fosforo (P). Per quanto riguarda l'ammonio, è bene specificare che è comunemente presente nelle acque non trattate ed è sintomo di una decomposizione di composti organici. Negli impianti di depurazione, la rimozione avviene generalmente attraverso un sistema biologico di nitrificazione-denitrificazione, tuttavia diversi studi scientifici hanno dimostrato a questo scopo l'efficacia delle zeoliti naturali e sintetiche (Lin *et al.* 2016; He *et al.* 2016) e dei geopolimeri (Couto *et al.*, 2016). La ricerca sui geopolimeri mostra

notevoli progressi in questo ambito. Ad esempio, Luukkonen *et al.*, 2017 hanno perfezionato la preparazione del geopolimero granulato a base di metacaolino per massimizzare la capacità di adsorbimento dell'ammonio, constatando come quantità più elevate di silicato e idrossido permettano di aumentare la capacità di adsorbimento fino a 31,70 mg/g, superiore a quella ottenuta dalle zeoliti naturali (Luhar *et al.*, 2021). Bai *et al.*, 2017, invece, hanno realizzato filtri geopolimerici monolitici attraverso la stampa 3D, dimostrando una efficacia sperimentale nella rimozione dell'ammonio del 95,3% rispetto alla concentrazione iniziale di 3 mg/L. Il solfato (SO_4^{2-}) è un anione naturale ubiquitario che non è considerato tossico ma ad alte concentrazioni ed in condizioni anaerobiche, può essere ridotto ad acido solfidrico (H_2S) dai batteri solfato-riduttori. L' H_2S è pericoloso per gli ecosistemi ambientali a causa della sua reattività, tossicità e corrosività; pertanto, quando presente in alte concentrazioni è necessaria la rimozione. Runtti *et al.*, 2016 hanno mostrato come, modificando i geopolimeri a base di scorie d'alto forno scambiando i cationi di sodio che si bilanciano in carica con quelli di bario, è possibile ottenere un materiale che rimuove il solfato con capacità di adsorbimento elevata dopo 3 ore, di circa 119 mg/g, ovvero del 74,5% rispetto alla concentrazione iniziale. I geopolimeri hanno dato buoni risultati anche per quanto riguarda la riduzione di coliformi fecali e fosforo dalle acque di scarico: i primi hanno origine nell'intestino umano e possono pertanto essere presenti nelle acque reflue, specie quelle urbane; il fosforo, invece, deriva sia da sostanze organiche che inorganiche, e contribuisce all'eutrofizzazione dei corpi idrici. Nello specifico, una rimozione del 100% di coliformi e fosforo, con un pH elevato e dopo un tempo di contatto di 8 ore è stata ottenuta in Jo *et al.*, 2015 utilizzando geopolimeri ottenuti unendo cenere volante, cemento Portland, nano silice ed idrossido di sodio. Infine, oltre ai composti inquinanti, nelle acque reflue sono presenti elementi delle terre rare, considerati risorse critiche a causa delle innumerevoli applicazioni tecnologiche per cui vengono adoperati. In uno studio sperimentale del 2018, è stato dimostrato come i geopolimeri a base di ceneri volanti sono in grado di adsorbire anche elementi delle terre rare in maniera efficace, con un tempo di contatto di 120 minuti (Fiket *et al.*, 2018).

CONCLUSIONE

La sperimentazione della tecnologia geopolimerica rappresenta un interessante e promettente tematica di ricerca. Lo studio di questi materiali, inizialmente riguardante quasi esclusivamente la loro applicazione come possibili sostituti ecologici del cemento Portland, grazie al loro processo produttivo a bassa impronta di CO₂ e per l'elevata durabilità, vede al giorno d'oggi una loro notevole affermazione nell'ambito del trattamento di acque reflue e industriali, per la rimozione di diversi elementi e composti nocivi. Una delle principali peculiarità è la loro versatilità, derivante dalla particolare facilità con cui è possibile modificare i parametri di sintesi durante la preparazione al fine di ottenere materiali con differenti proprietà chimico-fisiche, forma e dimensioni da utilizzare per diverse applicazioni. Diversi studi hanno evidenziato la loro efficacia nel trattamento delle acque, in particolare per quanto riguarda la rimozione di alcuni inquinanti pericolosi per l'uomo e l'ambiente come metalli pesanti, ammonio, solfato, fosforo, coliformi fecali, coloranti e radioisotopi ma anche nella cattura di elementi che, presenti nelle acque di scarico, sono utili allo sviluppo tecnologico come le terre rare. È doveroso evidenziare, che molti studi sono basati su sperimentazioni alla scala di laboratorio ed è pertanto necessario incrementare le ricerche per valutarne l'effettiva trasferibilità su scala industriale. Tuttavia, i geopolimeri rappresentano oggi dei promettenti materiali in grado di integrarsi alle metodologie attualmente in uso per il trattamento delle acque al fine di migliorare l'efficacia degli impianti, riducendo i costi ed i sottoprodotti/scarti derivanti da processi di depurazione avanzati chimici e fisici, alimentando allo stesso tempo l'economia circolare.

BIBLIOGRAFIA

- ABDEL-GAWWAD H.A., KASSEM S., ABDEL A., ALGHAMDI H., NEHDI M.L., SHOUKRY H. (2023), *Valorizing hazardous lead glass sludge and alumina flakes filling waste for the synthesis of geopolymer building bricks*. Environmental Science and Pollution Research 30:5267–5279. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22562-3>.
- ADAK D., SARKAR M., MAITI M., TAMANG A., MANDAL S., CHATTOPADHYAY B. (2015), *Anti-microbial efficiency silver-silica modified geopolymer mortar for eco-friendly green construction technology*. RSC Advances, 64037–64045. <https://doi.org/10.1039/c5ra12776a>.
- AMINI, A., KIM, Y., ZHANG, J., BOYER, T., ZHANG, Q. (2015), *Environmental and economic sustainability of ion exchange drinking water treatment for organics removal*. J. Clean. Prod. 104, 413e421. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.05.056>.
- ANDREA P.V., SULEIMAN A.R., CORDEIRO G.C., NEHDI, M.L. (2019), *Sustainable use of sugarcane bagasse ash in cement-based materials*. Green Mater., 7, 61–70
- ANDREJKOVIČOVÁ S., SUDAGAR A., ROCHA J., PATINHA C., HAJAJI W., FERREIRA DA SILVA E., VELOSA A., ROCHA F. (2016), *The effect of natural zeolite on microstructure, mechanical and heavy metals adsorption properties of metakaolin based geopolymers*. Applied Clay Science, Volume 126, Pages 141–152, ISSN 0169–1317. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2016.03.009>.
- ANGUILE J.J., MBEGA M.G.O., MAKANI T., MBADCAM J.K. (2013), *Adsorption of manganese (II) ions from aqueous solution on to volcanic ash and geopolymer based volcanic ashes*. International Journal of Basic and Applied Chemical Sciences, 3, 7–18.
- ARIFFIN N., ABDULLAH M.M.A.B., MOHD ARIF ZAINOL M.R.R., MURSHED M.F., ZAIN H., FARIS M.A., BAYUAJI R. (2017), *Review on Adsorption of Heavy Metal in Wastewater by Using Geopolymer*. MATEC Web Conf. 97 01023 DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/20179701023>.
- ARPAT (2020), *I depuratori di reflui urbani maggiori di 2000 abitanti equivalenti*. Collana ambiente, scheda informativa 24.
- BAI C., COLOMBO P. (2017), *High-porosity geopolymer membrane supports by peroxide route with the addition of egg white as surfactant*. Ceramics International, 43. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2016.10.205>.
- BAI C., FRANCHIN G., ELSAYED H., ZAGGIA A., CONTE L., LI H., COLOMBO P. (2017), *High-porosity geopolymer foams with tailored porosity for thermal insulation and wastewater treatment*. Journal of Materials Research 32, 3251–3259. <https://doi.org/10.1557/jmr.2017.127>.
- BAI C., FRANCHIN G., ELSAYED H., CONTE A., COLOMBO P. (2016), *High strength metakaolin-based geopolymer foams with variable macroporous structure*. Journal of the European Ceramic Society, Volume 36, Issue 16, Pages 4243–4249, ISSN 0955–2219. <https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2016.06.045>.
- BARBOSA V.F., MACKENZIE K.J., THAUMATURGO C. (2000), *Synthesis and characterisation of materials based on inorganic polymers of alumina and silica: sodium polysialate polymers*. International Journal of Inorganic Materials, Volume 2, Issue 4, Pages 309–317, ISSN 1466–6049. [https://doi.org/10.1016/S1466-6049\(00\)00041-6](https://doi.org/10.1016/S1466-6049(00)00041-6).
- CHEN Y.L., TONG Y.Y., PAN R.W., TANG J. (2013), *The research on adsorption behaviors and mechanisms of geopolymers on Sr²⁺, Co²⁺, and Cs⁺*. Advanced Materials Research, 704, 313–318. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.704.313>.
- COUTO R.S.P., OLIVEIRA A.F., GUARINO A.W.S., PEREZ D.V. & MARQUES M.R.C. (2016), *Removal of ammonia nitrogen from distilled old landfill leachate by adsorption on raw and modified aluminosilicate*. Environmental technology, 38, 1–38. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1212935>.
- DAVIDOVITS J. (2008), *Geopolymer chemistry and applications*. Institute Geopolymere, Saint-Quentin, France. PMCid:PMC2751601
- DELLA ROCCA G., PERALTA R.M., PERALTA R.A., RODRIGUEZ-CASTELLON E. & MOREIRA R.F.P.M. (2021), *Adding value to aluminosilicate solid wastes to produce adsorbents, catalysts and filtration membranes for water and wastewater treatment*. Journal of Materials Science, 56, 1039–1063. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05276-0>.
- EL ALOUANI M., SAUFI H., MOUTAOUKIL G., ALEHYEN S., NEMATOLLAHI B., BELMAGHRAOUI W. & TAIBI M. (2021), *Application of geopolymers for treatment of water contaminated with organic and inorganic pollutants: State-of-the-art review*. Journal of Environmental Chemical Engineering, Volume 9, Issue 2, 105095, ISSN 2213–3437. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.105095>.
- FIKET Z., GALOVIC' A., MEDUNIC' G., TURK M.F., IVANIC' M., DOLENEC M., BILJAN I., SOSTER A., KNIEWALD G. (2018), *Adsorption of rare earth elements from aqueous solutions using geopolymers*. In: Proceedings, vol. 2, 2–6
- FRANCHIN G., PESONEN J., LUUKKONEN T., BAI C., SCANFERLA B., BOTTI R., CARTURAN S., INNOCENTINI M., COLOMBO P. (2020), *Removal of ammonium from wastewater with geopolymer sorbents fabricated via additive manufacturing*. Materials & Design, Volume 195, 109006, ISSN 0264–1275. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2020.109006>.
- GAZZETTA UFFICIALE DELLA REPUBBLICA ITALIANA. Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152. Norme in materia ambientale. Allegato 5, parte III, tabella 4
- GE Y., CUI X., KONG Y., LI Z., HE Y. & ZHOU Q. (2015), *Porous geopolymeric spheres for removal of Cu (II) from aqueous solution: synthesis and evaluation*. Journal of Hazardous Materials, 283. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.09.038>.
- GLUKHOVSKY V.D. (1957), *Soil silicate-based products and structures*. Gosstroizdat Publish. Kiev, USSR.
- GUO S., DAN Z., DUAN N., CHEN G., GAO W., ZHAO W. (2018), *Zn (II), Pb (II), and Cd (II) adsorption from aqueous solution by magnetic silica gel: Preparation, characterization, and adsorption*. Environmental Science and Pollution Research, 25. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3050-7>.
- HE H., XU S., HAN R., WANG Q. (2016), *Nutrient sequestration from wastewater by using zeolite Na-P1 synthesized from coal fly ash*. Environmental Technology, 38, 1–25. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1217061>.
- HOSSEINI, S.M., ALIBAKHSHI, H., JASHNI, E., PARVIZIAN, F., SHEN, J.N., TAHERI, M., EBRAHIMI, M., RAFIEI, N. (2020), *A novel layer-by-layer heterogeneous cation exchange membrane for heavy metal*

- ions removal from water. *J. Hazard Mater.* 381, 120884. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120884>
- JO M., SOTO L., AROCHO M., ST JOHN J., HWANG S. (2015), *Optimum mix design of fly ash geopolymers and its use in pervious concrete for removal of fecal coliforms and phosphorus in water*. *Construction and Building Materials*, Volume 93, Pages 1097-1104, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.05.034>.
- KANAUIYA D.K., PAUL T., SINHARROY A., PAKSHIRAJAN K. (2019), *Biological Treatment Processes for the Removal of Organic Micropollutants from Wastewater: a Review*. *Curr Pollution Rep* 5, 112-128. <https://doi.org/10.1007/s40726-019-00110-x>.
- KHAN M.I., MIN T.K., AZIZLI K., SUFIAN S., ULLAH H. & MAN Z. (2015), *Effective removal of methylene blue from water using phosphoric acid based geopolymers: synthesis, characterizations and adsorption studies*. *RSC Advances*, 5, 61410-61420, <https://doi.org/10.1039/C5RA08255B>.
- KINOSHITA N., SUEKI K., SASA K., KITAGAWA J., IKARASHI S., NISHIMURA T., WONG Y.S., SATOU Y., HANDA K., TAKAHASHI T., SATO M. & YAMAGATA T. (2011), *Assessment of individual radionuclide distributions from the Fukushima nuclear accident covering central-east Japan*. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 19526-9, <https://doi.org/10.1073/pnas.1111724108>.
- KÜHL H. (1908) *Slag cement and process of making the same*. US Patent 900,939.
- LEE N.K., KHALID H.R., LEE H.K. (2017), *Adsorption characteristics of cesium onto mesoporous geopolymers containing nanocrystalline zeolites*. *Microporous and Mesoporous Materials*, Volume 242, 2017, Pages 238-244, ISSN 1387-1811, <https://doi.org/10.1016/j.micromeso.2017.01.030>.
- LIN Y., GUO M., SHAH N., STUCKEY D.C. (2016) *Economic and environmental evaluation of nitrogen removal and recovery methods from wastewater*. *Bioresource Technology*, 215, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.064>.
- LIU X., CHEN G.R., LEE D.J., KAWAMOTO T., TANAKA H., CHEN M.L. & LUO Y.K. (2014), *Adsorption removal of cesium from drinking waters: a mini review on use of biosorbents and other adsorbents*. *Bioresource Technology*, Volume 160, Pages 142-149, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.01.012>.
- LIU Y., YAN C., ZHANG Z., GONG Y., WANG H., QIU X. (2016), *A facile method for preparation of floatable and permeable fly ash-based geopolymer block*. *Materials Letters*, 185, <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2016.09.044>.
- LÓPEZ F.J., SUGITA S., TAGAYA M., KOBAYASHI T. (2014B), *Metakaolin-based geopolymers for targeted adsorbents to heavy metal ion separation*. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 02, 16-27, <https://doi.org/10.4236/msce.2014.27002>.
- LONIGRO A., CATALANO M., RUBINO P. (2011), *Agricultural use of treated municipal wastewaters preserving environmental sustainability*. *Italian Journal of Agronomy*, 2, <https://doi.org/10.4081/ija.2007.s2.217>.
- LUHAR I., LUHAR S., ABDULLAH M.M.A.B., RAZAK R.A., VIZUREANU P., SANDU A.V. & MATASARU P.D. (2021), *A State-of-the-Art Review on Innovative Geopolymer Composites Designed for Water and Wastewater Treatment*. *Materials* 2021, 14, 7456, <https://doi.org/10.3390/ma14237456>.
- LUUKKONEN T., HEPPONEN A., RUNTTI H., PESONEN J., YLINIEMI J. & LASSI U. (2019), *Application of alkali-activated materials for water and wastewater treatment: a review*. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 18, <https://doi.org/10.1007/s11157-019-09494-0>.
- LUUKKONEN T., TOLONEN E.T., RUNTTI H., KEMPPAINEN K., PERAMAKI P., RAMO J., LASSI U. (2017), *Optimization of the metakaolin geopolymer preparation for maximized ammonium adsorption capacity*. *Journal of Materials Science*, 52, <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1156-9>.
- LUUKKONEN T., RUNTTI H., NISKANEN M., TOLONEN E.T., SARKKINEN M., KEMPPAINEN K., RÄMÖ J. & LASSI U. (2016), *Simultaneous removal of Ni(II), As(III), and Sb(III) from spiked mine effluent with metakaolin and blast-furnace-slag geopolymers*. *Journal of Environmental Management*, Volume 166, 2016, Pages 579-588, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.11.007>.
- MARGOT J., KIENLE C., MAGNET A., WEIL M., ROSSI L., DE ALENCASTRO L.F., ABEGLLEN C., THONNEY D., CHÈVRE N., SCHÄRER M., BARRY D.A. (2013), *Treatment of micropollutants in municipal wastewater: Ozone or powdered activated carbon? Science of The Total Environment*, Volumes 461-462, Pages 480-498, ISSN 0048-9697, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.05.034>.
- MUGHADH A.Y.H., ALYOUSEF R., ALABDULJABBAR H., EL-ZEADANI M. (2020), *Clean production and properties of geopolymer concrete; A review*. *Journal of Cleaner Production*, Volume 251, 119679, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119679>.
- NOVAIS R.M., ASCENSÃO G., TOBALDI D.M., SEABRA M.P., LABRINCHA J.A. (2018), *Biomass fly ash geopolymer monoliths for effective methylene blue removal from wastewaters*. *Journal of Cleaner Production*, 171, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.078>.
- PACHECO-TORGAL F., CASTRO-GOMES J. & JALALI S. (2008), *Alkali-activated binders: A review Part 1. Historical background, terminology, reaction mechanisms and hydration products*. *Construction and Building Materials* 22, 1305-1314.
- PACHECO-TORGAL F., CASTRO-GOMES J. & JALALI S. (2008), *Alkali-activated binders: A review. Part 2. About materials and binders manufacture*. *Construction and Building Materials* 22 1315-1322.
- PALOMO A., KRIVENKO P., GARCIA-LODEIRO I., KAVALEROVA E., MALTSEVA O., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ A. (2014), *A review on alkali activation: new analytical perspectives*. *Materiales de Construcción*, 64, <http://dx.doi.org/10.3989/mc.2014.00314>.
- PANDA L., JENA S.K., RATH S.S. & MISRA P.K. (2020), *Heavy metal removal from water by adsorption using a low-cost geopolymer*. *Environmental Science and Pollution Research*, 27, <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08482-0>.
- PETRICIN I., KORENAK J., POVODNIK D., HÉLIX-NIELSEN C. (2015), *A feasibility study of ultrafiltration/reverse osmosis (UF/RO)-based wastewater treatment and reuse in the metal finishing industry*. *Journal of Cleaner Production*, Volume 10,1 Pages 292-300, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.04.022>.
- PIRAS F., SANTORO O., PASTORE T., PIO I., DE DOMINICIS E., GRITTI E., CARICATO R., LIONETTO M.G., MELE G., SANTORO D. (2020), *Controlling micropollutants in tertiary municipal wastewater by O₃/H₂O₂, granular biofiltration and UV254/H₂O₂ for potable reuse applications*. *Chemosphere*, Volume 239, 124635, ISSN 0045-6535. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124635>.
- PROVIS J.L., FERNÁNDEZ-JIMÉNEZ A., KAMSEU E., LEONELLI C., PALOMO A. (2014), *Binder chemistry: low-calcium alkali-activated materials*. In: Anonymous Alkali Activated Materials, State-of-the-Art Report, RILEM TC 224-AAM. Springer, Dordrecht, pp 93-123.
- PROVIS J.L. (2014), *Geopolymers and other alkali activated materials: why, how, and what? Materials and Structures* 47:11-25.
- PURDON A. (1940), *The action of alkalis on blast furnace slag*. *Journal of the Society of Chemical Industry*. 59, 191-202.
- RAFATULLAH M., SULAIMAN O., HASHIM R., AHMAD A. (2010), *Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review*. *Journal of Hazardous Materials*, 177, 70-80.
- RASHID, R., SHAFIQ, I., AKHTER, P., IQBAL M.J., HUSSAIN M. (2021), *A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method*. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 1-17, <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12395-x>.
- RUNTTI H., LUUKKONEN T., NISKANEN M., TUOMIKOSKI S., KANGAS T., TYNJALA P., TOLONEN E.T., SARKKINEN M., KEMPPAINEN K., RÄMÖ J. & LASSI U. (2016), *Sulphate removal over barium modified blast-furnace-slag geopolymer*. *Journal of Hazardous Materials*, 317, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.06.001>.
- SUNDEEP I., SHARMA M., TANDON V. (2016), *Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) and Rice Husk Ash (RHA) Uses in the Production of Geopolymer Concrete*. In *Proceedings of the Geo-Chicago*, Chicago, IL, USA, 14-18 August 2016. GSP 270.
- ZHANG X., BAI C., QIAO Y., WANG X., JIA D., LI H., COLOMBO P. (2021), *Porous geopolymer composites: A review*. *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 150, 106629, ISSN 1359-835X.

Erosione del suolo e degrado dell'ambiente naturale in contesti carsici

Soil erosion and degradation of the natural environment in karst settings

Umberto Samuele D'Etto
Mario Parise
Isabella Serena Liso

Università degli Studi di Bari Aldo Moro,
Dipartimento di Scienze della Terra e
Geoambientali

E-mail: umberto.dettorre@uniba.it

Parole chiave: carsismo, erosione, perdita di suolo, degrado ambientale, inquinamento
Key words: karst, erosion, loss of soil, environmental degradation, pollution

ABSTRACT

Karst is a very complex and heterogeneous environment, containing important natural resources such as high-quality water, ecological niches, and a huge biodiversity. Dissolution process in carbonate rocks, generated by surface water, is the most significant factor in the development of karst, and in producing its most characteristic surface and sub-surface forms. Due to numerous factors, mostly linked to human activities, karst environments are easily exposed to degradation and pollution. Among the most serious environmental problems, there is soil erosion, mainly caused by deforestation, fires and incorrect agricultural practices. In many cases, these practices have generated not natural environments, without any plant and soil cover, favoring and increasing desertification. Other human-related activities deeply changed the original karst landscape, affecting in many cases also the quality of the groundwater resources, and triggering serious geo-hydrological problems. Managing in a proper way, and protecting karst environments, are very difficult issues, which require special attention and strategies not limited only to the legislative aspects, but also addressed toward an increasing knowledge on karst, and the creation of social awareness about its importance among the communities living in these areas.

INTRODUZIONE: IL PAESAGGIO CARSIKO

Le aree carsiche rappresentano ambienti complessi e di elevata fragilità, che contengono importanti risorse naturali quali: l'acqua dolce delle falde idriche (fondamentale riferimento per lo sviluppo socio-economico di qualsiasi comunità), un'ampia varietà di nicchie ecologiche e una ricca diversità in specie di piante e animali. Il termine "carso" ha origine dall'altopiano che si innalza dalla costa del Golfo di Trieste (situato tra Italia e Slovenia), e deriva da "kar-

ra/gara", che significa pietra. Il nome di questo altopiano è "Kras" in sloveno, "Carso" in italiano e "Karst" in tedesco (Ford & Williams, 2007; Kranjc, 2011). Il fenomeno del carsismo si sviluppa a seguito della dissoluzione chimica di rocce solubili (generalmente di natura carbonatica) che vengono disciolte dalle acque superficiali (acidificate dalla CO₂), percolanti verso il basso attraverso la zona insatura (vadosa), sino a raggiungere la zona satura (freatica) (Bakalowicz, 2005). Le reazioni chimiche coinvolte nella dissoluzione sono influenzate da molti fattori, tra i quali temperatura e pH dell'acqua, pressione di CO₂, caratteristiche dei sistemi di discontinuità dell'ammasso roccioso, ecc. In particolare, tali processi risultano molto pronunciati nell'epicarso, rappresentante la zona più superficiale del substrato carsico, ovvero quella direttamente esposta agli agenti atmosferici. L'epicarso (Williams, 2008) è caratterizzato dalla presenza di rocce alterate, altamente fratturate, in grado di consentire una rapida infiltrazione delle acque superficiali. Esso svolge un ruolo importante nell'idrogeologia carsica, in particolare regolando la ricarica degli acquiferi. Inoltre, esso può sostenere il biota acquatico grazie a eventuali falde sospese e contenere molte sorgenti, in

alcuni casi in grado di fornire quantità significative di acqua. Le principali fasi che portano alla formazione di un sistema carsico prendono il nome di speleogenesi (De Waele & Piccini, 2008): tali fasi richiedono tempi molto lunghi, che possono durare anche diversi milioni di anni. Inizialmente, i processi di dissoluzione ad opera dell'acqua rappresentano la fase dominante, che porta alla formazione di reti di fratture e discontinuità (proto-condotti). Questa fase è molto lenta, e può richiedere decine di migliaia di anni. Una volta che alcuni condotti sono stati allargati fino a raggiungere la dimensione critica, si innesca un flusso turbolento, con la formazione di una rete di drenaggio preferenziale (De Waele *et al.*, 2011). In seguito, i condotti continuano ad allargarsi rapidamente, eventualmente raggiungendo le dimensioni che consentono il passaggio all'uomo (Klimchouk *et al.*, 2000). Un sistema carsico (Fig. 1), quindi, è dato dall'insieme delle forme (superficiali e sotterranee) derivanti dai processi carsici, in grado di drenare e trasportare le acque sotterranee verso livelli di base, o in corrispondenza di sorgenti carsiche (Piccini, 1999). Aspetti tipici della morfologia carsica superficiale sono la presenza di *polje*, *sinkholes* (doline), inghiottitoi, rocce affioranti, valli più o

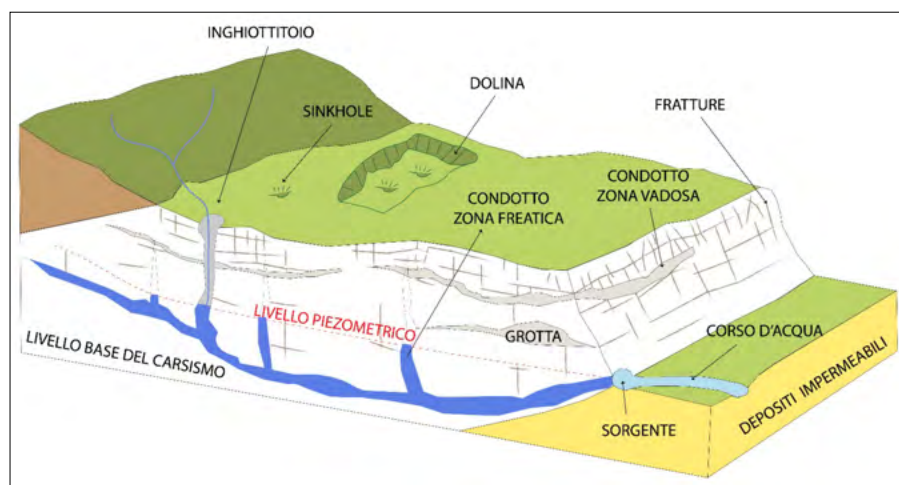


Figura 1. Illustrazione schematica delle caratteristiche morfologiche del paesaggio carsico (da Liso, 2022, mod.)

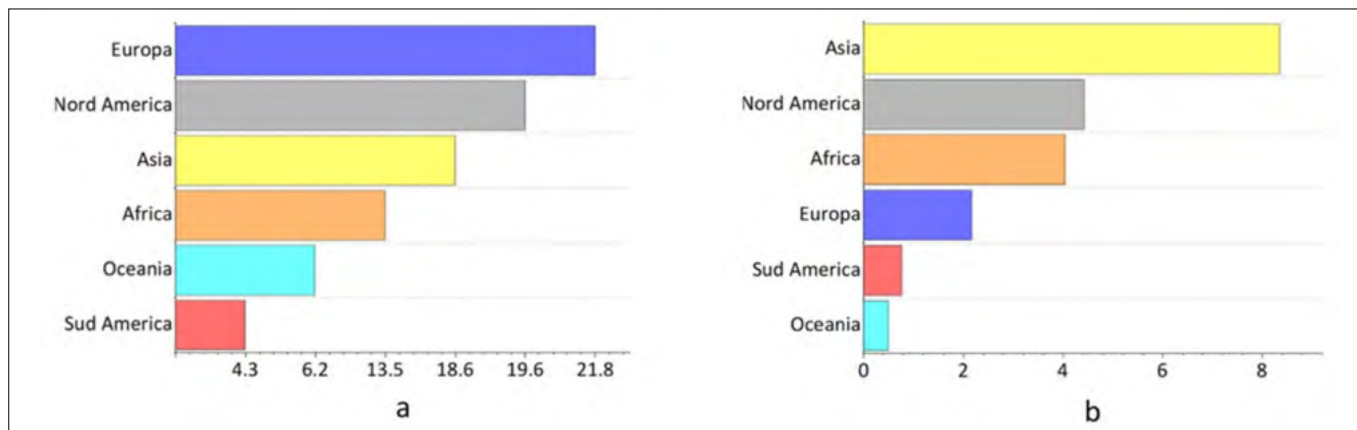


Figura 2. Percentuale di superficie ricoperta da rocce carbonatiche (a) e superficie coperta da rocce carbonatiche espressa in milioni di km² (b). Fonte dei dati: Goldscheider et al., 2020

meno incise (gravine e lame, rispettivamente, nella terminologia carsica pugliese; Parise *et al.*, 2003) e sorgenti (sia subaeree che sottomarine). Le forme carsiche sotterranee più rappresentative invece sono quelle che nel linguaggio comune vengono definite col termine di grotte. I territori carsici sono presenti in tutti i continenti, ed occupano circa il 20% della superficie totale terrestre privata del ghiaccio (Ford & Williams, 2007). In Europa è presente la maggior distribuzione di aree carsiche, con una superficie totale del 21,8% e un'area assoluta di 2,17 milioni di km² (Fig. 2) (Goldscheider *et al.*, 2020).

PROBLEMATICHE AMBIENTALI

A seguito di numerosi fattori, per lo più legati alle attività dell'uomo, i paesaggi carsici hanno subito e continuano a subire profonde modificazioni. Tra le criticità ambientali di maggior interesse, figura sicuramente l'erosione del suolo, sino alla sua totale perdita, causata principalmente da deforestazione, incendi e da errate pratiche agricole. Come conseguenza, si assiste sempre più spesso al fenomeno della desertificazione, che in contesti carsici si riconosce anche a se-

guito dell'esposizione del substrato roccioso, una volta avvenuta la perdita di vegetazione e suolo (Yuan, 1997). I suoli carsici si presentano generalmente come ricchi di materia organica, elevato pH e con numerose specie (da alghe a piante legnose) che, crescendo su terreni poco profondi, favoriscono i processi di alterazione chimico-fisica e l'erosione della roccia e aumentano la fertilità del suolo, oltre a mantenere in uno stato di equilibrio il micro-biota (Shi *et al.*, 2022). A livello ecologico, la desertificazione porta a cambiamenti nelle comunità vegetali, con perdita di biodiversità in specie, e scomparsa soprattutto di alcune pioniere del substrato roccioso, fondamentali per la ricrescita e il recupero della vegetazione (Jiang *et al.*, 2014). In Alta Murgia (Puglia) ad esempio, negli ultimi quarant'anni, le tessiture carsiche naturali sono state soggette a profondi mutamenti connessi all'azione antropica allo scopo di ottenere dei miglioramenti fondiari, tramite alcune tecniche riassumibili con il termine di spietramento. Tali tecniche consistono nella distruzione tramite frantumazione dagli strati superficiali dei blocchi rocciosi, al fine di creare un tappeto roccioso a granulometria medio-fine, sul quale fare

attecchire colture quali il grano, o per realizzare tendoni da vigneto (Fig. 3). Esse causano un aumento dell'aliquota di acqua di ruscellamento superficiale a scapito di quella legata all'infiltrazione, con relativa distruzione dell'epicarso e la possibilità di generare fenomeni di dissesto idrogeologico (Giglio *et al.*, 1996; Parise & Pascali, 2003; Canora *et al.*, 2008; Parise, 2008). In più, si assiste ad un inevitabile incremento della vulnerabilità alla desertificazione, favorendo, oltre all'azione erosiva dell'acqua, anche quella ad opera del vento, che trasporta le particelle più leggere del suolo.

In altri contesti carsici, come ad esempio nel carso dinarico, la desertificazione è stata da imputare principalmente alla massiccia attività di deforestazione, iniziata già a partire dalla preistoria (quando circa il 90% del carso era ricoperto da foreste), ed in particolare nel Neolitico, periodo che segna un cambiamento di abitudini delle attività dell'uomo, il quale passa dalla caccia e la raccolta all'agricoltura e allevamento, iniziando uno stile di vita sedentario (Fig. 4) (Kranjc, 2012). Più recentemente invece, gli agricoltori di quest'area hanno tagliato ed incendiato le foreste al fine di ottenere terreno idoneo a col-



Figura 3. Aspetto di un terreno sottoposto a frantumazione delle rocce carbonatiche secondo due diversi punti di osservazione (a, b) (da Pisano et al., 2022, mod.)



Figura 4. Aspetto del paesaggio carsico deforestato nei dintorni di Postumia (Slovenia) all'inizio del ventesimo secolo (da Rubbia, 1912)

tivazioni monouso di grano (chiamate "novine"), aumentando localmente l'erosione del suolo (Kranjic, 1979; Gams & Gabrovec, 1999). In Albania invece, erosione del suolo e desertificazione risultano essere un grave problema anche nelle aree carsiche che, nel periodo risalente al regime comunista, hanno perso alcune delle più tipiche forme paesaggistiche, quali *polje* e doline, trasformate spesso in campi arabili per la coltivazione di cereali (Parise *et al.*, 2004). Nel Sud-Ovest della Cina, una serie di fattori legati al-

le attività dell'uomo hanno danneggiato ambiente ed ecologia in numerose aree carsiche, soprattutto durante il periodo della dinastia Song (960-1279) e Yuan (1279-1368) (Chen *et al.*, 2021). In particolare, buona parte di quella che era l'originaria foresta è stata tagliata e la vegetazione naturale nativa sostituita con piantagioni agricole (Kuo *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012, 2018). La conseguenza finale di tutto ciò è stata l'innescarsi di una grave perdita di suolo che nella geomorfologia carsica viene definita col termine

di "Karst Rocky Desertification". Ciò ha portato nel sud-ovest cinese ad un aumento significativo dell'area desertificata, passando dai 9.12×10^4 km² del 1987 a 12.96×10^4 km² nel 2005 (Zeng *et al.*, 2018). In Francia, nella regione del Linguadoca e nella Bassa Provenza, boschi e vegetazione presenti su terrazzamenti agricoli di altopiani carsici (chiamati "restanques") sono spesso attraversati da incendi, causando dunque un aumento dell'area esposta alla roccia nuda (Gams *et al.*, 1993).

Oltre al depauperamento della risorsa suolo, altre attività intraprese dall'uomo hanno contribuito al danneggiamento degli ambienti carsici nel corso degli ultimi anni. Non è da trascurare il fatto che questi ultimi ospitano spesso corpi d'acqua sotterranei cospicui dall'elevato grado di qualità. In Puglia, per esempio, le risorse idriche sotterranee fornirebbero circa un quarto dell'approvvigionamento idrico urbano. Più in generale, il 25% delle acque destinate all'uso potabile nel mondo proviene da aree carsiche (Parise *et al.*, 2018; Stevanovic, 2019; Goldscheider *et al.*, 2020; Olarinoye *et al.*, 2020). L'utilizzo di fertilizzanti, pesticidi ed erbicidi, così come lo sversamento di rifiuti liquidi e/o l'abbandono di rifiuti solidi e carcasse di animali in cavità carsiche (Fig. 5), intaccano la qualità delle risorse idriche



Fig.5. Rimozione (a) e raccolta (b) di rifiuti solidi dall'inghiottitoio "Grava di Faraualla", nel territorio del Parco Nazionale dell'Alta Murgia (da ilTag.it)

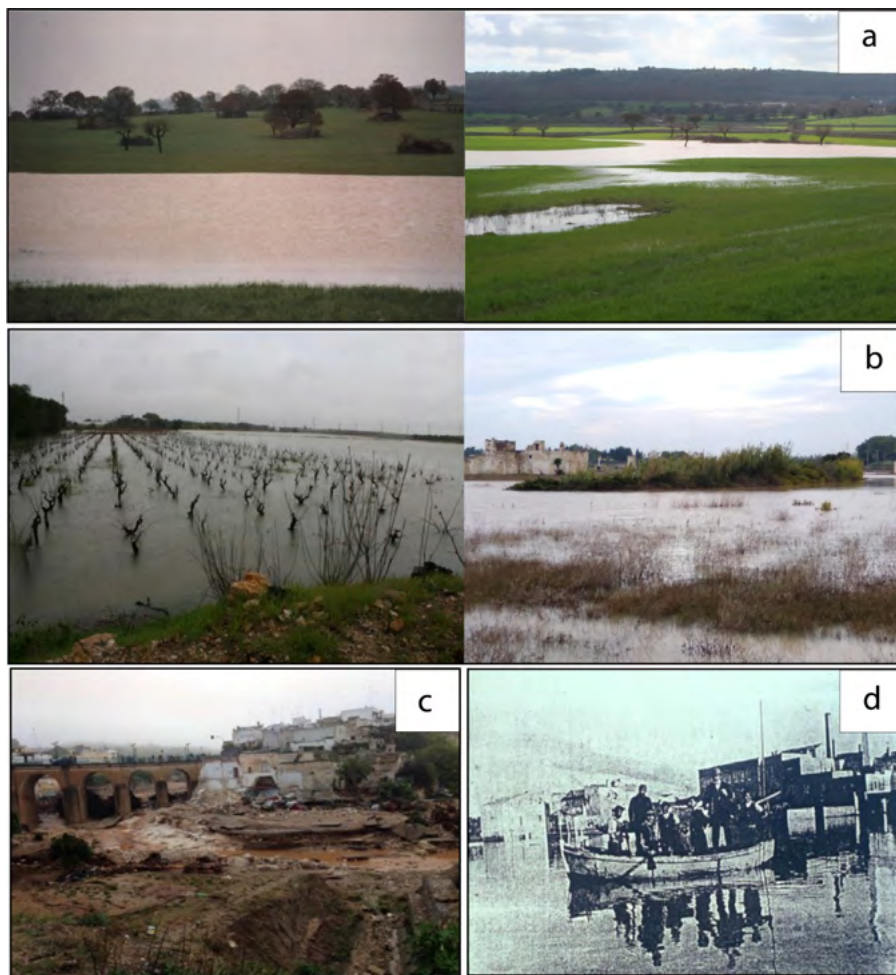


Figura 6. Alcuni eventi alluvionali eccezionali: a) Canale di Pirro, Murge Basse, b) Comune di Bari, c) Comune di Ginosa, d) Castellana Grotte (foto a, c in gentile concessione di Mario Parise; foto b da Mossa, 2007, mod.; foto d da C.E.R.I.C.A., 1996, mod.)

sotterranee, a seguito dell'infiltrazione dei contaminanti attraverso la rete di discontinuità, caratterizzata da fratture e condotti carsici della roccia (Rejec Brancelj, 1998; Parise & Pascali, 2003; Parise *et al.*, 2015). L'incessante aumento del fenomeno dell'urbanizzazione nelle aree carsiche non ha fatto altro che modificare profondamente l'idrologia pre-esistente: l'occlusione di valli, doline e inghiottitoi ha generato delle superfici impervie in grado di ridurre notevolmente l'infiltrazione superficiale e di conseguenza anche l'apporto in termini di ricarica degli acquiferi. Ciò ha spesso determinato eventi di piena catastrofici (Fig. 6) come quelli avvenuti a Castellana a cavallo tra XIX e XX secolo (con gli effetti più gravi nel novembre 1896; Parise, 2003), a Bari nel 2005 (Mossa, 2007), e che comunque sono oramai frequenti in molti contesti carsici del territorio pugliese (Martino *et al.*, 2017; Gentile *et al.*, 2020). Anche al di fuori dall'Italia, eventi di piene improvvise caratterizzano varie zone carsiche, come a Cettigne (Montenegro) nel 1986 e Nîmes (Francia) nel 1988 (Gams *et al.*, 1993; Gutierrez *et al.*, 2014). Un'altra attività antropica molto

impattante sul paesaggio carsico è quella legata alle cave. In alcune aree, i cumuli e i detriti dei materiali di risulta derivanti dalle attività estrattive sono ormai diventati la forma principale del paesaggio (Gunn, 1993, 2004; Parise, 2016), e tali attività hanno portato anche alla distruzione di numerose cavità carsiche ipogee, nonostante le norme esistenti prevedano la necessità di sopralluoghi al fine di verificare l'eventuale importanza delle grotte (Formicola *et al.*, 2010).

CONCLUSIONI

Le peculiarità e le fragilità degli ambienti carsici fanno sì che la loro gestione risulti essere una tematica molto delicata, che richiede particolare attenzione. Va purtroppo sottolineato che nella pianificazione riguardante la gestione del territorio e l'uso del suolo questo argomento passa spesso in secondo piano, generando gravi problemi, a volte legati anche a perdita di vite umane ed elevati impatti economici. Tali ambienti sono evidentemente sensibili ai rischi derivanti dalle azioni dell'uomo, e necessiterebbero pertanto di un'attenzione specifica ai fini della loro protezione e salvaguardia. Infatti, è

molto facile danneggiare le risorse legate a questi territori (suolo, acqua, sistemi ipogei, biodiversità, ecc.) e molto difficile, se non impossibile, ripristinarle, a causa degli elevati costi e tempi richiesti dalle procedure di bonifica (van Beynen & Townsend, 2005; Parise & Gunn, 2007; North *et al.*, 2009). Anche per queste ragioni, la Commissione Mondiale per le Aree Protette dell'IUCN (Unione Mondiale per la Conservazione della Natura) ha riconosciuto i paesaggi carsici nel 1997 come aree da proteggere (Watson *et al.*, 1997). Risulta però ormai evidente che garantire tale protezione attraverso il solo strumento legislativo non è più sufficiente: occorre istituire piani di valutazione a cadenza periodica riguardanti i pericoli naturali e antropici correlati a queste aree, ma anche soprattutto sviluppare una consapevolezza nella popolazione, ad esempio tramite campagne di sensibilizzazione educative in grado di informare le comunità circa l'importanza e la vulnerabilità degli ambienti carsici.

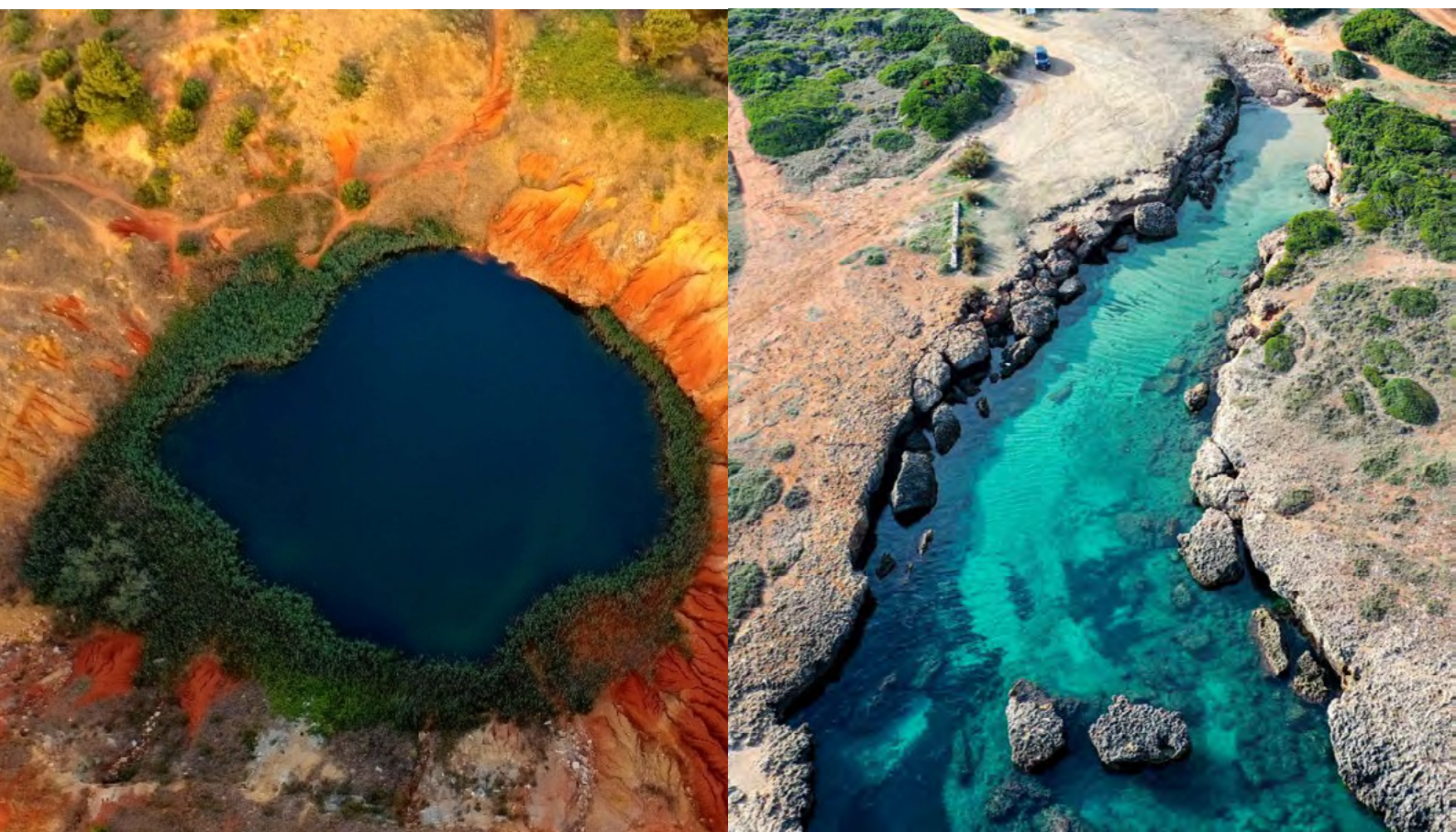
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BAKALOWICZ M. (2005), *Karst groundwater: A challenge for new resources*. Hydrogeology Journal, 13(1), 148–160.
- CANORA F., FIDELIBUS M.D., SCIORTINO A. & SPILOTRO G. (2008), *Variation of infiltration rate through karstic surfaces due to land use changes: a case study in Murgia (SE Italy)*. Eng. Geol., 99, 210–227.
- CE.RI.CA. (Centro Ricerche Castellane) (1996), *Le inondazioni a Castellana*. Amm. Comunale di Castellana-Grotte, 79 pp.
- CHEN C., YUAN D., CHENG H., YU T., SHEN C., EDWARDS R.L., WU Y., XIAO S., ZHANG J., WANG T., HUANG R., LIU Z., LI T. & LI J. (2021), *Human activity and climate change triggered the expansion of rocky desertification in the karst areas of Southwestern China*. Science China Earth Science, 1761–1773, 64(10).
- DE WAELE J. & PICCINI L. (2008), *Speleogenesi e morfologia dei sistemi carsici in rocce carbonatiche*. Atti del 45° Corso CNSS-SSI di III livello "Geomorfologia Carsica" (a cura di M. Parise, S. Inguscio & A. Marangella) Grottaglie, 2-3 febbraio 2008.
- DE WAELE J., GUTIÉRREZ F., PARISE M. & PLAN L. (2011), *Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review*. Geomorphology, 134 (1-2), 1–8.
- FORD D. & WILLIAMS P. (2007), *Karst Hydrogeology and Geomorphology*.
- FORMICOLA W., GUEGUEN E., MARTIMUCCI M., PARISE M. & RAGONE G. (2010), *Caves below quarries and quarries above caves: problems, hazard and research. A case study from southern Italy*. Geol. Soc. America Abstracts with Programs, 42 (5).
- GAMS I., NICOD J., JULIAN M., ANTHONY E. & SAURO U. (1993), *Environmental Change and Human Impacts on the Mediterranean*

- an Karsts of France, Italy and the Dinaric Region. Catena Supplement, 25, 59–98.
- GAMS I. & GABROVEC M. (1999), *Land use and human impact in the Dinaric Karst*. Int. J. Speleol., 26 B (1/4), 55–70.
- GENTILE P., IAIA C., LISO I.S. & PARISE M. (2020), *Eventi alluvionali nell'ambiente carsico pugliese*. In: FIORE A. & MASCIOCO L. (Eds.), *Atti del seminario nazionale "Analisi e attività di mitigazione dei processi geo-idrologici in Italia"*. Geologia dell'Ambiente, suppl. n. 1/2020, ISSN 1591-5352, 56–63.
- GIGLIO G., MORETTI M. & TROPEANO M. (1996), *Rapporto fra uso del suolo ed erosione nelle Murge Alte: effetti del miglioramento fondiario mediante pratiche di "spietramento"*. Geol. Appl. Idrogeol., 31, 179–185.
- GOLDSCHIEDER N., CHEN Z., AULER A. S., BAKALOWICZ M., BRODA S., DREW D., HARTMANN J., JIANG G., MOOSDORF N., STEVANOVIC Z., VENI G. & DE C. Z. (2020), *Global distribution of carbonate rocks and karst water resources*. Hydrogeology Journal, 28, 1661–1677.
- GUNN J. (1993), *The geomorphological impacts of limestone quarrying*. Catena, 25, 187–198.
- GUNN J. (2004), *Quarrying of limestones*. In: GUNN J. (Ed.) *Encyclopedia of cave and karst science*. Routledge, London, 608–611.
- GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J. & JOURDE H. (2014), *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. Earth Sci. Rev., 138, 61–88.
- ILTAG.IT, *Parco Alta Murgia: recuperato dalla grava di Faraualla un big bag con 100 kg di rottami d'auto*. <https://iltag.it/breaking-news/parco-alta-murgia-recuperato-dalla-grava-di-faraualla-un-big-bag-con-100-kg-di-rottami-dauto/>
- JIANG Z., LIAN Y. & QIN X. (2014), *Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration*. Earth-Science Reviews, 132, 1–12.
- KLIMCHOUK A., FORD D.C., PALMER A.N. & DREYBRODT W. (2000), *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville. 444 p.
- KRANJC A. (1979), *Kras v povirju Ljubije*. Geografski vestnik, 51, 31–42.
- KRANJC A. (2011), *The Origin and evolution of the term "Karst"*. Procedia - Social and Behavioral Sciences, 19, 567–570.
- KRANJC A. (2012), *Dinaric Karst - An Example of Deforestation and Desertification of Limestone Terrain*. Deforestation Around the World, Dr. Paulo Moutinho (Ed.), ISBN: 978-953-51-0417-9.
- KUO T.S., LIU Z.Q., LI H.C., WAN N.J., SHEN C.C. & KU T.L. (2011), *Climate and environmental changes during the past millennium in central western Guizhou, China as recorded by Stalagmite ZJD-21*. J. Asian Earth Sci., 40, 1111–1120.
- LI T.Y., LI H.C., XIANG X.J., KUO T.S., LI J.Y., ZHOU F.L., CHEN H.L. & PENG L.L. (2012), *Transportation characteristics of $\delta^{13}C$ in the plants-soil-bedrock-cave system in Chongqing karst area*. Sci. China Earth Sci., 55, 685–694.
- LI T.Y., HUANG C.X., TIAN L., SUAREZ M.B. & GAO Y. (2018), *Variation of $\delta^{13}C$ in plant-soil-cave systems in karst regions with different degrees of rocky desertification in Southwest China and implications for paleoenvironment reconstruction*. J. Cave Karst Stud., 80, 212–228.
- LISO I.S. (2022), *Hydrogeological characterization and groundwater modeling in the Apulian karst (southern Italy)*. PhD thesis in Geosciences, XXXIV cycle (07/03/2022), University Aldo Moro, Department of Earth and Environmental Sciences. Bari, Italy.
- MARTINOTTI M.E., PISANO L., MARCHESINI I., ROSSI M., PERUCCACCI S., BRUNETTI M.T., MELILLO M., AMORUSO G., LOIACONO P., VENNARI C., VESSIA G., TRABACE M., PARISE M. & GUZZETTI F. (2017), *Landslides, floods and sinkholes in a karst environment: the 1–6 September 2014 Gargano event, southern Italy*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 17, 467–480.
- MORETTI M. (2005), *Le alluvioni nel settore adriatico delle Murge (Terra di Bari): cause geologiche e ruolo dell'azione antropica*. Geologia e Territorio, 3, 11–12.
- MOSSA M. (2007), *The floods in Bari: what history should have taught*. J. Hydraul. Res., 45 (5), 579–594.
- NORTH L.A., VAN BEYNEN P.E. & PARISE M. (2009), *Interregional comparison of karst disturbance: west-central Florida and southeast Italy*. Journal of Environmental Management, 90, 1770–1781.
- OLARINOYE T., GLEESON T., MARX V., SEEGER S., ADINEHVAND R., ALLOCCA V., ANDREO B., APAÉSTEGUI J., APOLIT C., ARFIB B., AULER A., BARBERÁ J.A., BATIOU-GUILHE C., BECHTEL T., BINET S., BITTNER D., BLATNIK M., BOLGER T., BRUNET P., CHARLIER J.P., CHEN Z., CHIOGNA G., COXON G., DE VITA P., DOUMMAR J., EPTING J., FOURNIER M., GOLDSCHIEDER N., GUNN J., GUO F., GUYOT J.L., HOWDEN N., HUGGENBERGER P., HUNT B., JEANNIN P.-Y., JIANG G., JONES G., JOURDE H., KARMANN I., KOIT O., KORDILLA J., LABAT D., LA-DOUCHE B., LISO I.S., LIU Z., MASSEI N., MAZZILLI N., MUDARRA M., PARISE M., PU J., RAVBAR N., HIDALGO SANCHEZ L., SANTO A., SAUTER M., SIVELLE V., SKOGLUND R.O., STEVANOVIC Z., WOOD C., WORTHINGTON S. & HARTMANN A. (2020), *Global karst springs hydrograph dataset for research and management of the world's fastest flowing groundwater*. Scientific Data, 7, 59.
- PARISE M. (2003), *Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy)*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 3 (6), 593–604.
- PARISE M. (2008), *Elementi di geomorfologia carsica della Puglia*. In: Atti del 45° Corso CNSS-SSI di III livello "Geomorfologia Carsica" (a cura di M. Parise, S. Inguascio & A. Marangella) Grottaglie, 2-3 febbraio 2008, p. 93–118.
- PARISE M. (2016), *Modern resource use and its impact in karst areas - mining and quarrying*. Zeitschrift für Geomorphologie, 60 (X), 199–216.
- PARISE M. & PASCALI V. (2003), *Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy)*. Environmental Geology, 247, 250.
- PARISE M., & GUNN J. (Eds.) (2007), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: Recognition, Analysis and Mitigation*. Geological Society London, Special Publication 279, 202 pp.
- PARISE M., QIRIAZI P., & SALA S. (2004), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas of Albania*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 4.
- PARISE M., FEDERICO A., DELLE ROSE M. & SAMMARCO M. (2003), *Karst terminology in Apulia (southern Italy)*. Acta Carsologica, 32 (2), 65–82.
- PARISE M., RAVBAR N., ŽIVANOVIC V., MIKSZEWSKI A., KRESIC N., MÁDL-SZŐNYI J., KUKURIC, N. (2015), *Hazards in Karst and Managing Water Resources Quality*. In: STEVANOVIC Z. (Ed.), *Karst Aquifers—Characterization and Engineering*. Professional Practice in Earth Sciences, Springer: Heidelberg, Germany, 601–687.
- PARISE M., GABROVEC F., KAUFMANN G. & RAVBAR N. (2018), *Recent advances in karst research: from theory to fieldwork and applications*. In: PARISE M., GABROVEC F., KAUFMANN G., RAVBAR N. (Eds.), *Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications*. Geological Society, London, Special Publications, 466, 1–24.
- PICCINI L. (1999), *Geomorfologia e speleogenesi carsica*. Quaderni Didattici SSI, 1, 22 pp.
- PISANO L., ZUMPARO V., PEPE M., LISO I., PARISE M. (2022), *Assessing Karst Landscape Degradation: A Case Study in Southern Italy*. Land, 11(10).
- REJEC BRANCELJ I. (1998), *Influence of modern farming on karstic landscapes*. Acta Carsologica, 27 (3), 201–213.
- RUBBIA K. (1912), *Petindvajset let pogozdovanja Krasa na Kranjskem*. Pogozdovalna komisija, Ljubljana.
- SHI W. Y., XU M. & HE X. (2022), *Plant-microbe-soil interactions in a vulnerable ecosystem: promising re-vegetation approaches to slow down rocky karst desertification*. In Plant and Soil. Springer Science and Business Media Deutschland GmbH.
- STEVANOVIC Z. (2019), *Karst water in potable water supply: A global scale overview*. Environ. Earth Sci., 78, 662.
- VAN BEYNEN P.E. & TOWNSEND K. (2005), *A disturbance index for karst environments*. Environmental Management, 36, 101–116.
- WATSON J., HAMILTON-SMITH E., GILLIESON D. & KIERNAN K. (1997), *Guidelines for cave and karst protection*.
- WILLIAMS P. W. (2008), *The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: a review*. International Journal of Speleology, 37(1).
- YUAN D.X. (1997), *Rock desertification in the subtropical karst of south China*. Z. Geomorphol. 108, 81–90.
- ZENG F., JIANG Z., SHEN L., CHEN W., YANG Q. & ZHANG C. (2018), *Assessment of multiple and interacting modes of soil loss in the karst critical zone, Southwest China (SWC)*. Geomorphology 322, 97–106.



ARPA Puglia, organo tecnico della Regione Puglia, è preposta all'esercizio di attività e compiti in materia di prevenzione e tutela ambientale, ai fini della salvaguardia delle condizioni ambientali soprattutto in relazione alla tutela della salute dei cittadini e della collettività.



ARPA Puglia e la SIGEA-APS hanno firmato un Protocollo d'Intesa al fine di:

- ✓ collaborare in attività di studio e ricerca;
- ✓ sviluppare iniziative condivise per la diffusione della cultura della difesa del territorio dai rischi naturali ed antropici;
- ✓ promuovere iniziative di sensibilizzazione, formazione e comunicazione per la conoscenza del patrimonio naturale e della geodiversità.

Per la prima volta dalla sua istituzione ARPA Puglia ha, nel suo organico, tre dirigenti geologi. La valorizzazione delle attività di questi professionisti si è concretizzata in virtù di una scelta strategica della Direzione dell'Agenzia.

Valutazione degli esiti del monitoraggio qualitativo dei Corpi Idrici Sotterranei in relazione alle pressioni antropiche insistenti sul territorio regionale della Puglia

Analysis of groundwater body monitoring data on the basis of the anthropogenic pressures in the Apulia region

Silvia Di Cunsolo*
E-mail: s.dicunsolo@arpa.puglia.it

Claudia Marcella Placentino
E-mail: c.placentino@arpa.puglia.it

Mina Lacarbonara
E-mail: m.lacarbonara@libero.it

Vincenzo Musolino
E-mail: v.musolino@arpa.puglia.it

Vito Bruno
E-mail: v.bruno@arpa.puglia.it

Vincenzo Campanaro
E-mail: v.campanaro@arpa.puglia.it

ARPA Puglia, Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente

*Autore referente

Parole chiave: monitoraggio, acque sotterranee, pressioni antropiche
Key words: monitoring, groundwater, anthropogenic pressures

ABSTRACT

The Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD) requires all Member States to protect and improve water quality. As concerns groundwater bodies, Member States shall carry out their characterization also by the identification of the pressures to which each groundwater body is liable to be subject, the estimation of the significant anthropogenic impacts, the evaluation of water status and the risk of failing to meet the environmental objectives required by the Article 4 of the WFD. The approach, which integrates pressures analysis with status and impact assessment, is a useful tool both in designing monitoring programmes and in establishing preventive or remedial measures in order to achieve the objectives of the WFD. In this study the methodology for pressures and impact assessment developed by the Italian National System for the Protection of the Environment (SNPA), described in the ISPRA Guidelines 11/2018 (Fiorenza *et al.*, 2018), is applied to the 29 groundwater bodies of the Apulia Region (Italy).

INTRODUZIONE

La Direttiva Quadro sulle Acque 2000/60/CE (Water Framework Directive – WFD) prevede che la caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei avvenga anche attraverso l'individuazione delle pressioni significative alle quali sono sottoposti e la valutazione degli impatti attesi, tenendo conto del loro stato di qualità e del rischio di non raggiungimento degli obiettivi di qua-

lità ambientale fissati nell'art. 4 della stessa Direttiva. L'approccio, che integra l'analisi delle pressioni con le valutazioni di stato e di impatto, risulta strumento utile sia nella pianificazione dei monitoraggi sia nella definizione delle misure di tutela e di ripristino volte a garantire il raggiungimento o il mantenimento degli obiettivi ambientali. Nel presente studio si applica la metodologia di analisi delle pressioni antropiche e degli impatti condivisa all'interno del Sistema Nazionale per la Protezione dell'Ambiente (SNPA), descritta nelle Linee Guida ISPRA 11/2018 (Fiorenza *et al.*, 2018).

METODOLOGIA

La metodologia adottata nell'analisi delle pressioni e nella valutazione degli impatti è descritta nelle Linee Guida ISPRA 11/2018 (LG). Le LG prevedono un primo livello dell'analisi in cui si distinguono le pressioni in nove gruppi, e per ognuno di questi è definito un secondo livello di classificazione, con la descrizione di natura e genesi della fonte di pressione. Le tipologie di pressione così individuate vanno selezionate in funzione della tipologia di acque cui si sta applicando la metodologia, in quanto in alcuni casi la pressione potrebbe non essere attinente o non avere rilevanza ai fini dell'analisi. A questo scopo, nelle LG sono stati definiti degli ordini di priorità, così classificati:

- *pressioni da considerare prioritariamente (PC)* in quanto rilevanti per la specifica categoria di acque;

- *pressioni di secondaria priorità* in quanto sono meno rilevanti per la specifica categoria di acque;
- *pressioni da non considerare a priori* perché verosimilmente non attinenti per la specifica categoria di acque.

In Tab. 1 è riportato l'elenco delle pressioni definite nella LG, e l'ordine di priorità individuato per le acque sotterranee. La codifica utilizzata rispetta quella indicata nella CIS Guidance – WFD Reporting Guidance. Si evince come per le acque sotterranee tredici pressioni sono da considerare prioritariamente, dodici sono considerate di secondaria utilità e quattordici sono non attinenti alla categoria di acque. Nella LG sono definiti anche gli ambiti territoriali di riferimento, intesi come la porzione di territorio che riunisce e raccoglie le pressioni ritenute influenti sul corpo idrico sotterraneo. Tra le pressioni da considerare prioritariamente per le acque sotterranee, è stata approfondita l'analisi sulla pressione agricola, identificata a livello comunitario (codifica WISE) come pressione diffusa "2.2-Agricoltura". Tale scelta è stata orientata in considerazione della disponibilità/indisponibilità dei dati necessari al popolamento degli indicatori di pressione, ed anche in considerazione delle conoscenze pregresse e degli esiti del monitoraggio, che indirizzano verso l'approfondimento della pressione agricola, tipica del contesto territoriale pugliese. La metodologia prevede che, individuata la pressione da analizzare, ne sia valutata la significatività, ovvero la possibilità di generare impatti sul corpo

Tabella 1. Elenco delle pressioni-criterio di priorità-ambito territoriale di riferimento

Tipologie di pressione		Acque sotterranee	
		Criterio di priorità	Ambito territoriale
1 Pressioni puntuali	1.1 Scarichi urbani		
	1.2 Sforatori di piena		
	1.3 Impianti IED		
	1.4 Impianti non IED		
	1.5 Siti contaminati/siti industriali abbandonati	PC	A
	1.6 Discariche	PC	A
	1.7 Acque di miniera		A
	1.8 Impianti di acquacoltura		
	1.9 Altre pressioni		A
2 Pressioni diffuse	2.1 Dilavamento superfici urbane	PC	A
	2.2 Agricoltura	PC	A
	2.3 Selvicoltura		A
	2.4 Trasporti		
	2.5 Siti contaminati/siti industriali abbandonati	PC	A
	2.6 Scarichi non allacciati alla fognatura	PC	A
	2.7 Deposizioni atmosferiche		
	2.8 Attività minerarie		A
	2.9 Impianti di acquacoltura		
	2.10 Altre pressioni		A
3 Prelievi idrici	3.1 Uso agricolo	PC	A
	3.2 Uso civile potabile	PC	A
	3.3 Uso industriale	PC	A
	3.4 Raffreddamento	PC	A
	3.5 Uso idroelettrico		
	3.6 Piscicoltura	PC	A
	3.7 Altri usi		A
4 Alterazioni morfologiche e regolazioni di portata	4.1 Alterazione fisica dei canali/alveo/fascia riparia/sponde		
	4.2 Dighe, barriere e chiuse		
	4.3 Alterazione idrologica		
	4.4 Perdita fisica totale o parziale del corpo idrico		A
	4.5 Altre alterazioni idromorfologiche		A
5 Altre pressioni	5.1 Introduzione di malattie e specie aliene		
	5.2 Sfruttamento/rimozione di animali/piante		
	5.3 Rifiuti/disariche abusive		A
6 Cambiamenti del livello e del flusso idrico delle acque sotterranee	6.1 Ricarica delle acque sotterranee	PC	CI
	6.2 Alterazione del livello o del volume di falda	PC	CI
7 Altre pressioni antropiche			A - CI
8 Pressioni antropiche sconosciute			CI
9 Inquinamento remoto/storico			CI

	Tipologia di pressione da non considerare a priori
	Tipologia di pressione di secondaria priorità
PC	Tipologia di pressione da considerare prioritariamente
A	Area del corpo idrico
CI	Corpo idrico

Fonte: Linee Guida SNPA 11/2018

idrico, pregiudicando il mantenimento o il raggiungimento degli obiettivi di qualità. A questo scopo, per ogni tipologia di pressione, nella LG sono individuati almeno un indicatore a medio-alta complessità (MAC) e/o uno a medio-bassa complessità (MBC). L'indicatore

MAC è ritenuto lo strumento migliore per valutare la significatività della pressione ed è pertanto da preferire; tuttavia l'applicazione pratica richiede la disponibilità e/o il reperimento di molti dati, alcuni anche molto articolati, strutturati e complessi, che non sempre sono dispo-

nibili in maniera omogenea sul territorio. Nel caso in esame, in cui non sono disponibili tutte le informazioni richieste con il livello di dettaglio adeguato, è stato utilizzato l'indicatore MBC. Inoltre, quando sono forniti più indicatori MAC e/o MBC, questi sono da

Tabella 2. Indicatori di pressione e soglie di significatività per la pressione agricola nelle acque sotterranee

Tipologia di pressione	Metodo a medio-alta complessità (MAC)	Soglie	Metodo a bassa complessità (MBC)	Soglie
2.2 Diffuse - Agricoltura	<p>Indicatore 1: Estensione percentuale delle aree ad uso agricolo dei suoli rispetto all'estensione del GWB, corretta in funzione della vulnerabilità SINTACS, valutata per acquiferi liberi di conoide e freatici o al più per quelli confinati superiori (nel complesso definiti da taluni superficiali) se impattati dalla pressione in esame.</p> <p>Indicatore 2: Valore di surplus di azoto calcolato nell'area sovrastante il GWB in kgN/ha/anno, corretto in funzione della vulnerabilità SINTACS, valutato per acquiferi liberi di conoide e freatici o al più per quelli confinati superiori (nel complesso definiti da taluni superficiali) se impattati dalla pressione in esame.</p> <p>L' estensione percentuale delle aree ad uso agricolo e il valore di surplus sono moltiplicati per un coefficiente correttivo tra 1 e 2 per tenere conto della vulnerabilità media del GWB</p>	<p>Indicatore 1: $\geq 80 \%$;</p> <p>Indicatore 2: ≥ 100 kgN/ha/anno</p> <p>(valori corretti in funzione della classe di vulnerabilità SINTACS)</p>	<p>Indicatore 1: estensione percentuale delle aree ad uso agricolo dei suoli rispetto all'estensione del GWB</p> <p>Indicatore 2: Valore di surplus di azoto calcolato nell'area sovrastante il GWB in kgN/ha/anno</p>	<p>Indicatore 1: $\geq 60\%$</p> <p>Indicatore 2: ≥ 75 kgN/ha/anno</p>

Fonte: Linee Guida SNPA 11/2018

considerare alternativi, salvo che non sia espressamente indicato diversamente. In seguito è valutata l'entità dell'impatto sui singoli corpi idrici, con riferimento agli indicatori di impatto individuati nella LG ed alle relative soglie di significatività. Gli indicatori di impatto sono stati stimati utilizzando i risultati del monitoraggio regionale dei corpi idrici sotterranei della Puglia, eseguito sulla rete di monitoraggio denominata "Rete Maggiore" (DGR n.224/2015, DGR n.2417/2019), progettata ai sensi del D.Lgs.30/2009 quale riattivazione, adeguamento e prosecuzione della pre-

esistente rete del "Progetto Tiziano", attuato dal 2007 al 2011. In particolare, il dataset di riferimento del presente studio è relativo al periodo che va dal 2015, anno sperimentale di avvio del monitoraggio Maggiore, al 2018, anno di chiusura del primo triennio di monitoraggio del ciclo sessennale 2016-2021.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Per la valutazione della significatività della pressione agricola, la LG individua due indicatori a medio-alta complessità (MAC), e due indicatori a medio-bassa complessità (MBC), con la relativa so-

glia al di sopra della quale la pressione deve essere considerata significativa, mostrati in Tab. 2. L'analisi effettuata prende in considerazione l'indicatore 1 della categoria MBC, definito come l'estensione percentuale delle aree ad uso agricolo rispetto all'estensione del corpo idrico, e la cui soglia di significatività è fissata al 60%. Per ognuno dei 29 corpi idrici sotterranei individuati in Puglia nel documento "Identificazione e Caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei della Puglia ai sensi del DLgs n.30/2009", approvato con DGR n.1786/2013, è stata calcolata l'estensione percentuale del-

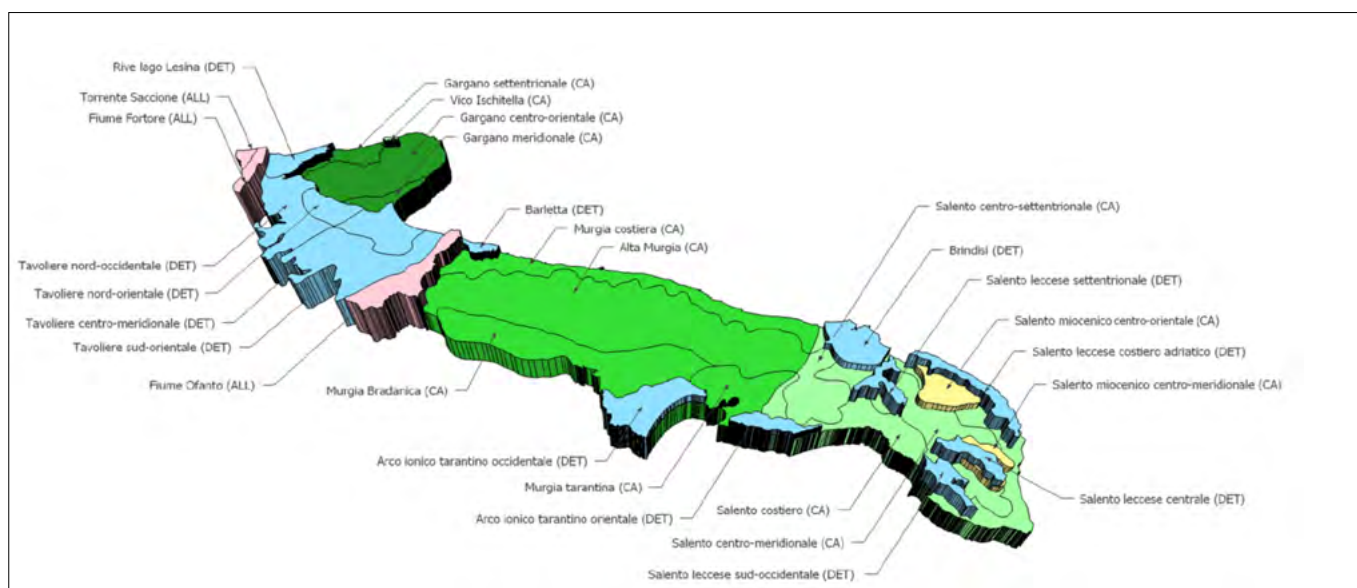


Figura 1. Rappresentazione schematica dei Corpi Idrici Sotterranei della Puglia (fonte: "Identificazione e Caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei della Puglia ai sensi del D.Lgs 30/2009", DGR n.1786 del 1 ottobre 2013).

Tabella 3. Valutazione della significatività della pressione agricola per i 29 corpi idrici sotterranei pugliesi (elaborazioni svolte con il supporto del Servizio Cartografico di ARPA Puglia)

			2.2 Pressioni Diffuse - Agricoltura		
			Indicatore 1 (MBC)		Significatività pressione
			Descrizione indicatore	Estensione percentuale delle aree ad uso agricolo dei suoli rispetto all'estensione del GWB	
Soglia di significatività			≥ 60%	SI/NO	
CORPO IDRICO SOTTERRANEO		Superficie (km ²)			
1-1-1	Gargano centro-orientale	1309,30	20%	NO	
1-1-2	Gargano meridionale	296,09	73%	SI	
1-1-3	Gargano settentrionale	355,49	48%	NO	
1-2-1	Falda sospesa di Vico Ischitella	8,40	44%	NO	
2-1-1	Murgia costiera	1227,13	86%	SI	
2-1-2	Alta Murgia	3842,36	85%	SI	
2-1-3	Murgia bradanica	1629,37	74%	SI	
2-1-4	Murgia tarantina	952,54	78%	SI	
2-2-1	Salento costiero	2282,50	87%	SI	
2-2-2	Salento centro-settentrionale	563,35	93%	SI	
2-2-3	Salento centro-meridionale	1364,28	88%	SI	
3-1-1	Salento miocenico centro-orientale	313,16	79%	SI	
3-2-1	Salento miocenico centro-meridionale	223,13	94%	SI	
4-1-1	Rive del Lago di Lesina	210,46	68%	SI	
4-1-2	Tavoliere nord-occidentale	772,94	98%	SI	
4-1-3	Tavoliere nord-orientale	275,50	99%	SI	
4-1-4	Tavoliere centro-meridionale	1237,53	92%	SI	
4-1-5	Tavoliere sud-orientale	498,00	91%	SI	
4-2-1	Barletta	58,36	80%	SI	
5-1-1	Arco Ionico-tarantino occidentale	468,40	87%	SI	
5-2-1	Arco Ionico-tarantino orientale	142,65	80%	SI	
6-1-1	Piana brindisina	349,53	87%	SI	
7-1-1	Salento leccese settentrionale	123,73	96%	SI	
7-2-1	Salento leccese costiero Adriatico	199,90	75%	SI	
7-3-1	Salento leccese centrale	130,01	98%	SI	
7-4-1	Salento leccese sud-occidentale	117,11	85%	SI	
8-1-1	T. Saccione	53,53	81%	SI	
9-1-1	F. Fortore	114,72	96%	SI	
10-1-1	F. Ofanto	426,83	97%	SI	

le aree ad uso agricolo utilizzando come fonte dati la carta dell'uso del suolo del Corine Land Cover 2018. I corpi idrici sotterranei pugliesi sono rappresentati in Fig. 1. Tra le classi indicate dalla LG, le tipologie d'uso del suolo presenti nelle porzioni di territorio interessate sono risultate:

- 2.1.1.1 – Colture intensive
- 2.2.1 – Vigneti
- 2.2.2 – Frutteti e frutti minori
- 2.2.3 – Oliveti
- 2.3.1 – Prati stabili
- 2.4.1 – Colture temporanee associate a colture permanenti
- 2.4.2 – Sistemi colturali e particellari complessi

- 2.4.3 – Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti
- 2.4.4 – Aree agroforestali.

L'esito dell'analisi di significatività è riportato in Tab. 3. Gli unici corpi idrici sotterranei per i quali la pressione agricola risulta non significativa sono tre corpi idrici appartenenti al complesso idrogeologico calcareo del Gargano: il Gargano centro-orientale, il Gargano settentrionale e la Falda sospesa di Vico Ischitella.

Le tipologie d'uso del suolo che maggiormente incidono sulla significatività della pressione sono i semina-

tivi (classe 2.1) e le colture permanenti (classe 2.2), mentre la categoria d'uso maggiormente presente tra le colture permanenti sono gli oliveti.

La tipologia d'uso meno frequente sono i prati stabili (classe 2.3), del tutto assenti o presenti in percentuali al di sotto dell'unità nella maggior parte dei corpi idrici. Tra le zone agricole eterogenee (classe 2.4) si nota una netta prevalenza, a scala regionale, dei sistemi colturali e particellari complessi. Tendenzialmente i seminativi prevalgono nelle zone del Tavoliere e della Puglia settentrionale, mentre le colture permanenti come vigneti, frutteti e oliveti incidono maggiormente nella significa-

Tabella 4. Relazione pressioni-impatto-stato per i corpi idrici sotterranei (fonte: Linee Guida SNPA 11/2018)

Tipologia di pressione	Indicatori di stato	Impatti attesi	Indicatori di impatto	Soglie
2.2 Diffuse - Agricoltura	<ul style="list-style-type: none"> Stato chimico Conformità delle concentrazioni delle sostanze agli SQA/VS 	<ol style="list-style-type: none"> Inquinamento da nutrienti Inquinamento organico Inquinamento chimico 	<ol style="list-style-type: none"> media annua nitrati concentrazione media annua somma pesticidi; riscontri positivi per sostanze ritenute correlate alla pressione 	<ol style="list-style-type: none"> >25 mg/L >0; presenza valori >LOQ

Fonte: Linee Guida SNPA 11/2018

tività della pressione agricola nelle aree del Salento e della Puglia meridionale.

Una volta esaminata la significatività della pressione agricola, ne è stata valutata l'entità dell'impatto sui singoli corpi idrici, con riferimento agli indicatori di impatto individuati nella LG e alle relative soglie di significatività.

Gli indicatori di impatto per la pressione agricola, riportati in Tab. 4, sono due: la media annua nitrati e la concentrazione media annua della somma dei

pesticidi. In base ai profili analitici definiti nel programma di monitoraggio regionale, i nitrati vengono monitorati in tutte le stazioni della "Rete Maggiore", a prescindere dall'appartenenza alla rete chimica o alle reti integrative, e all'applicazione del monitoraggio operativo o di sorveglianza.

I pesticidi invece sono monitorati esclusivamente nelle stazioni appartenenti alla rete integrativa dedicata, la quale costituisce una sottorete della rete

chimica. Si consideri che il monitoraggio dei pesticidi è stato notevolmente modificato, a partire dal secondo semestre del 2018, con l'applicazione del nuovo programma di monitoraggio approvato con DGR n. 1004/2018, che ha previsto un ampliamento sia delle stazioni monitorate (da 56 a 135) sia delle sostanze determinate (da 43 a 140). Per garantire l'omogeneità dei dati nel periodo di riferimento, in questo studio si considerano gli esiti del monitoraggio dei pesticidi effettuato dal 2015 fino alla prima campagna del 2018, con riferimento alla rete ex DGR n.224/2015. I dati disponibili per l'indicatore dell'inquinamento da nutrienti (indicatore di impatto n.1 in Tab. 4) hanno quindi una copertura informativa più ampia rispetto a quella utile per la stima dell'indicatore da inquinamento chimico (indicatore di impatto n.3 in Tab. 4).

Le valutazioni di impatto sono state effettuate calcolando, per ogni corpo idrico e per ogni anno di monitoraggio, la media aritmetica dei dati disponibili per tutte le stazioni campionate, e successivamente calcolando la media del periodo 2015-2018 a partire dai valori medi annuali. Le stazioni monitorate per i nitrati e i pesticidi sono riportate in Fig. 2. Sono stati comunque valutati, in maniera esplorativa, approcci alternativi per la valutazione complessiva dell'impatto a partire dagli indicatori annuali. Si ritiene che l'approccio utilizzato restituisca un esito cautelativo, in considerazione della tipologia di dataset disponibile che, soprattutto per la componente pesticidi, risulta molto influenzato dalla variabilità spazio-temporale della copertura informativa. Gli indicatori d'impatto così ottenuti sono stati valutati insieme per ciascun corpo idrico sotterraneo.

La Tab. 5 raccoglie l'esito del confronto tra i due indicatori per corpo idrico con riferimento all'intero periodo 2015-2018, mostrando anche la base informativa di riferimento (numero di stazioni monitorate). Gli indicatori di impatto da nitrati sono visualizzati in Tab. 5 con un codice colore rappresentativo di sei livelli crescenti di concentrazione, definiti

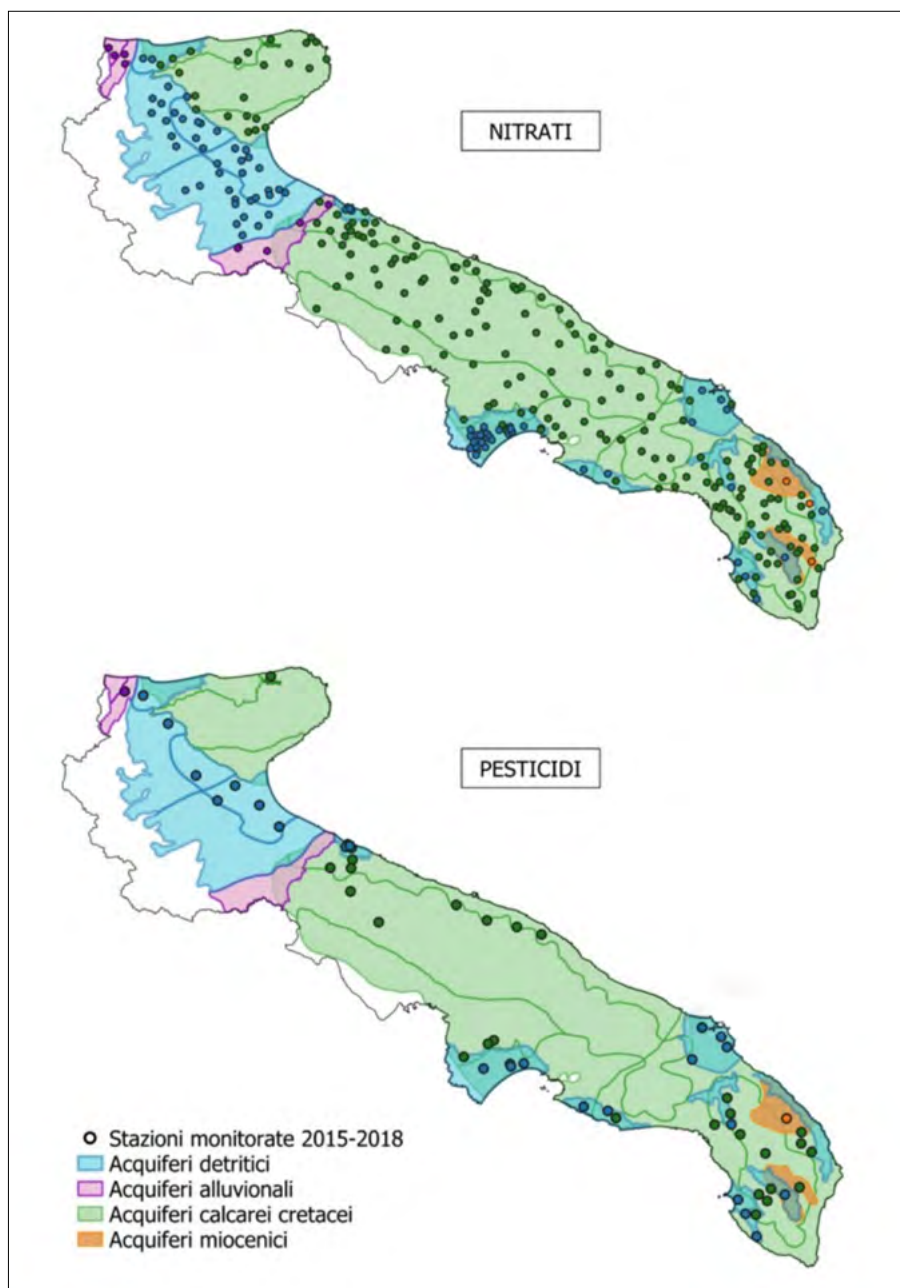


Figura 2. Stazioni monitorate per i nitrati e i pesticidi

Tabella 5. Valutazione di significatività dell'impatto derivante della pressione agricola per i 29 corpi idrici sotterranei della Puglia nel periodo 2015-2018

	Indicatori di impatto				Significatività impatto
	Media annua nitrati		Media annua somma pesticidi		
	Soglia: 25 mg/l		Soglia: 0		
	N. Stazioni	Indicatore (mg/l)	N. Stazioni	Indicatore (µg/l)	
CORPO IDRICO SOTTERRANEO					
Gargano centro-orientale	11	18	0	-	NO
Gargano meridionale	6	17	0	-	NO
Gargano settentrionale	5	10	0	-	NO
Falda sospesa di Vico Ischitella	1	25	1	0	NO
Murgia costiera	33	36	5	0,0048	SI
Alta Murgia	38	25	4	0,027	(SI)
Murgia bradanica	14	31	3	0,0057	SI
Murgia tarantina	11	14	0	-	NO
Salento costiero	32	30	5	0,013	SI
Salento centro-settentrionale	6	29	0	-	SI
Salento centro-meridionale	34	28	9	0,035	SI
Salento miocenico centro-orientale	2	26	1	0	(SI)
Salento miocenico centro-meridionale	1	49	0	-	SI
Rive del Lago di Lesina	2	4	1	0,0075	(SI)
Tavoliere nord-occidentale	7	142	1	0,01	SI
Tavoliere nord-orientale	8	163	1	0,032	SI
Tavoliere centro-meridionale	13	131	0	-	SI
Tavoliere sud-orientale	11	103	4	0,021	SI
Barletta	4	50	4	0,0092	SI
Arco Ionico-tarantino occidentale	24	83	4	0,012	SI
Arco Ionico-tarantino orientale	2	183	2	0,012	SI
Piana brindisina	4	67	4	0,0044	SI
Salento leccese settentrionale	1	27	1	0,013	SI
Salento leccese costiero Adriatico	1	36	0	-	SI
Salento leccese centrale	1	44	1	0,011	SI
Salento leccese sud-occidentale	3	52	3	0,0025	SI
T. Saccione	2	41	0	-	SI
F. Fortore	2	44	1	0,013	SI
F. Ofanto	5	95	0	-	SI

Legenda Media annua nitrati	
0 - 9,99 mg/l	
10 - 24,99 mg/l	
25 - 39,99 mg/l	
40 - 49,99 mg/l	
50 - 79,99 mg/l	
≥ 80 mg/l	

a partire dalle quattro classi di qualità (0-25 mg/l; 25-40 mg/l; 40-50 mg/l; > 50 mg/l) individuate dalla Commissione Europea. L'indicatore "media annua nitrati" riferito al periodo 2015-2018 met-

te in evidenza una diversificazione tra gli acquiferi carsici profondi del Gargano, delle Murge e del Salento e gli acquiferi freatici più superficiali del Tavoliere, dell'Arco Ionico e dell'area leccese.

Mentre i primi, anche a fronte di significatività della pressione agricola, mostrano assenza di impatto da nitrati o impatto con concentrazione media nella classe 25-40 mg/l, i secondi

Tabella 6. Valutazione dello stato chimico dei copri idrici sotterranei per il triennio 2016-2018

Corpo Idrico		Stato chimico DGR 1786/13	Valutazione Stato chimico del Corpo Idrico - triennio 2016-2018				Parametri critici rispetto ai limiti D.Lgs 30/2009*	Livello di Confidenza
			Stato chimico	STAZIONI in stato chimico BUONO	STAZIONI in stato chimico SCARSO			
1-1-1	Gargano centro-orientale	Scarso	SCARSO	46%	38%	Cloruri, Cond. Elettrica, Solfati, Boro, Mercurio	Medio	
1-1-2	Gargano meridionale	Scarso	SCARSO	17%	83%	Cond. Elettrica, Cloruri, Ammonio, Solfati, Boro	Medio	
1-1-3	Gargano settentrionale	Scarso	SCARSO	17%	67%	Cond. Elettrica, Cloruri	Alto	
1-2-1	Falda sospesa di Vico Ischitella	N.D.	BUONO	100%	0%		Basso	
2-1-1	Murgia costiera	Scarso	SCARSO	14%	79%	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Solfati, Ammonio, Nitriti, Dibromoclorometano, Benzo(a)pirene, Benzo(g,h,i)perilene	Medio	
2-1-2	Alta Murgia	Buono	BUONO	89%	3%		Alto	
2-1-3	Murgia bradanica	Buono	SCARSO	71%	29%	Cloruri, Nitrati, Solfati	Medio	
2-1-4	Murgia tarantina	Scarso	SCARSO	0%	82%	Cloruri, Cond. Elettrica, Ammonio, Solfati, Boro	Alto	
2-2-1	Salento costiero	Scarso	SCARSO	33%	52%	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Solfati, Ammonio, Fluoruri, Selenio, Sodio**	Medio	
2-2-2	Salento centro-settentrionale	Scarso	SCARSO	43%	43%	Cloruri, Cond. Elettrica, Nitrati, Fluoruri	Medio	
2-2-3	Salento centro-meridionale	Buono	SCARSO	65%	27%	Cloruri, Ammonio, Nitrati, Cond. Elettrica, Triclorometano	Medio	
3-1-1	Salento miocenico centro-orientale	Scarso	N.D.	40%	0%		-	
3-2-1	Salento miocenico centro-meridionale	Scarso	N.D.	50%	0%		-	
4-1-1	Rive del Lago di Lesina	Scarso	SCARSO	0%	100%	Cloruri, Cond. Elettrica, Ammonio	Medio	
4-1-2	Tavoliere nord-occidentale	Scarso	SCARSO	13%	75%	Cond. Elettrica, Cloruri, Nitrati, Solfati, Fluoruri, Selenio	Alto	
4-1-3	Tavoliere nord-orientale	Scarso	SCARSO	13%	88%	Cond. Elettrica, Nitrati, Cloruri, Fluoruri, Solfati	Medio	
4-1-4	Tavoliere centro-meridionale	Scarso	SCARSO	42%	58%	Nitrati, Nitriti, Ammonio, Cloruri, Fluoruri	Medio	
4-1-5	Tavoliere sud-orientale	Scarso	SCARSO	18%	82%	Nitrati, Cloruri, Cond. Elettrica, Fluoruri, Solfati, Ammonio, Selenio, Nitriti, Clorotoluron	Medio	
4-2-1	Barletta	N.D.	SCARSO	25%	75%	Nitrati, Triclorometano, Tetracloroetilene, Cloruri, Fluoruri, Nitriti	Medio	
5-1-1	Arco Ionico-tarantino occidentale	Scarso	SCARSO	24%	76%	Nitrati, Cond. Elettrica, Cloruri, Solfati, Ammonio, Cromo (VI), Arsenico	Alto	
5-2-1	Arco Ionico-tarantino orientale	N.D.	SCARSO	0%	100%	Nitrati, Cloruri, Solfati, Cond. Elettrica, Ammonio, Nitriti	Basso	
6-1-1	Piana brindisina	N.D.	SCARSO	0%	100%	Nitrati, Cloruri, Solfati, Cond. Elettrica, Ammonio, Dibenzo(a,h)antracene, Selenio	Medio	
7-1-1	Salento leccese settentrionale	N.D.	SCARSO	0%	100%	Cond. Elettrica, Cloruri, Fluoruri, Solfati, Arsenico	Basso	
7-2-1	Salento leccese costiero Adriatico	Buono	N.D.	50%	0%		-	
7-3-1	Salento leccese centrale	Buono	BUONO	100%	0%		Basso	
7-4-1	Salento leccese sud-occidentale	N.D.	SCARSO	33%	67%	Nitrati, Cloruri, Ammonio, Dibenzo(a,h)antracene	Medio	
8-1-1	T. Saccione	Scarso	SCARSO	33%	33%	Ammonio, Nitrati, Cloruri, Nitriti	Basso	
9-1-1	F. Fortore	Scarso	SCARSO	0%	100%	Ammonio, Nitrati, Fluoruri	Medio	
10-1-1	F. Ofanto	Scarso	SCARSO	25%	75%	Nitrati, Cond. Elettrica, Cloruri, Fluoruri, Nitriti, Solfati	Medio	

* Nella valutazione dello stato chimico puntuale i parametri previsti dal D.Lgs 31/2001 (***) sono stati considerati per i soli pozzi ad uso potabile.

I parametri sono riportati in ordine decrescente di frequenza dei superamenti nelle stazioni di monitoraggio del Corpo Idrico.

N.D. = non determinabile

risultano maggiormente impattati, con livelli di concentrazione di nitrati molto elevati in particolare nel Tavoliere e nell'Arco Ionico-tarantino. Dall'analisi complessiva, derivante dalla valutazio-

ne di entrambi gli indicatori, emerge che l'impatto della pressione agricola è significativo per la maggior parte dei corpi idrici sotterranei pugliesi. Non si ha evidenza di impatto da pressione

agricola per i quattro corpi idrici del complesso idrogeologico del Gargano (Gargano centro-orientale, Gargano meridionale, Gargano settentrionale, Falda di Vico Ischitella) e per un corpo

idrico appartenente al complesso idrogeologico delle Murge (Murgia tarantina). Emerge, inoltre, che in quasi tutti i corpi idrici la significatività dell'impatto della pressione agricola è concorde per entrambi gli indicatori di riferimento. Fanno eccezione il Salento miocenico centro-orientale, dove è significativo solo l'indicatore di inquinamento da nitrati, l'Alta Murgia e Rive del Lago di Lesina, nei quali è significativo solo l'indicatore di inquinamento da pesticidi. Per questi ultimi corpi idrici si è cautelativamente assunta la significatività dell'impatto, riportando tra parentesi l'esito della valutazione (SI). Per i dieci corpi idrici per i quali l'indicatore d'impatto "media annua somma pesticidi" non è calcolabile, la valutazione si basa solo sulla "media annua nitrati". Nel complesso, dallo studio integrato di pressione e impatto emerge che:

- per i tre corpi idrici per i quali la pressione agricola è risultata non significativa (Gargano centro-orientale, Gargano settentrionale, Falda sospesa di Vico Ischitella), gli esiti del monitoraggio confermano l'assenza di impatto;
- per gli altri corpi idrici, per i quali la pressione agricola è risultata significativa, anche l'impatto risulta significativo, tranne che per il Gargano meridionale e per la Murgia tarantina. In questi ultimi casi è possibile che le caratteristiche idrogeologiche del corpo idrico ne determinino una minore vulnerabilità. Si rileva comunque che, in entrambi i casi, nella stima dell'impatto non è valutato l'inquinamento da pesticidi, in quanto la rete ex DGR n.224/2015 non ne prevedeva la determinazione in questi corpi idrici.

A conclusione dell'analisi svolta, gli esiti sono stati confrontati con la valutazione dello stato chimico dei corpi idrici sotterranei per il triennio 2016-2018 approvata con DGR n.2080/2020, e riportata in *Tab. 6*. Per la maggior parte dei corpi idrici, la valutazione di significatività di impatto da pressione agricola è confermata dalla classificazione in stato scarso, con la presenza dei nitrati tra i parametri critici. Fanno eccezione Rive del Lago di Lesina, per il quale l'impatto è stato cautelativamente assunto come significativo per la concentrazione media dei pesticidi, e il Salento leccese settentrionale. I parametri appartenenti alla classe dei pesticidi figurano invece tra i parametri responsabili dello scarso stato di qualità solo nel Tavoliere sud-orientale. I restanti corpi idrici, in

cui sia la pressione sia l'impatto sono risultati significativi, nel triennio 2016-2018 sono stati classificati in stato chimico buono (Alta Murgia e Salento leccese centrale) o non determinabile (Salento miocenico centro-orientale e centro-meridionale, Salento leccese costiero Adriatico). Questo permette di evidenziare una probabile condizione di rischio legato all'impatto da nitrati e da pesticidi, che potrebbe pregiudicare il futuro mantenimento degli obiettivi di qualità. In alcuni casi, soprattutto per i corpi idrici del Salento, le valutazioni risentono anche della bassa copertura informativa disponibile, in termini di numero di stazioni e/o campioni. Per i pochi corpi idrici con impatto non significativo della pressione agricola (i quattro corpi idrici del complesso idrogeologico del Gargano e la Murgia tarantina), l'unico in stato chimico buono è la Falda sospesa di Vico Ischitella, seppure con dati limitati. Per la falda carsica del Gargano e per la Murgia tarantina la compromissione dello stato di qualità è evidentemente da attribuire ad altre pressioni insistenti sul territorio. Tali valutazioni potranno essere confermate con gli esiti della valutazione dello stato chimico riferita all'intero sessennio di monitoraggio 2016-2021, ad oggi in fase di approvazione. Infatti il ridotto numero di stazioni che riguarda alcune aree della Puglia e il numero limitato di anni di monitoraggio delle acque sotterranee, pur consentendo le attuali valutazioni, inducono a considerare con cautela le conclusioni finora emerse, rinviando a successive conferme. Tali limiti sono particolarmente presenti per il monitoraggio dei pesticidi, per i quali è stato compiuto un specifico sforzo per ampliare le stazioni e il numero di sostanze oggetto del monitoraggio. Pertanto ulteriori approfondimenti potranno essere effettuati con l'acquisizione degli esiti del nuovo ciclo sessennale di monitoraggio che, oltre a consolidare le serie storiche disponibili, recepiranno l'applicazione del nuovo programma di monitoraggio dei residui di prodotti fitosanitari approvato con DGR n.1004/2018.

BIBLIOGRAFIA

FIORINZA A., CASOTTI V., CIVANO V., MANCANIELLO D., MARCHESI V., MENICCHETTI S., MERLO F., PIVA F., SPEZZANI P., TANDUO I., UNGARO N., VENTURELLI S., ZORZA R. (2018), *Linee guida per l'analisi delle pressioni ai sensi della Direttiva 2000/60/CE*, ISPRA – Manuali e Linee Guida 177/2018, Roma
 CIS Guidance – WFD Reporting Guidance

- 2016 – Final Draft V6.0.6 26-04-2016.
 Deliberazione della Giunta Regionale 20 febbraio 2015, n. 224 - "Servizio di monitoraggio dei corpi idrici sotterranei" (P.O. FESR 2007/2013 - Asse II Linea di intervento 2.1.) - Azione 2.1.4.). Approvazione "Progetto Maggiore" e "Attività integrative". Individuazione dei soggetti attuatori ed approvazione dei relativi schemi di convenzione. REGIONE PUGLIA BU37 17/03/2015.
 Deliberazione della Giunta Regionale 7 novembre 2022 n.1521 - Aggiornamento 2015-2021 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia (PTA). REGIONE PUGLIA BU139 27/12/2022.
 Deliberazione della Giunta Regionale 19 dicembre 2019, n. 2417 - P.O.R. PUGLIA 2014-2020 - Azione 6.4 - "Integrazione e rafforzamento dei sistemi informativi di monitoraggio della risorsa idrica". Programma di Monitoraggio dei corpi idrici sotterranei. Aggiornamento rete di monitoraggio del Progetto Maggiore ex DGR 224/2015. REGIONE PUGLIA BU17 7/2/2020.
 Deliberazione della Giunta Regionale 1 ottobre 2013 n.1786 - Attuazione Direttiva 2006/118/CE. Caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei ai sensi del D.Lgs. 30/2009. Approvazione "Identificazione" e "Classificazione di rischio" dei corpi idrici sotterranei della Puglia. REGIONE PUGLIA BU137 22/10/2013.
 Corine Land Cover, Inventory, <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>
 CLC2018 Technical Guidelines (ETC/SIA report) – Final Draft 25-10-2017
 Deliberazione della Giunta Regionale 12 giugno 2018 n.1004 - Attuazione DGR n.896/2017. Approvazione "Programma di monitoraggio dei residui dei prodotti fitosanitari nei corpi idrici superficiali e sotterranei pugliesi". REGIONE PUGLIA BU84 25/06/2018.
 Deliberazione della Giunta Regionale 22 dicembre 2020 n.2080 - POR PUGLIA 2014-2020 - Azione 6.4 - "Integrazione e rafforzamento dei sistemi informativi di monitoraggio della risorsa idrica". Monitoraggio dei corpi idrici sotterranei. Attuazione DGR n.1406/2016: presa d'atto relazioni finali e approvazione della "Proposta di classificazione dello stato chimico triennale 2016-2018". REGIONE PUGLIA BU12 22/1/2021.

Attività estrattive nel territorio di Roma: evoluzione storica, normativa ed amministrativa; situazione attuale; prospettive e sviluppi futuri

Mining activities in territory of Rome: historical, regulatory and administrative evolution; current situation; future perspectives and developments

Parole chiave: attività estrattive, cave, recupero ambientale, siti dismessi, pianificazione territoriale e paesaggistico-ambientale, Roma

Key words: mining, quarries, environmental recovery, abandoned sites, territorial and landscape-environmental planning, Rome

ABSTRACT

The city of Rome and its surrounding area has been affected, since ancient times, by both underground and strip mining (mainly quarries, in very few cases mines, considering local geology and outcropping lithotypes).

These activities have been, and are still ongoing, finalized to finding natural inert material, mainly used for building and infrastructures.

Impacts on land, and consequent problems, concern several aspects: structural (failure, collapse, caves, building stability), hydrogeological (slopes instability, landslide, erosion, hydrographic disturbance), environmental (soil consumption, surface and underground water pollution).

After a general introduction about these topics, historical evolution of local previous mining will be approached, until the coming heavy growth of economy in the second postwar period (50's and 60's), when large increase of building and infrastructure industry led to decades of strong mining activity, mostly out of control, due to a persisting lack of law and planning until end of 70's.

After, due to greater awareness about natural resources safeguard and the new concept of decommissioned sites recovery, the process of enacting national and regional laws and consequent multiple levels planning, led to mining industry regulation.

Then, the situation of current mining activities in the municipal area of

Rome will be analysed, through an evaluation of quarried and residual resource amount, number and progress status of active, decommissioned, recovered or undergoing recovery sites.

Lastly, various opportunities to give the decommissioned and/or recovered sites a proper future utilization and enhancement will be taken into account, even in light of regulatory framework, planning instruments and guidelines: to reduce environmental impacts (as waste dump, morphological recovery by soil and rocks from external worksites excavation); for agricultural uses; for social, recreational and sport activities (public equipment and naturalistic areas); for cultural and didactic purpose (museum areas, geosites, etc.).

RIASSUNTO

L'area della città di Roma e il territorio circostante, è stato fin dai tempi storici interessato da intense attività di estrazione a cielo aperto e solo in alcuni casi in miniere.

Tali attività sono state e sono tuttora, finalizzate al reperimento di materiali inerti naturali, utilizzati prevalentemente per la costruzione di edifici e infrastrutture.

Gli impatti provocati sul territorio, e le conseguenti problematiche indotte, riguardano molteplici aspetti: geotecnico-strutturali (cedimenti, crolli, cavità, stabilità di manufatti), geologico-idraulici (stabilità di versanti e frane, erosione superficiale, dissesti del reticolo idro-

grafico), ambientali (consumo di suolo, inquinamento delle acque superficiali e sotterranee).

Dopo una premessa di inquadramento generale sugli aspetti sopra esposti, si procede ad un'analisi dell'evoluzione nel tempo delle attività estrattive locali pregresse, fino alla fase di intenso sviluppo economico del secondo dopoguerra che, con il notevole incremento dei settori edilizi ed infrastrutturali, ha portato a decenni di intensa attività, per lo più incontrollata, anche a causa di una carenza normativa e pianificatoria perdurata fino alla fine degli anni '70 del secolo scorso.

Successivamente, grazie ad una maggiore sensibilizzazione ed attenzione alla tutela e salvaguardia delle risorse naturali e all'introduzione del concetto di recupero e ripristino dei siti dismessi, l'emanazione di legislazione a livello nazionale e regionale, e la conseguente pianificazione a diversi livelli, ha portato ad una regolamentazione del settore estrattivo.

Si procede quindi ad un'analisi dello stato di fatto delle attività in corso all'interno del territorio di Roma Capitale, mediante un bilancio della quantità di risorsa sfruttata e residua, del numero e dello stato di avanzamento dei siti attivi e dismessi, dei siti recuperati, in fase di recupero e da recuperare.

Infine vengono esaminate le possibilità di utilizzo futuro e di valorizzazione dei siti dismessi e/o recuperati, anche alla luce del quadro normativo-

pianificatorio e di eventuali indirizzi e linee guida: per scopi di riduzione di altri impatti ambientali (discariche di rifiuti, ripristino morfologico con terre di scavo provenienti da altri cantieri); per scopi agricoli; per scopi sociali, ricreativi e sportivi (parchi attrezzati, aree naturalistiche, ecc.); per scopi culturali e didattici (aree-museo, geositi, ecc.).

PREMESSA

Sin dai tempi antichi la sempre crescente necessità di reperire materiali da utilizzare per le attività antropiche, quali costruzione di edifici, strade ed infrastrutture, ha fatto sì che le attività estrattive si siano sviluppate in modo piuttosto intenso nell'area romana, quasi esclusivamente sotto forma di cave. Sono invece praticamente, se non quasi del tutto assenti, le miniere. Ciò risulta evidente se si considera l'assetto geologico locale, ed i litotipi affioranti in conseguenza di tale assetto (APAT, 2006; Funicello *et al.*, 2008).

È opportuno richiamare a tal proposito la differenza, dal punto di vista 'tecnico', tra le due tipologie di attività estrattiva che, a prescindere dal fatto che vengano svolte in superficie o nel sottosuolo, tiene conto della tipologia di materiale estratto.

Si parla di "cava" quando si tratta di prelievo di materiali da costruzione, utile per l'industria e pietre ornamentali di importanza locale.

Si parla di "miniera" quando viene prelevato materiali di elevato valore e di importanza strategica quali minerali metallici e combustibile.

Per una definizione formalmente 'ufficiale' dei due tipi di attività si rimanda inoltre a quanto riportato all'art. 2 del Regio Decreto 29 luglio 1927, n. 1443 "Norme di carattere legislativo per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere".

Il presente lavoro si pone quindi, partendo da una ricostruzione storico-normativa che ha condotto alla situazione attuale, di fare il punto dello stato di fatto delle attività estrattive sul territorio comunale, ai fini di una possibile valutazione dell'efficacia dei provvedimenti adottati nel tempo, anche in prospettiva di possibili ulteriori future migliorie da introdurre.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area romana è un'ampia zona collinare compresa tra la catena appenninica ad est e il Mar Tirreno ad ovest. Solcata dal fiume Tevere e dall'Aniene, suo principale affluente, è limitata a nord e

a sud da due importanti complessi vulcanici: il Distretto dei Sabatini e quello dei Colli Albani. La città di Roma sorge su un grande pianoro vulcanico formato, a partire da circa 600.000 anni fa, dal sovrapporsi di depositi piroclastici. Da quel momento, e per tutto il Pleistocene superiore, l'evoluzione dell'area romana sarà determinata dall'attività vulcanica dei Sabatini e dei Colli Albani, ma anche dalle variazioni climatiche che hanno causato l'alternarsi di periodi deposizionali ed erosivi con la formazione di più ordini di terrazzi marini e fluviali.

Il substrato più antico delle unità vulcaniche è rappresentato da rocce sedimentarie di età Plio-pleistocenica che si formavano in ambiente marino profondo oltre 5 milioni di anni fa. Tra il Pleistocene inferiore e il Pleistocene medio inizia l'emersione dell'area e da quel momento in poi, i sedimenti si depositarono in ambienti di mare sempre più sottile fino a diventare palude e infine fluviali.

L'unità più antica è la Formazione di Monte Vaticano (o Argille Azzurre) ed è costituita da livelli argillosi e sabbiosi. Al di sopra sono presenti, dal basso verso

l'alto: la Formazione di Monte Mario, costituita principalmente da sabbie di ambiente costiero; la Formazione di Monte delle Picche, contemporanea alla prima, rappresentata da argille di ambiente infralitorale; la Formazione di Ponte Galeria, formata da depositi fluvio-deltizi depositi dal Paleotevere. Nel Pleistocene medio, circa 700.000 anni fa, la tettonica distensiva, agendo preferenzialmente lungo direttrici nord-sud e nordovest-sudest, ha determinato il sollevamento di una ampia zona identificabile oggi con i rilievi di Monte Mario, del Vaticano e del Gianicolo e ha causato inoltre lo spostamento forzato del corso del Tevere verso est-sud est, lungo una fascia in continua subsidenza, probabilmente costellata da aree lacustri e palustri (Formazione del Fosso della Crescenza).

L'entrata in scena dell'attività vulcanica determina l'immissione nell'ambiente di ingenti quantità di materiali eruttivi, che ad ogni fase stravolgevano i reticoli idrografici costringendo i corsi d'acqua a reimpostare i loro tragitti.

L'emissione di grandi volumi di prodotti dal distretto vulcanico sabati-

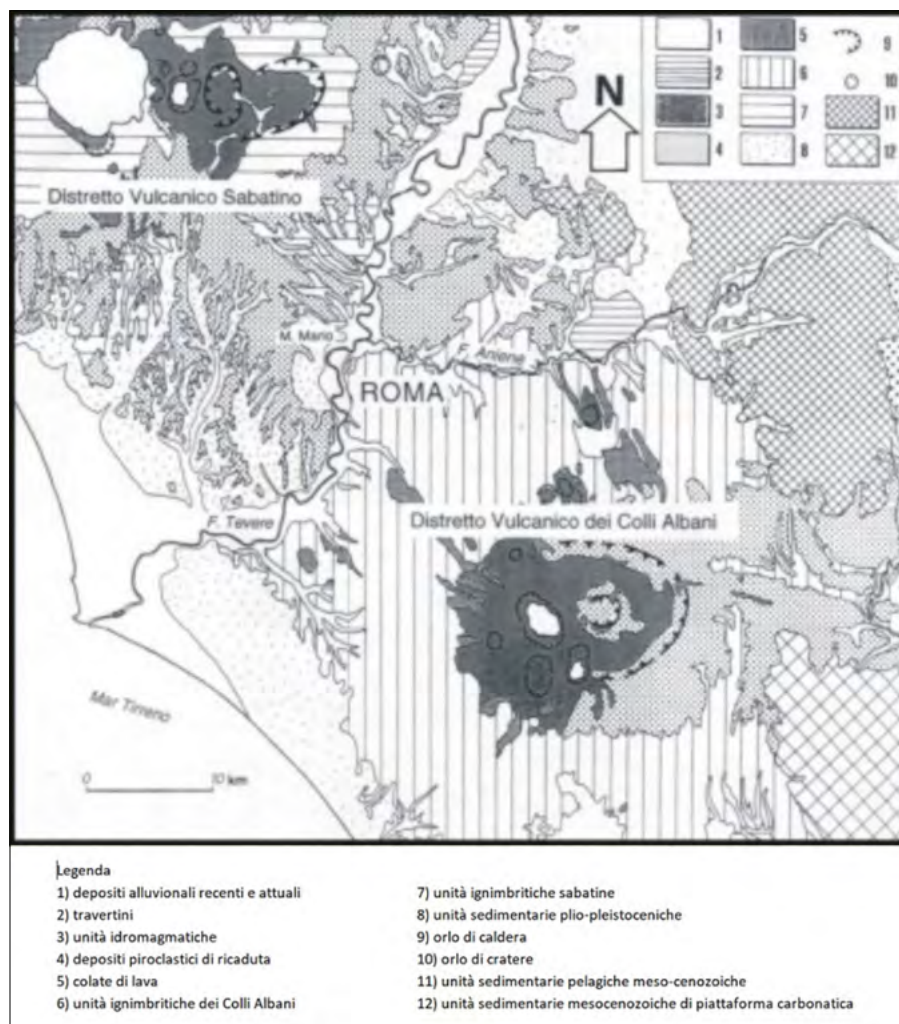


Figura 1. Rappresentazione schematica della geologia dell'area romana con la localizzazione dei Distretti vulcanici Sabatino e Albano (da Marra e Rosa, 1995)



Figura 2. Evidenze di antiche cave in sottoterraneo: cunicoli scavati nel 'Tufo Lionato' - zona Monteverde (Mun. XII) e Fosse Ardeatine (Mun. VIII); cava di ghiaia - zona Magliana (Mun. XI) (da Fabbri et al., 2014)

no iniziò circa 550.000 anni fa. I depositi vulcanici sabatini che raggiungono l'area romana sono rappresentati sia da ignimbriti, sia da depositi di ricaduta formati da ceneri, lapilli e pomici (tufi stratificati).

I primi depositi vulcanici che provengono dai Colli Albani risalgono a circa 600.000 anni fa; si tratta di ignimbriti pozzolanacee prodotte in eruzioni fortemente esplosive, intercalate a più riprese sia da depositi da ricaduta (ceneri, lapilli e pomici), sia da espandimenti lavici. A partire da circa 350.000 anni fa l'attività vulcanica diminuisce sensibilmente il volume di prodotti emessi; risale a questo periodo la "colata lavica di Capo di Bove" sulla quale corre la via Appia Antica.

Durante l'ultima glaciazione, a partire da circa 80.000 anni fa, il livello del mare scese di oltre 110 metri; il Fiume Tevere e i suoi affluenti incisero profonde valli nei depositi vulcanici e sedimentari, valli che furono nuovamente riempite di depositi alluvionali durante la progressiva risalita del livello del mare durante l'Olocene, a partire a 10.000 anni fa. In questo periodo il reticolo di paleo-valli incise nella fase glaciale nell'area sud-est della città di Roma è stato colmato da prodotti piroclastici e da colate di fango (lahar) provenienti dal cratere di Albano, dando origine a un'ampia zona pianeggiante (nota come "Tavolato") (Fabbri et al., 2014).

In Fig. 1 è rappresentato uno schema dell'assetto geologico dell'area romana

(Marra e Rosa, 1995). Per una più esaustiva descrizione delle unità presenti si rimanda ai lavori di Funiciello et al., 2008.

CENNI STORICI

Per molti secoli le attività estrattive hanno riguardato prevalentemente cave in sottoterraneo, aperte per il reperimento di quei litotipi di natura lapidea che in passato hanno rappresentato un'utile e disponibile fonte di materiale da costruzione (in prevalenza, piroclastiti ed ignimbriti a carattere sia litoide sia pozzolanaceo e rocce laviche). Infatti, la loro diffusa presenza sul territorio urbano ed extra-urbano, unitamente alla notevole coerenza e consistenza, ha consentito agevolmente l'apertura e lo scavo di cunicoli e gallerie al loro interno, anche con mezzi poco evoluti (Fig. 2).

Ciò è testimoniato dall'esteso reticolo di cavità che caratterizza il sottosuolo della città di Roma, la cui distribuzione geografica è direttamente correlabile alla distribuzione areale di tali litotipi (Ferranti e Aniceti, 2007; Gisotti et al., 2005).

Nel recente passato, viceversa, le attività si sono svolte quasi esclusivamente in superficie, mediante la coltivazione di cave a cielo aperto. Ciò grazie anche allo sviluppo di nuove e sempre più moderne tecniche e mezzi di ricerca e di estrazione, che hanno permesso di individuare la risorsa utile anche al di sotto della coltre di terreni superficiali di copertura (suoli, sedimenti recenti, riporti antropici, ecc.), che ora è possibile asportare a costi sostenibili, e talvolta anche essere reimpiegati con varie modalità di riutilizzo e/o recupero.

Considerata la morfologia tipica caratterizzante il territorio dell'area romana, prevalentemente pianeggiante e/o leggermente collinare, le cave a cielo



Figura 3. Schema delle principali tipologie e metodi di coltivazione utilizzati nelle cave a cielo aperto nell'area di studio (da AITEC, 2012)

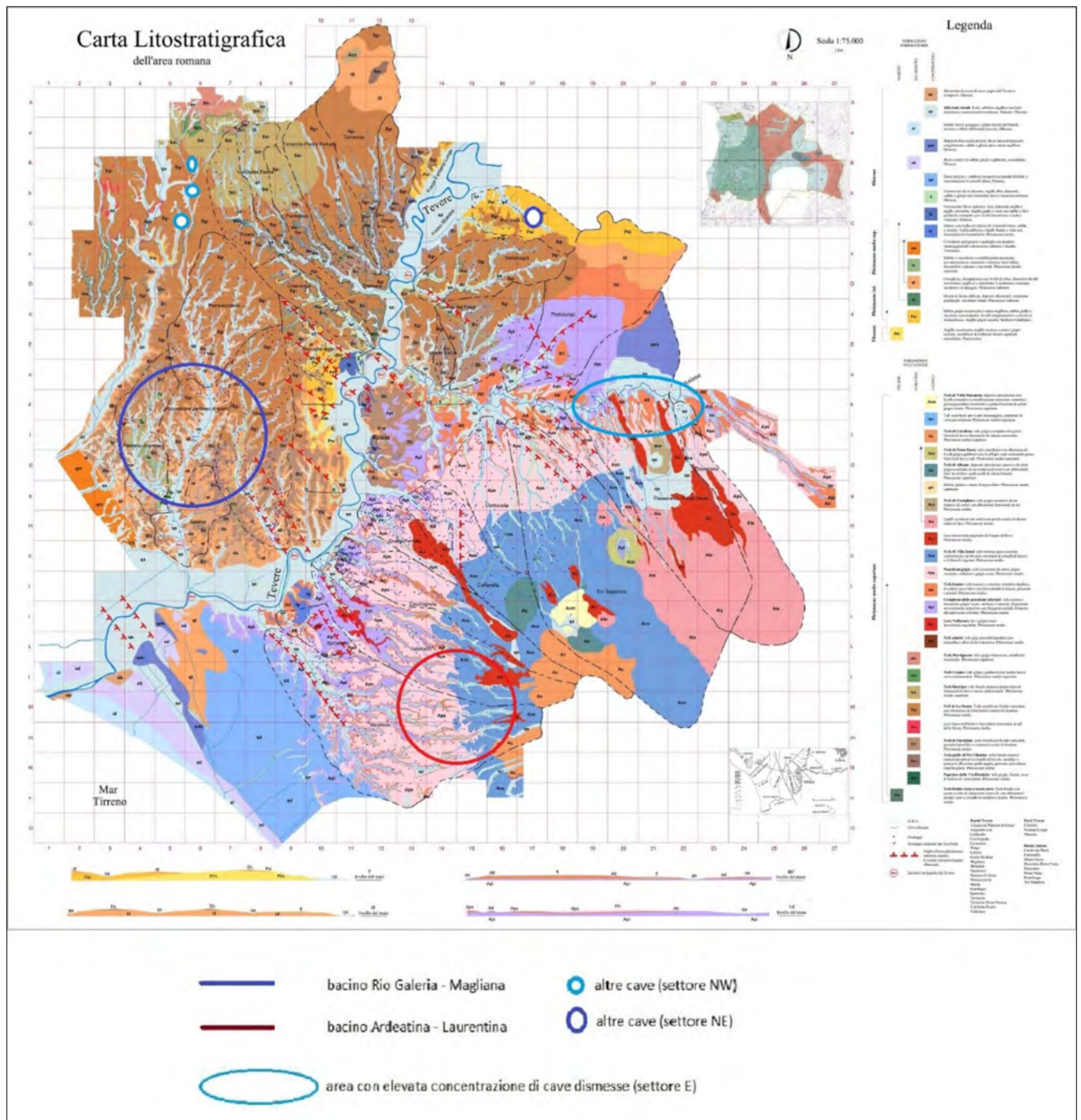


Figura 4. Carta Litostratigrafica dell'area romana (Roma Capitale, 2011) con ubicazione dei due bacini estrattivi censiti dal PRAE, che ne evidenziano la correlazione areale con le principali risorse sfruttabili: formazioni sedimentarie di ambiente costiero/fluviale (Bacino Rio Galeria - Magliana) e formazioni vulcaniche (Bacino Ardeatina - Laurentina)

aperto attive in tempi recenti ed attuali presentano le seguenti caratteristiche (AITEC, 2012):

- tipologia di coltivazione: di pianura "in fossa" / di colle;
- metodologia di coltivazione: a gradone unico / a gradoni / per splatamenti successivi (dall'alto verso il basso) (Fig. 3).

Nella seconda metà del secolo scorso ('900) la crescente richiesta di materiali legata al repentino incremento dei settori edilizio ed infrastrutturale, conseguente alla fase di intenso sviluppo economico verificatosi a partire dal secondo dopoguerra, ha portato a decenni

di intensa attività estrattiva, sviluppatasi per lo più in modo disordinato ed incontrollato (Gisotti, 2008).

Se quindi in passato le attività estrattive avevano interessato diverse zone site nell'immediata periferia a ridosso del centro storico, in tempi relativamente recenti esse, anche a causa dell'espansione urbana, si sono andate via via sviluppando sempre più verso l'esterno del territorio comunale di Roma, secondo una distribuzione areale concentrata soprattutto in alcuni settori preferenziali, situati per lo più al di fuori del Grande Raccordo Anulare, ove la presenza in affioramento o nel sottosuolo di alcuni

litotipi di particolare interesse ha favorito l'apertura indiscriminata di cave a cielo aperto:

- nel settore W (area compresa tra la Via Aurelia e Via della Magliana), caratterizzato dalla presenza di materiali incoerenti di origine sedimentaria sabbioso-ghiaiosi;
- nel settore E (area compresa tra la Via Tiburtina e la Via Prenestina) e nel settore S (area compresa tra la Via Appia Antica e la Via Laurentina), caratterizzati dalla presenza di materiali di natura prevalentemente litoide o semicoerente di origine vulcanica (piroclastiti e lave) (Fig. 4).

EVOLUZIONE NORMATIVA, AMMINISTRATIVA E PIANIFICATORIA

A livello statale le uniche norme che disciplinavano il settore estrattivo sono state, per diversi decenni, i Regi Decreti n. 1443/1927 e n. 1347/1936, recanti norme e provvedimenti per disciplinare la ricerca e la coltivazione delle miniere.

Il settore minerario è stato successivamente regolamentato con D.P.R. n. 382/1994, recante “*Disciplina dei procedimenti di conferimento dei permessi di ricerca e di concessioni di coltivazione di giacimenti minerali di interesse nazionale e di interesse locale*”.

La carenza normativa in materia di cave, perdurata fino alla fine degli anni '70 del secolo scorso, aveva generato una situazione fuori controllo. Infatti, per poter estrarre materiale in aree private non occorre alcuna autorizzazione, ma era sufficiente una semplice comunicazione al Comune ed al Distretto Minerario competente (AA.VV., 2001; Ferranti e Aniceti, 2007).

A questa situazione, a seguito del D.P.R. n. 616/1977, che ha disposto il trasferimento delle funzioni amministrative su cave e torbiere dallo Stato alle Regioni, si è cercato di porre rimedio, a partire dal 1980, mediante l'introduzione di norme di settore a livello regionale (Zanchini e

Nanni, 2021). Nel Lazio, in particolare, sono state emanate le Leggi Regionali n. 1/1980 e n. 27/1993, abrogate e sostituite dalla L.R. 6 dicembre 2004 n. 17, tuttora vigente, anche se più volte modificata ed integrata da successivi atti normativi, da ultimo con L.R. n. 1/2020.

A seguire è stato quindi adottato il relativo regolamento di attuazione, previsto dalla stessa L.R. n. 17/2004 (Regolamento Regionale n. 5/2005), il quale specifica modalità e documentazione richieste per il rilascio delle autorizzazioni.

I principali effetti prodotti dall'introduzione di tale inquadramento disciplinare sono stati i seguenti:

- regolamentazione delle attività estrattive, prevedendo un regime autorizzatorio basato su progetti da approvare (anche in fase transitoria per le attività già in corso), con lo scopo tra l'altro di facilitare le verifiche tecnico-amministrative da parte degli Enti competenti (nel caso di specie il Comune, al quale la legge regionale attribuisce i poteri autorizzatori e di controllo);
- obbligo per gli esercenti di effettuare il recupero ambientale dei siti oggetto di attività estrattiva contestualmente alla fase di coltivazione (scavo);
- obbligo di versare un 'contributo ambientale' ai Comuni ed alle Regioni, da computarsi in euro/m³ sui volumi

estratti annualmente, secondo importi unitari (canoni) stabiliti dalla Regione in base alla tipologia di materiale, da utilizzare a cura degli Enti competenti per la realizzazione di opere ed interventi di tutela ambientale e per il recupero delle cave dismesse;

- previsione di attività pianificatorie da svolgersi a cura degli Enti competenti (Regioni, Province, Comuni) al fine di elaborare a diversi livelli Piani delle Attività Estrattive.

Si è arrivati dunque all'elaborazione del **Piano Regionale delle Attività Estrattive (PRAE)**, approvato con D.C.R. Lazio n. 7/2011. Il Piano, sulla base di una dettagliata fase di analisi e studio a livello territoriale e socio-economico, definisce una stima e la localizzazione delle risorse disponibili, quantificandone il fabbisogno, e fissando una serie di norme e criteri tecnici per lo svolgimento delle attività, al fine di permettere una programmazione ed un conseguente utilizzo razionale delle risorse sul territorio (Fig. 5). In realtà, nelle more dell'approvazione di un piano regionale, il Comune di Roma si era dotato in precedenza di propri strumenti pianificatori, finalizzati a regolamentare le attività concentrate su alcune porzioni di territorio con particolari criticità.

Di particolare evidenza il **Piano Stralcio delle Attività Estrattive (PSAE)** per il bacino estrattivo Rio Galleria-Magliana, adottato con D.C.C. n. 217/1997 e successivamente approvato con D.C.R. n. 529/1999. Tale strumento, tenuto conto del crescente dissesto causato dalle numerose attività nel territorio comunale a W della città di Roma, prevedeva, tra l'altro, l'importante e innovativa prescrizione che il rilascio dell'autorizzazione fosse soggetto all'obbligo, da parte degli esercenti, di impegnarsi ad effettuare il recupero di aree di cave dismesse per un valore equivalente all'importo del 'contributo ambientale' che altrimenti sarebbero stati tenuti a versare per il materiale estratto.

Da segnalare anche il PSAE per il bacino Ardeatina - Laurentina, adottato con D.C.C. n. 81/2003, il cui iter non si è concluso con l'approvazione da parte della Regione Lazio, ma comunque anch'esso successivamente recepito nel PRAE.

Sotto l'aspetto paesaggistico il settore estrattivo era già regolamentato a livello regionale dal Piano Territoriale Paesaggistico Regionale (PTPR), che all'art. 50 delle Norme (nell'edizione del 2007), poi art. 51 (nell'edizione del 2021) definisce i rapporti tra attività estrattive e regime vincolistico.

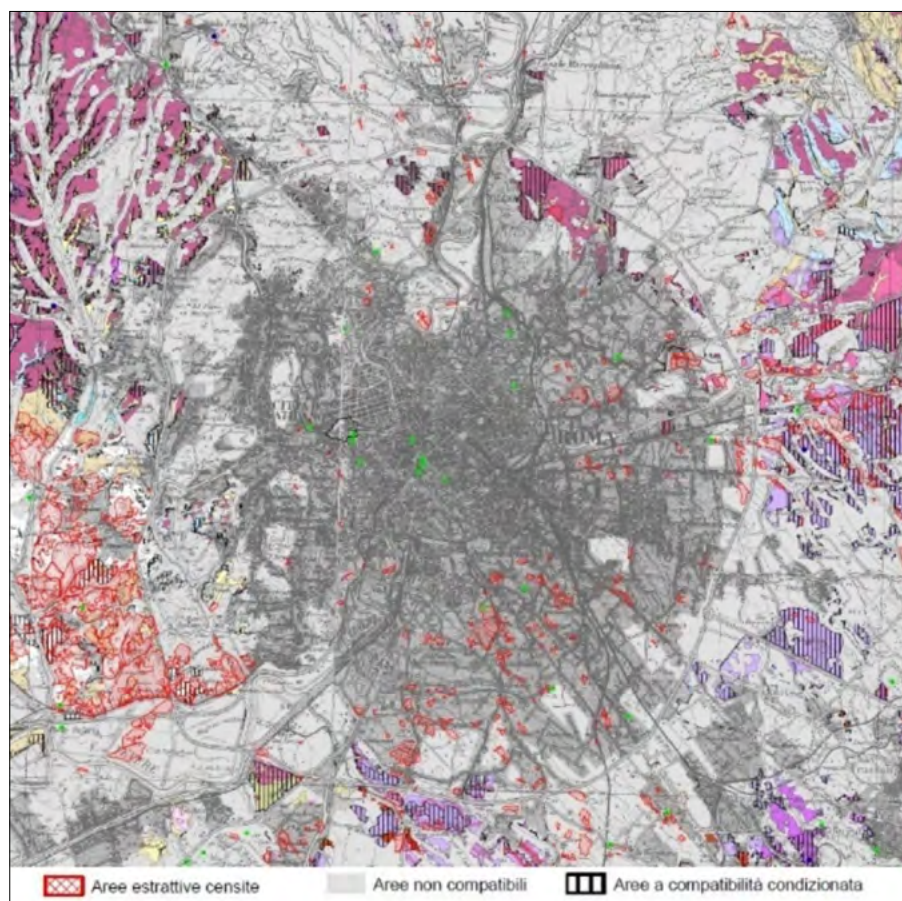


Figura 5. Stralcio di cartografia di pianificazione: Carta delle risorse disponibili (da PRAE Regione Lazio, 2011)

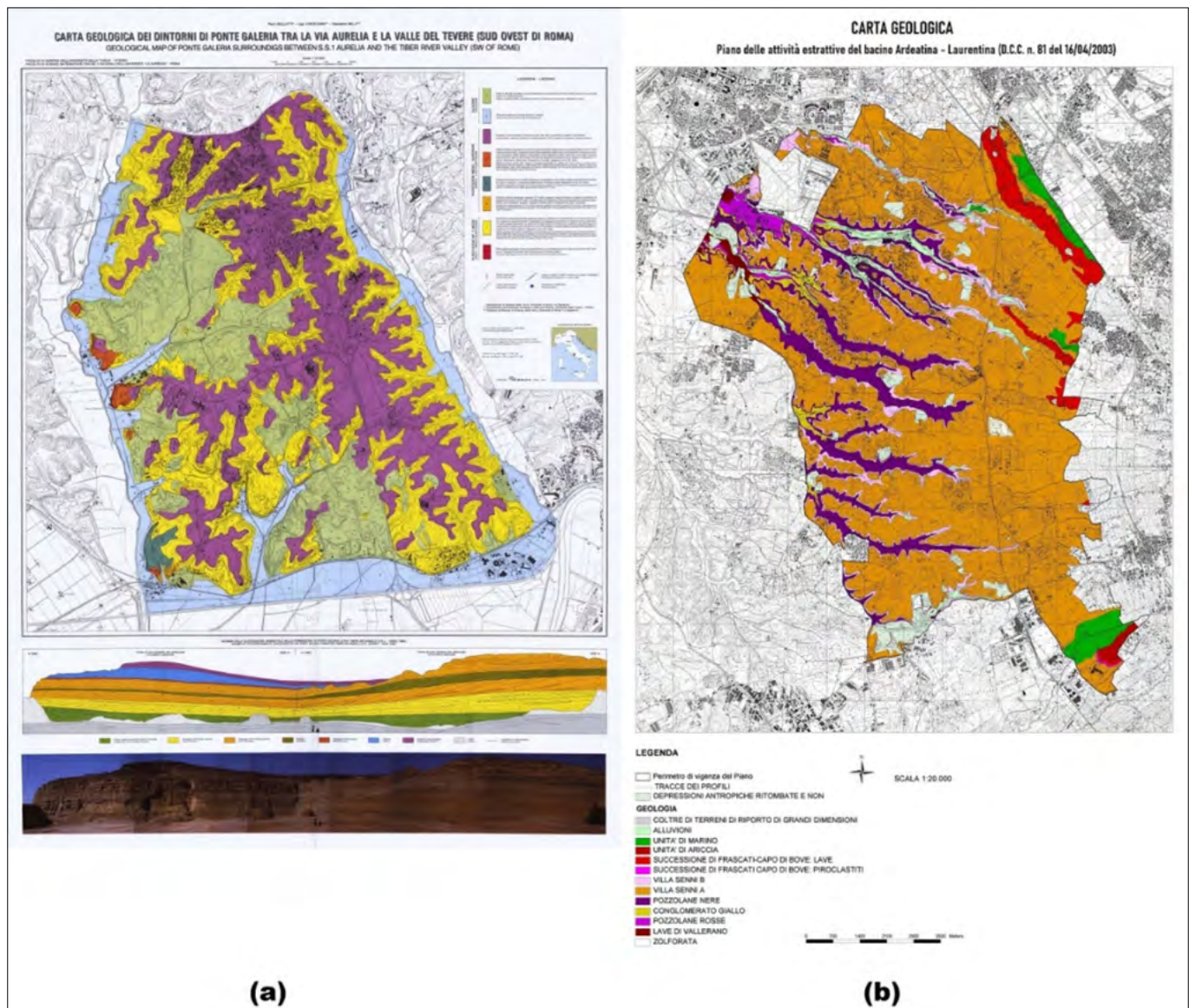


Figura 6. Stralci delle carte geologiche dei bacini estrattivi, con evidenza delle aree di affioramento della Formazione di Ponte Galeria (a) (da Bellotti et al., 1990) e delle unità piroclastiche del Vulcano dei Colli Albani (b) (da PSAE Ardeatina - Laurentina, Roma Capitale, 2003)

Anche a livello comunale il **Nuovo Piano Regolatore Generale** (NPRG) del Comune di Roma (approvato nel 2008 ed attualmente vigente) all'art. 73 delle Norme Tecniche di Attuazione, stabilisce la compatibilità urbanistica delle attività estrattive e le aree in cui ne è consentito l'esercizio.

Entrambi i piani citati (PTPR, NPRG) fanno riferimento al rispetto dei criteri indicati nel PRAE; ciò in quanto, in base alla normativa vigente, gli strumenti aventi efficacia di piani di settore (PRAE, PSAE) sono sovraordinati alla pianificazione urbanistica/territoriale a livello comunale (PRG).

ANALISI DELLA SITUAZIONE ATTUALE ATTIVITÀ IN CORSO E LORO LOCALIZZAZIONE

Attualmente le attività estrattive nel territorio di Roma Capitale si concentrano principalmente nei due poli individuati dal PRAE.

Il bacino estrattivo Rio Galeria-Magliana, situato a W della città di Roma, si estende su un territorio di circa 60 km², e contiene una quantità di risorsa estraibile stimata in circa 80 milioni di m³. Tale bacino rappresenta la zona maggiormente sfruttata negli ultimi decenni; in essa ricadono la maggior parte delle cave attive e delle vecchie cave dismesse.

La risorsa utile è rappresentata dai livelli ghiaioso-sabbiosi presenti nella sequenza sedimentaria pleistocenica della Formazione di Ponte Galeria, la cui area di affioramento è osservabile in Fig. 6 (a) (per ulteriori dettagli si rimanda a Funicello *et al.*, 2008).

I materiali estratti vengono utilizzati prevalentemente per la produzione di conglomerati cementizi, malte, conglomerati bituminosi, o utilizzati per opere stradali o di ingegneria civile, come inerte da calcestruzzi. Il livello di maggior pregio è rappresentato dalle ghiaie di base della Formazione di Ponte Galeria.

Il bacino estrattivo Ardeatina - Laurentina, situato a S della città, si estende su un territorio di circa 68 km², ed è caratterizzato da estrazione di materiali delle unità piroclastiche originate dal Vulcano dei Colli Albani (Tufo Lionato e Pozzolanelle nella Formazione di Villa Senni e Pozzolane Rosse e Nere), nonché delle colate laviche in esse intercalate localmente, le cui aree di affioramento sono osservabili in Fig. 6 (b) (per ulteriori dettagli si rimanda a Funicello *et al.*, 2008). I materiali estratti vengono utilizzati per la preparazione di conglomerati cementizi, malte, conglomerati bituminosi, o utilizzati per opere di ingegneria civile e stradali, oltre che a scopo ornamentale.

Al di fuori dei due principali bacini, si riscontra la presenza di alcune cave attive a NW di Roma, al confine con i comuni di Bracciano e Anguillara Sabazia, dove si estraggono principalmente lave leucitiche (c.d. "basalti") originate dal Distretto Vulcanico Sabatino, e di

Tabella 1. Cave censite in base a dati di bibliografia (vedere anche fig. 4 e fig. 7)

Riferimento bibliografico	Data censimento	N. cave censite	Contesto territoriale
Regione Lazio, 1999 (PSAE)	luglio 1997	28	solo bacino Rio Galeria - Magliana
Ferranti e Aniceti, 2007	marzo 2006	36	intero territorio comunale
Regione Lazio, 2011 (PRAE)	aprile 2007	42	intero territorio comunale
		21	solo bacino Rio Galeria - Magliana
Roma Capitale, 2012	dicembre 2012	14	solo bacino Ardeatina - Laurentina
		20	solo bacino Rio Galeria - Magliana

poche altre attività situate a NE della città, al confine con il comune di Monterotondo, che sfruttano le argille plioceniche affioranti per la produzione di laterizi (Roma Capitale, 2012).

Per reperire altre tipologie litologiche è necessario spostarsi al di fuori del territorio comunale. A poca distanza dalla città di Roma si trovano, ad esempio, le numerose cave di travertino del complesso estrattivo dei comuni di Gui-

donia, Montecelio e Tivoli, che sfruttano i depositi del bacino delle Acque Albule. Alle propaggini dei rilievi carbonatici appenninici, al limite della provincia di Roma (al confine con la Regione Abruzzo) sono invece ubicate alcune cave che sfruttano materiali di natura calcarea, di età più antica, appartenenti alle successioni marine di Piattaforma Carbonatica Laziale-Abruzzese (Corrado *et al.*, 2020).

SINTESI DEI DATI SUL CENSIMENTO DELLE CAVE

Si riportano preliminarmente, per un opportuno confronto, alcuni dati tratti dalla bibliografia, riguardanti il numero di cave presenti sul territorio del Comune di Roma, considerate 'attive' / 'in esercizio' al momento del censimento.

Di seguito si riportano i prospetti, elaborati a partire dai dati aggregati presenti in archivio, pubblicati o in fase di

Tabella 2. Riepilogo generale dei dati sulle cave censite attualmente da Roma Capitale (per l'ubicazione vedere fig. 7)

BACINO ESTRATTIVO	ATTIVITA' ESTRATTIVE			VOLUMI SCAVO (mc)		
	CAVE	STATO	N.	autorizzati	estraibili (da progetto)	%
Rio Galeria - Magliana (Roma W)	autorizzate	attive	18	33.912.659		
		inattive/cessate	12			
	con progetto approvato	attive			1.149.469	59,7%
		inattive/cessate	2			
altre censite	inattive/cessate	8				
Ardeatina - Laurentina (Roma S)	autorizzate	attive	3	9.242.490		
		inattive/cessate				
	con progetto approvato	attive	2		5.159.413	24,5%
		inattive/cessate	1			
altre censite	inattive/cessate	8				
Altre (Roma NW)	autorizzate	attive	3	4.315.793		
		inattive/cessate				
	con progetto approvato	attive				7,4%
		inattive/cessate				
altre censite	inattive/cessate	1				
Altre (Roma NE)	autorizzate	attive	1	4.903.450		
		inattive/cessate				
	con progetto approvato	attive				8,4%
		inattive/cessate				
altre censite	inattive/cessate	1				
Altre (Roma E)	autorizzate	attive				
		inattive/cessate				
	con progetto approvato	attive				
		inattive/cessate				
altre censite	inattive/cessate	1				
TOTALE			61	52.374.392	6.308.882	100,0%

Tabella 3. Volumi estraibili suddivisi per tipologia di materiale

BACINO ESTRATTIVO	MATERIALI ESTRATTI	VOLUMI SCAVO (mc)			
		autorizzati	estraibili (da progetto)	TOT.	%
Rio Galeria - Magliana (Roma W)	sabbia e ghiaia	27.029.430	1.149.469	28.178.899	47,9%
	argilla (<i>Pleistoc.</i>)	276.875		276.875	0,5%
	c.d. 'minerali associati'	6.606.354		6.606.354	11,2%
Ardeatina - Laurentina (Roma S)	pozzolana	8.054.789	5.159.413	13.214.202	22,5%
	tufo	152.233		152.233	0,3%
	lava	1.187.701		1.187.701	2,0%
Altre (Roma NW)	lava leucitica (c.d. 'basalto')	4.315.793		4.315.793	7,3%
Altre (Roma NE)	argilla (<i>Plioc.</i>)	4.903.450		4.903.450	8,3%
Altre (Roma E)					
TOTALE		52.526.625	6.308.882	58.835.507	100,0%

Tabella 4. Distribuzione delle cave per unità amministrativa territoriale (Municipio) (vedere anche fig. 7)

BACINO ESTRATTIVO	ATTIVITÀ ESTRATTIVE				STATO		TOT. CENSITE	%
	MUNICIPIO	MUNICIPIO (<i>vecchia numerazione</i>)	N. CENSITE	%	attive	inattive / cessate		
Rio Galeria - Magliana (Roma W)	XI	<i>ex XV</i>	27	44,3%	15	12	40	65,6%
	XII	<i>ex XVI</i>	6	9,8%		6		
	XIII	<i>ex XVIII</i>	7	11,5%	3	4		
Ardeatina - Laurentina (Roma S)	VIII	<i>ex XI</i>	2	3,3%		2	14	23,0%
	IX	<i>ex XII</i>	12	19,7%	5	7		
Altre (Roma NW)	XIV	<i>ex XLX</i>	1	1,6%	1		4	6,6%
	XV	<i>ex XX</i>	3	4,9%	2	1		
Altre (Roma NE)	III	<i>ex IV</i>	2	3,3%	1	1	2	3,3%
Altre (Roma E)	VI	<i>ex VIII</i>	1	1,6%		1	1	1,6%
TOTALE			61	100,0%	27	34	61	100,0%

pubblicazione, o disponibili in qualità di informazione ambientale presso gli uffici competenti di Roma Capitale. Le cave censite sono quelle 'ufficiali', ovvero autorizzate ad esercitare l'attività estrattiva (mediante rilascio di esplicito atto, ovvero in fase transitoria, ma comunque con progetto approvato).

I provvedimenti di prima approvazione dei progetti o di autorizzazione iniziale, tranne alcune eccezioni più recenti, sono stati tutti rilasciati nel primo decennio degli anni 2000 (periodo 2001-2010).

Non sono state prese in considerazione, anche a causa della difficoltà di reperire vecchi dati di archivio o di cen-

sire sul territorio queste tipologie di siti sono le seguenti:

- cave abusive;
- cave già in esercizio al momento dell'introduzione della normativa regionale, le cui istanze di 'regolarizzazione' sono state rigettate (e quindi i relativi progetti non approvati);
- vecchie cave dismesse e/o cessate prima dell'introduzione della normativa regionale.

ADEMPIMENTI A CURA DEGLI ORGANI COMPETENTI

Regione Lazio. Dopo l'entrata in vigore della legge di riferimento (L.R. n. 17/2004), sono stati emanati nel corso

degli anni importanti atti di adeguamento e aggiornamento, sia attraverso Leggi Regionali di modifica della stessa legge, sia con approvazione di Delibere di Giunta che disciplinano alcuni istituti di carattere tecnico-amministrativo (ad es. determinazione degli importi per il contributo ambientale e le garanzie fidejussorie, ecc.).

Città Metropolitana di Roma Capitale. La L.R. n. 17/2004 stabilisce che "il PRAE assume efficacia giuridica di piano di settore", e che "le province adeguano il piano territoriale provinciale generale (PTPG) sulla base dei criteri contenuti nel PRAE stesso". Inoltre, l'esatta definizione e delimitazione del-

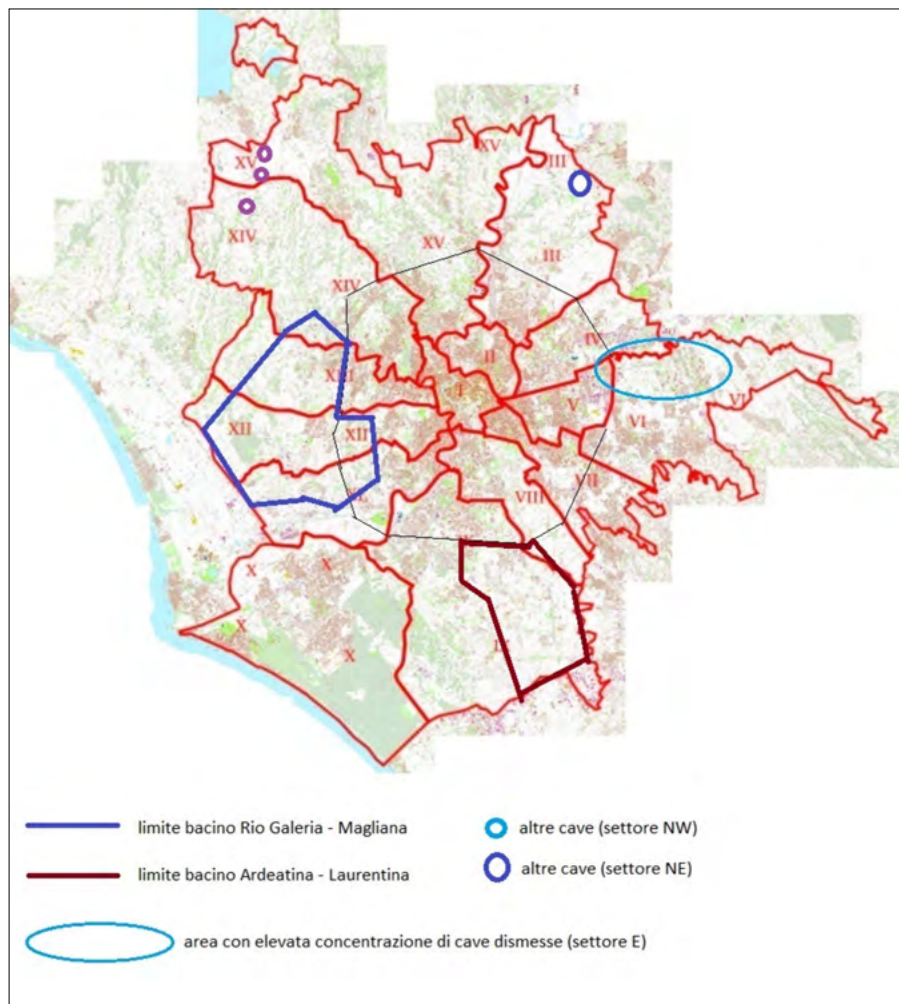


Figura 7. Limiti dei bacini estrattivi e distribuzione delle altre cave censite riferiti ai limiti amministrativi del territorio del Comune di Roma Capitale e dei Municipi

le aree suscettibili di attività estrattiva (Poli Estrattivi) è demandata dal PRAE al Piano Attività Estrattive Provinciali (PAEP), che deve necessariamente confrontarsi con quanto indicato dai Piani Stralcio già elaborati, anche in considerazione dell'individuazione di tali aree quali Poli Regionali. Come diretta conseguenza dell'adeguamento dei Piani di livello provinciale, in fase di continua elaborazione e perfezionamento, il PRAE potrà assumere una valenza anche territoriale, oltre a quella giuridico-normativa già rivestita.

Il Comune di Roma Capitale, oltre ad esercitare i poteri autorizzatori e di controllo sulle attività, attribuiti dalla legislazione regionale, gli uffici competenti curano costantemente alcune attività 'extra-istituzionali', quali l'aggiornamento del censimento e la mappatura cartografica delle attività in corso e cessate (siti dismessi da recuperare), anche attraverso la digitalizzazione degli archivi cartacei e l'organizzazione dei dati acquisiti in sistemi database, GIS, ecc.

CONCLUSIONI

È stata effettuata un'analisi dello stato di fatto delle attività estrattive pre-

senti sul territorio di Roma Capitale, con particolare riferimento al numero di siti ufficialmente censiti ed al loro stato di attività.

Da un confronto tra i dati di bibliografia (Tab. 1) e i dati attuali (Tab. 2-3) emerge che nel complesso, a parte una diminuzione numerica riscontrata nel bacino Rio Galeria - Magliana dagli anni '90 ad oggi (da 28 a 18 cave 'attive'), a partire dal 2006-2007 la situazione appare sostanzialmente stabile nei due principali bacini estrattivi; a livello di intero territorio comunale si nota una leggera diminuzione, passando da 36 a 32 (ma considerando anche le attività 'non attive' si arriva a 61 siti autorizzati o con progetti approvati).

Dal punto di vista della distribuzione territoriale, viene confermata la netta prevalenza di attività nel territorio del bacino Rio Galeria - Magliana, in cui ricadono i Municipi XI, XII e XIII, con oltre il 65% di cave censite e circa il 60% dei volumi di scavo totali. In particolare, gran parte delle attività censite si concentra nel Municipio XI (44,3% dell'intero territorio comunale).

Vi è da dire tuttavia che diverse attività classificate ancora come 'attive'

sono nel frattempo esaurite o in via di conclusione per quanto riguarda l'estrazione di materiale. A tal proposito si sta procedendo a successivi aggiornamenti della situazione, man mano che i dati si rendono disponibili.

Ugualmente, i dati riportati relativi ai quantitativi volumetrici di materiali estraibili (Tab. 2-4) sono in corso di aggiornamento con il computo dei volumi effettivamente estratti e di quelli residui, in modo da rendere possibile un bilancio della quantità di risorsa sfruttata rispetto a quella totale stimata, sia per tipologia di materiale, sia per bacino estrattivo.

PROSPETTIVE E SVILUPPI FUTURI

Le attività estrattive pregresse ed attuali, oltre ad aver apportato modifiche significative all'aspetto del paesaggio di vaste aree circostanti la città di Roma, hanno causato profondi stati di dissesto sul territorio. Le problematiche indotte riguardano molteplici criticità (AA. VV., 2001; Gisotti *et al.*, 2005; La Vigna *et al.*, 2015):

- geotecnico-strutturali (cedimenti, crolli, apertura di cavità e voragini, stabilità di manufatti);
- geomorfologiche (stabilità di versanti, frane, erosione superficiale, dissesti del reticolo idrografico);
- idrogeologiche (alterazione della circolazione delle falde acquifere sotterranee);
- ambientali (consumo di suolo, inquinamento delle acque superficiali e sotterranee).

Di fondamentale importanza è l'attività relativa al ripristino e recupero delle cave dismesse e/o abbandonate presenti sul territorio.

I siti in questione possono rientrare tra le tipologie di vecchie cave mai autorizzate (in quanto cessate prima dell'entrata in vigore della normativa regionale); oppure autorizzate (implicitamente - in via transitoria, o esplicitamente - con atto formale) ma che per vari motivi non sono state recuperate (ad es. per estinzione o fallimento del soggetto esercente); o ancora si può trattare di cave aperte abusivamente.

Roma Capitale è soggetto competente per l'approvazione ed autorizzazione dei progetti di recupero ambientale di ex cave (poteri attribuiti con D.G.C. Roma n. 572/2003, in assenza di altre norme di rango superiore). Presso gli uffici preposti sono in corso, oltre alle attività di 'routine' su progetti di recupero ambientale già in corso o da avviare (istruttorie, controlli, ecc.), anche iniziative 'straor-



Figura 8. Sequenza stratigrafica completa della Formazione di Ponte Galeria visibile su un fronte di scavo in zona Ponte Galeria (Mun. XI) - Bacino estrattivo Rio Galeria Magliana (foto Di Filippo)

dinarie', mediante rilievi e ricognizioni sul territorio, censimenti, aggiornamenti cartografici e organizzazione dei dati raccolti in opportuni sistemi informativi (database, GIS). Tali iniziative sono finalizzate all'aggiornamento della situazione dello stato di fatto su numero e localizzazione dei siti dismessi, dei siti recuperati, in fase di recupero e da recuperare, e dello stato di avanzamento dei relativi progetti, con riguardo ai volumi di materiali movimentati, conferiti e/o da conferire. Da segnalare in particolare il prossimo avvio dell'aggiornamento del 'Piano di recupero complessivo del territorio compreso nel bacino Rio Galeria-Magliana' (approvato con D.G.C. n. 785/2004), contenente tra l'altro il programma dei recuperi prioritari, individuati per le aree degradate censite e caratterizzate in base agli elementi di rischio idrogeologico e agli elementi di programmazione urbanistica, ma ormai superato in quanto elaborato circa un ventennio fa.

Il recupero ambientale dei siti dismessi è una tematica di primaria importanza, sia sotto l'aspetto ambientale e territoriale, sia sotto quello socio-economico: al riguardo è nota l'esistenza di un'ampia bibliografia, alla quale si ri-

manda, che tratta delle numerose possibilità di riutilizzo di tali siti (AITEC, 2012; Boca e Oneto, 1989; Fabbri *et al.*, 2014; ISPRA, 2011; Zanchini e Nanni, 2021). Tra queste si segnala il progetto 'Geogarden', a cui ha partecipato Roma Capitale, che può essere preso come spunto per una possibile valorizzazione dei siti di ex cava a fini culturali e didattici, per la creazione di aree-museo, geositi, ecc. fruibili da studenti e cittadini (Corrado *et al.*, 2020), in particolare ad es. quando le evidenze residuali delle attività pregresse (fronti di scavo, ecc.) permettono l'osservazione diretta della conformazione geologica del sottosuolo, altrimenti non rilevabile (Fig. 8).

BIBLIOGRAFIA/ SITOGRAFIA

- AA.VV. (1986), *Attività estrattiva e difesa del suolo*, Atti convegno, ANIM Associazione Nazionale Ingegneri Minerari, Saint Vincent (AO).
- AA.VV. (2001), *Le cave: materiali, ricerca, progettazione e recupero*, Atti convegno, Ordine Geologi Toscana, S. Miniato (PI).
- AITEC Associazione Italiana Tecnico Economica Cemento (2012), *Linee guida per progettazione, gestione e recupero delle aree estrattive*, www.aitecweb.com/Pubblicazioni.
- ANDIL Assolaterizi (2005), *Secondo Rapporto Ambientale dell'Industria Italiana dei Laterizi*, www.andil.it/index.php/pubblicazioni.html.
- APAT Agenzia per la Protezione dell'Ambiente e per i Servizi Tecnici (2006), *I siti minerari italiani (1870-2006)*, www.isprambiente.gov.it/files/miniere/i-siti-minerari-italiani-1870-2006.
- BELLOTTI P., CHIOCCHINI U., MILLI S. (1990), *Carta Geologica dei dintorni di Ponte Galeria tra la Via Aurelia e la Valle del Tevere (sud ovest di Roma)*, Università della Tuscia - Università La Sapienza, S.E.L.C.A. - Firenze.
- BOCA D., ONETO G. (a cura di) (1989), *Disscariche, cave, miniere ed aree "difficili" o inquinate: progetto, gestione e recupero*, Pirola Editore, Milano.
- CORRADO S., BOLLATI A., FABBRI M., GIOIA C., ADANTI B., CALCAGNI R., DI FILIPPO C., GROSSI F., TONI M. (2020), *Il Geogarden dell'Università Roma Tre: creazione di un prototipo di giardino geologico del Lazio per la divulgazione delle Scienze Geologiche a Roma*, in *Geologia dell'Ambiente* n. 3, SIGEA Società Italiana di Geologia Ambientale.
- DAL RI R. (a cura di) (1991), *La pianificazione delle attività di cava*, Edizioni Delle Autonomie, Roma.
- FABBRI M., LANZINI M., MANCINELLA D., SUCCHIARELLI C. (a cura di) (2014), *I geositi del territorio di Roma Capitale*, supplemento a *Geologia dell'Ambiente* n. 3, SIGEA Società Italiana di Geologia Ambientale.
- FERRANTI N., ANICETI G. (a cura di) (2007), *Attività minerarie della Regione Lazio. Cave nel Lazio*, Regione Lazio, Edizioni Quasar, Roma.
- FUNICIELLO R., GIORDANO G., MATTEI M. (2008), *Carta Geologica del Comune di Roma 1:50.000*, S.E.L.C.A., Firenze.
- FUNICIELLO R., PRATURLON A., GIORDANO G. (a cura di) (2008), *La geologia di Roma. Dal centro storico alla periferia*, Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, Vol. LXXX.
- GISOTTI G., ZARLENGA F. (2004), *Geologia ambientale. Principi e metodi*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- GISOTTI G., PAZZAGLI G., GARBIN F. (a cura di) (2005), *La IV dimensione. Lo spazio sotterraneo di Roma*, supplemento a *Geologia dell'Ambiente* n. 4, SIGEA Società Italiana di Geologia Ambientale.
- GISOTTI G. (2008), *Le cave. Recupero e pianificazione ambientale*, Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- GISOTTI G., GENNARO S. (2013), *Attività estrattiva e sviluppo sostenibile*, in *Quarry & Construction* n. 2.
- ISPRA Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale (2011), *Recupero e valorizzazione delle miniere dismesse: lo stato dell'arte in Italia*, Quaderni - Ambiente e Società n. 3/2011, www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/quaderni.
- LA VIGNA F., BONFÀ I., COPPOLA A.G., CORAZZA A., DI FILIPPO C., FERRI G., MARTELLI S., ROSA C., SUCCHIARELLI C. (2015), *La città di Roma e le sue falde acquifere: dalle criticità, alle opportunità di resilienza urbana*, in *Acque sotterranee* n. 4, Associazione Acque Sotterranee.
- MARRA F., ROSA C. (1995), *Stratigrafia ed assetto geologico dell'area romana*, in: *La geologia di Roma. Il centro storico*. A cura di R. Funicello. Mem. Descr. Della Carta Geol. It. 50, 48-118.
- REGIONE LAZIO (1999), *PSAE Piano stralcio delle Attività Estrattive del bacino Rio Galeria - Magliana nel Comune di Roma*, D.C.R. n. 529 del 10/05/1999.
- REGIONE LAZIO (2011), *PRAE Piano Regionale delle Attività Estrattive*, D.C.R. n. 7 del 20/04/2011.
- ROMA CAPITALE (2003), *PSAE Piano stralcio delle Attività Estrattive del bacino Ardeatina - Laurentina nel Comune di Roma*, D.C.C. n. 81 del 16/04/2003.
- ROMA CAPITALE (2011), *Carta Litostratigrafica dell'area romana*, Dipartimento Tutela Ambientale - Protezione Civile, <https://geoportale.comune.roma.it/catalogo>.
- ROMA CAPITALE (2012), *Relazione sullo stato dell'ambiente. Suolo e sottosuolo*, Dipartimento Tutela Ambientale - Protezione Civile, www.comune.roma.it/PCR/resources/cms/documents/RSA2011_Suolosottosuolo.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1967), *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio n. 150 "Roma" e relative Note illustrative*.
- VENTRIGLIA U. (2002), *Geologia del territorio del Comune di Roma*, Provincia di Roma, geologico.cittametropolitanaroma.it/pubblicazioni/ugo-ventriglia/geologia-del-territorio-del-comune-roma.
- ZANCHINI E., NANNI G. (a cura di) (2021), *Rapporto Cave*, Legambiente.

Geo trekking urbano. Passeggiata tra i geositi della città eterna

Eugenio Di Loreto
Marina Fabbri
Maurizio Lanzini
Carlo Rosa

Sezione Lazio di SIGEA APS
E-mail: lanzin@aconet.it

Urban geotrekking. Walk among the geosites of the eternal city

Parole chiave: Geosito Urbano, Geologia del Centro storico di Roma, Geo trekking
Key words: Urban Geosite; Geology of the historic center of Rome; Geo trekking

ABSTRACT

In 2007, the Lazio Section of SIGEA began the cataloging of geosites in the urban area of Rome. Urban Geosites do not necessarily have a landscape quality and/or scientific value. In a complex ecosystem, such as the urban one, geosites thus defined have a cultural value, representing a “historical memory” of what once was the natural landscape, which deserves to be documented, including how the history and the main monuments of the city of Rome are intimately linked to the geological structure of the area. In this work, the geological characteristics of some of the most significant geosites present along a geo trekking path in the historic center of Rome are described.

PREMESSA

In occasione della giornata conclusiva dell'evento per celebrare i 30 anni di vita della Società Italiana di Geologia Ambientale APS, la Sezione Lazio di SIGEA ha organizzato una escursione a piedi per far conoscere le caratteristiche geologiche ed alcuni dei più significativi Geositi urbani presenti nel centro storico della città Eterna. Il percorso si è sviluppato in 4 tappe, visibili nella mappa di Fig. 1 e di seguito descritte. I partecipanti si sono radunati di fronte all'Arco di Costantino in prossimità del Colosseo (Fig. 2).

TAPPA 1 - IL COLOSSEO

Il Colosseo o Anfiteatro Flavio fu ultimato nell'80 d.C. dall'imperatore Tito Flavio. Il monumento è fatto di blocchi di scorie saldate del vulcano dei Colli Albani (*sperone*) e di travertino di Tivoli, fissato da supporti metallici, un tempo rivestito da lastre di marmo bianco. Le colonne degli archi della Summa Cavea sono fatti di marmo dell'isola di Marmara in Turchia e da altri materiali di pregio.

La morfologia dell'area del Centro storico di Roma era inizialmente costituita da un unico pianoro, inciso in se-



Figura 1. Mappa con l'ubicazione delle 4 tappe dell'itinerario geologico nel centro storico di Roma, da Google Earth.



Figura 2. Momento iniziale dell'escursione, nei pressi del Colosseo

guito dall'erosione dei corsi d'acqua, quali il Tevere con i suoi affluenti. Le acque hanno scavato il piano originario, dando luogo alle valli che oggi separano i colli.

Da un punto di vista morfologico il Colosseo è localizzato nell'ambito della valle del fosso Labicano in un settore dell'alveo ove era presente un laghetto artificiale, creatosi probabilmente per uno sbarramento artificiale (Fig. 3).

Considerando che le prime tracce insediative di età protostorica, individuate sia nella valle che lungo il tracciato della via diretta al Foro, si attestano su profondità che arrivano fino ai 12 m. al di sotto degli attuali, è facile immaginare quanto dovesse essere diverso il paesaggio in origine. Diversi studi condotti nell'area (Funicello, 1995; Funicello & Rovelli, 1998; Funicello *et al.*, 2006), effettua-

ti con dettagliate indagini geofisiche, geologiche e geotecniche, hanno ricostruito l'assetto stratigrafico dei terreni posti subito al di sotto della struttura di fondazione del Colosseo. Sono presenti due tipologie differenti: 1) sul lato Nord, Unità continentali Plioceniche costituite da un'alternanza di livelli di sabbie limose e di sabbie vulcaniche, sovrastante a un'alternanza di ciottoli e argille limose fluviali, sovrapposte a una formazione di argille marine sovra-consolidate e argille marnose; 2) sul lato Sud, da sedimenti fluvio lacustri olocenici disposti lungo l'antico alveo del Fosso Labicano, costituiti da argille limose associate a sabbie e ghiaie (Fig. 4).

Lo spessore della formazione alluvionale è compreso tra 20 e 25 m. Sul lato Sud-Est, ma solo lateralmente alla

fondazione, si rinviene una lente di tufi litoidi che si estende verso Est. Il Colosseo, poggiando in parte sulla formazione alluvionale e in parte sulle unità vulcaniche, potrebbe essere stato sottoposto a scuotimenti sismici di più elevata intensità, che hanno provocato danni al monumento in occasione di passati terremoti. Infatti, il contrasto dell'impedenza sismica tra il bedrock ed i sedimenti non consolidati del Fosso Labicano causarono con il tempo i maggiori danni ed il parziale collasso del muro più esterno del monumento in seguito al sisma di origine appenninica del 1349 d.C. Una conferma diretta del danno prodotto dai terremoti ai monumenti di Roma si ricava dalla testimonianza del Petrarca che si trovava a Roma quando la città fu colpita dal terremoto del 1349, al quale si attribuisce in città una intensità pari all'VIII grado della scala Mercalli-Cancani Sieberg (MCS).

Esiste tuttavia, una ipotesi che i danni siano dovuti al progressivo smantellamento del monumento, che non risulta affatto irrealistica. Il Colosseo, caduto in abbandono per lungo tempo, fu infatti usato come fonte di materiali da costruzione, per la realizzazione della Basilica di San Pietro e anche per edifici civili come Palazzo Barberini. Il severo danneggiamento dell'Anfiteatro Flavio potrebbe essere quindi dovuto anche alle demolizioni di parti delle sue strutture, protrattasi per molti secoli. Demolizioni che avrebbero probabilmente determinato perdite di continuità strutturale. I terremoti successivi avrebbero poi prodotto i dissesti più gravi.

TAPPA 2A - LA COLLINA VELIA E TAPPA 2B - IL FORO ROMANO

La Collina Velia, con il Palatino e il Campidoglio, era uno dei rilievi naturali che sovrastavano l'area dove sarebbe sorto il Foro Romano e confinava a Nord con il quartiere delle *Carinae*. La Collina Velia era compresa nell'antichissima lista del *Septimontium* e la sua cima superava i 40 m sul livello del mare. La collina venne in gran parte sbancata a partire dal 1930 per l'apertura di via dei Fori Imperiali (Fig. 5). La Collina Velia è stata definita come Geosito Urbano Obliterato nel volume "I geositi del territorio di Roma Capitale" (Fabri *et al.*, 2014). Nonostante oggi siano molti a pensare che il taglio della Velia fu effettuato per rendere la strada rettilinea e quindi adatta alle parate militari e alle celebrazioni del regime fascista, i documenti dell'epoca smentiscono quest'idea. Il progetto originario, infatti,

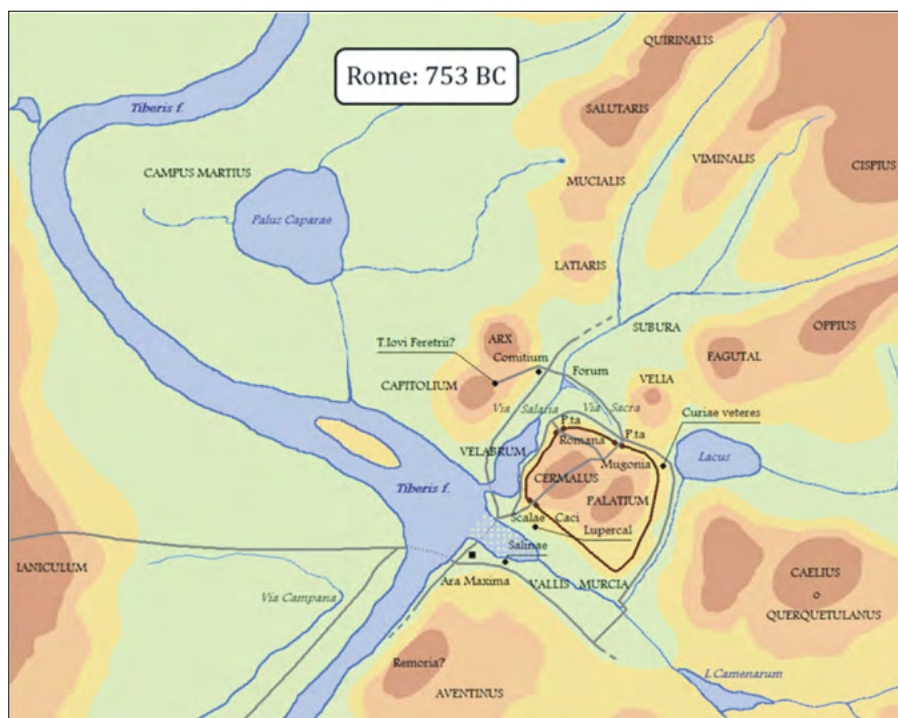


Figura 3. Cartografia con la ricostruzione della morfologia dell'area del nucleo storico di Roma, nell'ambito generale dell'itinerario

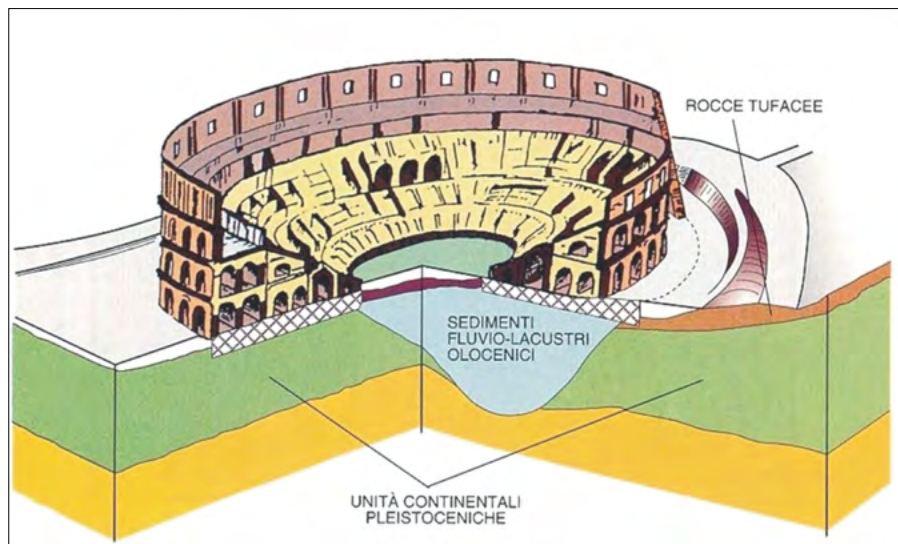


Figura 4. Modello geologico-stratigrafico della localizzazione del Colosseo

ti, prevedeva un tracciato con una curva a gomito all'altezza della Basilica di Massenzio, per poi allontanarsi da essa e riconnettersi alla viabilità alla base del

Colle Oppio; il taglio della Collina Velia non sarebbe stato necessario o sarebbe stato alquanto ridotto. Fu il governatore di Roma, Francesco Boncompagni

Ludovisi, a proporre di rettificare il tracciato, per risparmiare sugli espropri e soprattutto per rendere il Colosseo il traguardo visivo di tutta la strada, cosa che avrebbe accresciuto notevolmente la sua spettacolarità. Antonio Muñoz propose il progetto a Mussolini, che lo approvò. Nonostante la presenza di numerose strutture murarie, pertinenti alla presenza di una ricca domus con affreschi e numerose statue, attualmente conservate nel Museo della Centrale Montemartini, si procedette lo stesso con l'attuazione della variante. I lavori portarono al rinvenimento, poco distante dal Tempio di Venere, di un piccolo altare; furono trovati anche i resti fossili di *Elephas antiquus*, recentemente in mostra ai Mercati Traianei

Ci incamminiamo quindi sulla Via dei Fori Imperiali per conoscere l'evoluzione geologica dell'area del Quirinale-Campidoglio-Fori Imperiali, caratterizzata dalla deposizione di colate piroclastiche, collassi tettonici differenziali e catture fluviali. Visibili in un punto nelle vicinanze del Vittoriano i resti della sella morfologica che collegava anticamente il Campidoglio al Quirinale (Fig. 6).

I resti della Sella tra Campidoglio e Quirinale sono visibili fra strutture murarie del Foro di Cesare, con litologie riferibili alla formazione del Fosso del Torrino (da Delfino e Rosa, 2014, modificato). Questo affioramento è incluso fra i geositi Urbani nell'ambito del Secondo Volume in preparazione (Fig. 7).

Percorriamo quindi la salita che porta al Campidoglio e poi proseguiamo verso la successiva tappa.



Figura 5. Sbancamento della collina Velia nel 1832

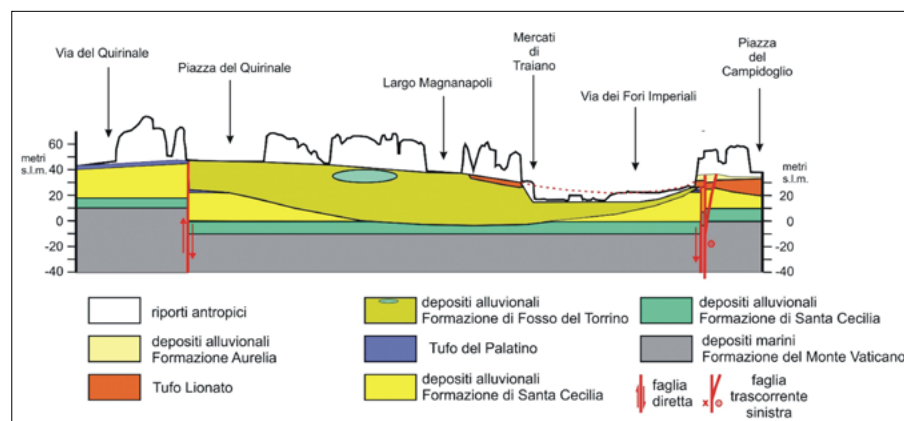
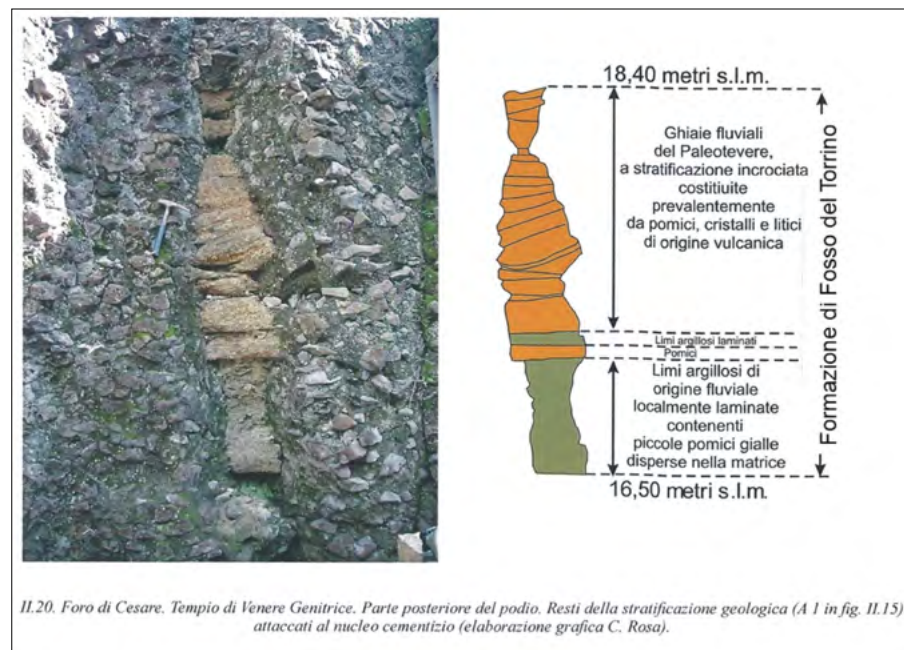


Figura 6. Sezione geologica NE-SO tra Quirinale e Campidoglio (elaborazione e dis. Carlo Rosa)



II.20. Foro di Cesare. Tempio di Venere Genitrice. Parte posteriore del podio. Resti della stratificazione geologica (A 1 in fig. II.15) attaccati al nucleo cementizio (elaborazione grafica C. Rosa).

Figura 7. Affioramento di depositi della Formazione del Fosso del Torrino fra le strutture murarie del Foro di Cesare (da Delfino e Rosa, 2014, modificato)

TAPPA 3 - RUPE TARPEA

Poco prima della stretta scalinata che porta alla Piazza del Campidoglio, di fronte al Museo del Risorgimento, è possibile osservare, alla base di strutture murarie di varia epoca, un piccolo affioramento di Tufo Lionato. Nel Volume i "Geositi del territorio di Roma Capitale" (Fabri *et al.*, 2014) è stato definito come Geosito Urbano di Attenzione (Scheda n. 63).

Il Tufo lionato si presenta massivo e caotico, litoide per effetto della zeolitizzazione, di colore arancione-rossastro ricco in scorie da marroni a grigie di alcuni cm di diametro, e pomice porose. I litici presenti sono costituiti prevalentemente da frammenti lavici; i cristalli sono costituiti in maggioranza da leucite, clinopirosseno e in misura minore da magnetite e biotite. Sono inoltre presenti elementi biancastri di leucite



Figura 8. Il muro del Tabularium costituito dal Lapis Gabinus

analcimizzata. La matrice è costituita da scorie e pomice di piccole dimensioni, cenere, e frammenti di minerali e rocce (da laviche a carbonatiche).

Il Tufo Lionato è una delle rocce da sempre utilizzate per le costruzioni nell'area romana, in quanto litoide ma piuttosto leggero. Anche i fianchi del Campidoglio stesso sono interessati da antiche cave in questo materiale.

Superata Piazza del Campidoglio, scendendo verso Via della Consolazione, possiamo osservare il muro del Tabularium, costruito con grigi blocchi in *Lapis Gabinus* (Fig. 8).

Si tratta di una ignimbrite freatomagmatica prodotta dal centro eruttivo di Castiglione, ubicato lungo la via Prenestina. Oggi la valle di Castiglione è costituita da sedimenti lacustri e ospita i resti dell'antica città albano-latina di Gabii, da cui il nome della roccia. Le cave per l'estrazione e la lavorazione di questo materiale sono distribuite in tutta l'area.

La roccia ha una struttura diversa dal Tufo Lionato, con netta stratificazione di livelli cineritici grossolani con altri formati da lapilli e blocchi.

Le superfici esterne mostrano spesso diffusi fenomeni di erosione differenzia-

le dovuti al diverso grado di cementazione dei singoli strati. Coerente, compatta, di relativamente alta densità, la Pietra Gabina ha buone caratteristiche fisico-meccaniche, ha colore d'insieme scuro, grigiastro, ricchezza in scorie che prevalgono sui frammenti lavici scuri e occasionali sedimentari legati da una matrice vetrosa zeolitizzata a cabasite-phillipsite e talvolta con cemento calcitico. Nota ai Romani per la sua resistenza al fuoco, costituisce le fondamenta e le strutture di importanti monumenti dell'antica Roma, quale lo spettacolare basamento del Tabularium sotto il Campidoglio, parte della Cloaca Maxima, la base della Tomba di Cecilia Metella, le mura perimetrali del Foro di Augusto e molti dei praefurnia delle Terme romane con altri formati da lapilli e blocchi.

Continuando a scendere verso Via della Consolazione, lungo Via di Monte Tarpeo, si cammina tra pareti costituite dal Tufo Lionato. Sono inoltre presenti entrate vecchie cave, richiuse con mattoni costituiti dallo stesso Tufo Lionato.

Il Tufo Lionato costituisce altresì la parete verticale denominata Rupe Tarpea, tristemente famosa così come una leggenda racconta, in quanto durante le

guerre dei Romani contro i Sabini (IV-III secolo a.C.), una giovane donna di nome Tarpea, mentre i soldati romani stavano riposando, aprì le porte della città al nemico che poté entrare indisturbato. Quando il tradimento fu scoperto i Romani gettarono la fanciulla giù dalla rupe che da allora porta il suo nome.

Con Determinazione del Direttore del Dipartimento Territorio della Regione Lazio n. B4477 del 27 novembre 2008, la Rupe tarpea è stata inclusa fra i 70 geositi classificati come "siti geologici di importanza regionale" (Scheda RM25). Nel Volume i "Geositi del territorio di Roma Capitale" (Fabbri *et al.*, 2014) la Rupe Tarpea è stata quindi definita come Geosito Urbano Vincolato (Scheda 22).

La rupe ha un'altezza media di circa 20 m e fa parte di un più ampio affioramento che borda gran parte del Campidoglio e si estende fino all'interno dell'area del Foro Romano.

Alla base dell'affioramento è visibile un deposito grigio, da colata piroclastica a carattere freatomagmatico, a matrice cineritica con scheletro composto prevalentemente da scorie grigie, litici lavici, cristalli di analcime e pirosseni e



Figura 9. Affioramento lungo il bordo del colle del Campidoglio, in prossimità del Foro Romano. E' visibile la superficie erosiva, che taglia le unità Piroclastiche del Palatino e di Casale del Cavaliere, al cui interno si è depositato il Tufo Lionato

accretionary lapilli: l'unità del Palatino. Alla base l'unità mostra tracce di tronchi e clasti fluviali presi in carico dal flusso piroclastico. Al di sopra dell'unità del Palatino, e separato da questa da un paleosuolo, è possibile osservare un deposito grigio formato per circa il 90% da matrice cineritica, con scheletro composto da scorie grigie, litici lavici, cristalli di analcime e pirosseno: l'unità di Casale del Cavaliere. Una evidente superficie di erosione taglia le due unità, modellando una paleo morfologia su cui si è adagiato il Tufo Lionato (Fig. 9).

Procedendo verso sud-ovest è possibile vedere la base della successione, costituita da sabbie e conglomerati relativi alla sedimentazione del Fiume Tevere prima dell'inizio dell'attività vulcanica albana, circa 600.000 anni fa: la formazione del Fosso della Crescenza. L'unità del Palatino è inoltre interessata in questo settore da una superficie erosiva al cui interno sono presenti dei depositi prevalentemente sabbiosi appartenenti alla formazione di Valle Giulia, depositi intorno a 530.000 anni (Fig. 10). Al di sopra di questi terreni sedimentari

sono presenti i prodotti piroclastici del Tufo lionato. Al tetto infine si possono osservare depositi ghiaioso-sabbioso-argillosi di ambiente fluvio-palustre relativi alla formazione Aurelia (De Rita e Fabbri, 2009).

Lasciamo alle spalle il rilievo della Rupe Tarpea e ci incamminiamo verso la Piana del Campo Marzio, dove si sviluppava una vasta zona paludosa, il "Velabro", alla base dei colli Campidoglio, Palatino e Aventino, poco a ovest della quale, fu costruito l'antico stadio romano Circo Massimo, in una valle a fondo piano, su depositi alluvionali olocenici. Era la cosiddetta "Valle Murcia" o valle del *Velabrum Maius*, affluente di sinistra del Tevere (Fig. 3). Costeggiamo la salita vicino alla chiesa di San Nicola in Carcere e arriviamo quindi sul Lungotevere. Fatti pochi metri sulla sinistra attraversiamo il Ponte Fabricio e ci troviamo all'interno dell'Isola Tiberina.

TAPPA 4 - ISOLA TIBERINA

L'isola Tiberina (conosciuta nel passato anche come *Insula Tiberis*, *Insula Aesculapi*, *Isola dei due Ponti*) può esse-

re identificata come geosito urbano in quanto è un raro e affascinante esempio di isola fluviale lungo l'asse urbano di un fiume italiano (UNIROMA1). Il valore del geosito è accresciuto dall'importante ruolo che l'Isola ha svolto nei secoli, per lo sviluppo della città di Roma, in quanto ha rappresentato un punto relativamente agevole di attraversamento del Tevere (Gisotti, 2016), a partire dalla costruzione dei due ponti, Fabricio e Cestio, che la collegano ancora oggi alle due rive del Tevere. Successivamente alla costruzione dei ponti era consuetudine dare il nome del magistrato che l'aveva fatto erigere o degli imperatori che li avevano costruiti o restaurati (D'Onofrio, 1980). Il ponte Fabricio, è il più antico dei due, e si trova nella sponda sinistra del Tevere di fronte al Ghetto (Fig. 11).

Deve il suo nome al *curator viarum* L. Fabricius che lo fece costruire nel 62 a.C.. Fu poi restaurato varie volte nel corso dei secoli. È conosciuto anche come il ponte dei Quattro Capi perché secondo una leggenda, il Papa Sisto V incaricò del restauro quattro architetti che per questioni futili vennero alle mani. Questi al termine del lavoro furono fatti decapitare dal Papa e in ricordo della loro opera fu posto, sulle balaustrate all'inizio del ponte, un piccolo monumento con quattro facce. Il ponte Cestio fu edificato tra il 46 e il 44 a.C da Lucio Cestio, per collegare la riva destra del Tevere e l'Isola. E' noto anche come ponte Graziano in onore dell'Imperatore che lo fece completamente ricostruire nel 370 d.C.. Fu smontato e restaurato, nel 1899, in seguito alla costruzione dei muraglioni del Tevere. Venne preservata l'arcata centrale, utilizzando in parte il rivestimento lapideo del vecchio ponte. Attualmente, il ponte è lungo circa 76 m ed è costituito da tre grandi arcate, rivestite in travertino, ad esclusione dei sottarchi, il cui paramento è in peperino dei Colli Albani (Fig. 12).

La sagoma dell'Isola Tiberina ha la singolare forma di imbarcazione, lunga 300 m, circa e larga, nella sezione più estesa, 80 m, circa. Nel corso dei millenni la forma dell'isola è stata periodicamente modificata da eventi naturali (le piene e le correnti fluviali) che provocavano interimenti ed erosioni, e da interventi antropici. Secondo un'antica leggenda l'isola si sarebbe formata nell'estate del 509 a.C., dopo la cacciata del Re Tarquinio il Superbo, perché vennero gettate dalla popolazione in quel punto del fiume, i fasci di grano mietuto a Campo Marzio, di proprietà del Sovrano (Bencivenga, Di Loreto, & Liperi, 1995). Co-



Figura 10. La Rupe Tarpea, con indicata la successione stratigrafica dei terreni di natura sedimentaria fluvio-palustre, intercalati dai prodotti dell'attività vulcanica dei Colli Albani



Figura 11. Ponte Fabricio, posto tra la riva sinistra del Tevere e l'Isola Tiberina. E' lungo circa 57 metri ed è costituito da due arcate, inframmezzate da una grossa pila nella quale si apre l'arco di piena.

me conseguenza del graduale processo sedimentario di fango e di detriti fluviali sulle riserve di grano dei Tarquini, in quel punto del letto del Tevere si creò l'isola che divenne poi sacra, con la realizzazione di molti templi dedicati a varie divinità, tra cui il tempio di Esculapio, il Dio greco della medicina. Il Tempio di Esculapio sorse nella parte meridionale dell'isola, nel luogo oggi occupato dalla chiesa di San Bartolomeo. Ai lati del tempio si trovava un portico per l'accoglienza dei pellegrini e soprattutto dei malati. Questi venivano ospitati nel tempio in attesa della guarigione miracolosa da parte di Esculapio. La scoperta di una fonte d'acqua ritenuta salutare, favorì di nuovo nel 1548 la destinazione a luogo di cura dell'isola, con la costruzione del primo nucleo dell'Ospedale Fatebenefratelli

e tutta l'area venne adibita a lazzaretto durante la peste del 1656 (Guaneri & Nisio, 2021).

Al di là dei miti e delle leggende l'origine dell'isola è probabilmente legata a fenomeni geomorfologici, sedimentari e tettonici. La genesi dell'Isola Tiberina in questa posizione è spiegata dalla presenza di una linea di debolezza tettonica nella confluenza ad angolo piatto e controcorrente del *Velabrum Maius*, affluente di sinistra del Tevere. Il tratto rettilineo del fiume a monte dell'ansa su cui sorge l'Isola è infatti orientato in continuità con la Valle Murcia o valle del *Velabrum Maius*, dove sorge ora il circo Massimo (Fig. 3). La presenza di questo elemento strutturale, ostacolava il trasporto solido del Tevere, favorì la genesi di una barra fluviale per perdita di competenza dei

sedimenti del fiume, dovuta alla brusca diminuzione di velocità. In questa tipologia di barre a losanga prevalgono in superficie i sedimenti più fini che agevolano lo sviluppo di una copertura vegetale che, a sua volta attraverso l'intercettazione di materiale, contribuisce ad accrescere e stabilizzare la barra trasformandola in isola, aumentando la resistenza al moto e diminuendo quindi la velocità del flusso su di essa, favorendo in tal modo l'ulteriore deposizione di sedimento fine (Lenzi *et al.*, 2000). Nel tempo l'accrescimento della barra ha generato l'isola: i sondaggi geognostici sull'Isola Tiberina confermano la costituzione dell'isola di sedimenti fluviali, nello specifico sabbie, ghiaie, sabbie argillose ed argille. Il sondaggio più profondo eseguito presso il ponte Fabricio, ha rilevato fino ad una profondità di 26,40 m, depositi alluvionali costituiti da sabbie e ghiaie (Clerici, 1911).

L'isola, come tante altre parti della città, fu interessata nei secoli da catastrofiche inondazioni del Tevere tramandate da numerosi autori Latini, o riferite da cronache di scrittori contemporanei, e poi riprese da diversi studi scientifici (Frosini, 1977; Remedina *et al.*, 1998; Bencivenga, Di Loreto & Liperi, 1999; Bersani & Bencivenga, 2001). Le Piene del Fiume erano principalmente dovute alle abbondanti precipitazioni, lungo tutto il bacino idrografico. Lo sviluppo edilizio lungo l'ansa del Tevere rappresentava una delle cause concomitanti: la presenza di case e palazzi a picco sulle rive del fiume provocava infatti il restringimento dell'alveo (Funicello *et al.*, 2006). Oltre a questi fattori, ne sono citati altri



Figura 12. Escursionisti passeggiano lungo le banchine situate nella parte destra dell'isola Tiberina. E' visibile una delle tre arcate del Ponte Cestio, rivestita in travertino, ad esclusione dei sottarchi, il cui paramento è in peperino dei Colli Albani

di natura antropica come l'irregolarità della sezione dell'alveo, il notevole numero di mulini galleggianti e gli scarichi di immondizie che, trattenendo le acque ne favorivano lo straripamento. Molti eventi alluvionali hanno recato numerose vittime, feriti e danni ingenti a diversi monumenti dell'Urbe. La più disastrosa alluvione del Tevere è quella che si verificò il 24 Dicembre del 1598. Le acque raggiunsero il massimo livello storico di 19,56 m a Ripetta, sommergendo quasi tutta la città, provocando estesi allagamenti. Al Pantheon e a piazza Navona le acque arrivarono ad un'altezza di cinque metri. Ci furono più di un migliaio di vittime e feriti. In tale circostanza crollarono palazzi e numerose case del rione Borgo e molte case dell'isola Tiberina furono travolte dalle acque e sommerse da metri di fango. Nove mulini, installati lungo il corso d'acqua, furono distrutti dalla corrente del Tevere; merci, mobili e persino i cadaveri, furono trascinati via dalla furia del fiume. Fu in questa circostanza che crollarono tre delle sei arcate del Ponte Senatorio, che aveva già subito danni dalle piene del fiume durante precedenti inondazioni. Il ponte dopo la distruttiva alluvione del 1598 non fu più ricostruito, e così fu ribattezzato dai Romani «Ponte Rotto» (Di Loreto & Bersani, 2021). I ruderi del ponte sono ben visibili affacciandosi dal lato sud dell'Isola Tiberina.

Altre testimonianze di questi tragici eventi le ritroviamo su diversi edifici della città si ritrovano ancora lapidi in marmo sulle quali venivano riportati i livelli raggiunti dalle acque durante le inondazioni del Tevere, la data dell'evento ed una loro descrizione (Di Martino V., Di Martino R. & Belati M., 2017; Di Loreto & Bersani, 2021). Anche negli edifici dell'isola Tiberina possiamo osservare alcune lapidi. All'ingresso del pronto soccorso dell'Ospedale Fatebenefratelli è visibile la lapide della piena del 1937. Mentre sul fianco dx della Chiesa di San Bartolomeo all'Isola è posta la lapide dell'alluvione del 1870, che danneggiò tutti i banchi ed alcune strutture della Chiesa. In seguito all'alluvione del 1870 il neonato Regno d'Italia decise di intraprendere delle opere di sistemazione definitiva dell'alveo del Tevere, con la costruzione dei Muraglioni avvenuta intorno all'inizio del 1900. Sul ramo destro e sinistro del Tevere intorno all'isola vennero realizzati, in diversi anni, delle soglie con la funzione di bilanciare i flussi delle acque e con lo scopo di limitare l'erosione del fondo del fiume. Il pericolo delle inondazioni

è oggi molto ridotto, per la presenza dei muraglioni urbani. Per la propria difesa, Roma fa oggi affidamento su dighe e serbatoi di laminazione (D'Angelis, 2019), realizzati a monte della città, con sistemi di scarico in caso di allerta. Tuttavia, non può considerarsi del tutto eliminato, come in occasione della piena del novembre 2012 dove si allagarono i sotterranei dell'ospedale Fatebenefratelli sull'Isola Tiberina, e venne chiuso per precauzione il pronto soccorso.

Passeggiando lungo gli argini intorno all'isola sulle rive del Tevere, scendendo dalle scalinate che si trovano all'inizio del ponte, sia dal lato della Basilica che da quello dell'ospedale, possiamo notare la pavimentazione realizzata in blocchi di travertino, pietra ornamentale conosciuta come "lapis tiburtinus", riferita alla denominazione della zona di estrazione nell'area di Tivoli. Nella prima metà del I secolo a.C. tutti i lati dell'Isola furono rivestiti con blocchi di travertino, modificandone l'aspetto a forma di una nave. Alcune parti della sagoma della nave sono osservabili, sotto alle costruzioni del lato sud-est dell'isola: la poppa con un timone, nonché il simbolo di Esculapio, il caduceo con un serpente intrecciato, oltre ad alcune teste leonine per ancorare le imbarcazioni.

L'isola Tiberina è uno dei luoghi caratteristici e incantevoli che è possibile visitare, all'interno della città che custodisce una serie di particolarità anche geologiche che la rendono davvero unica.

BIBLIOGRAFIA

- BENCIVENGA M., DI LORETO E. & LIPERI L. (1995), "Il regime idrologico del Tevere, con particolare riguardo alle piene nella città di Roma". Mem. Descr. Carta Geol. D'It, 50.
- BENCIVENGA M., DI LORETO E. & LIPERI L. (1999), "Piene storiche del Tevere a Roma." L'acqua, Rivista dell'Associazione Idrotecnica Italiana. n. 3.
- CLERICI E. (1911), "Una trivellazione eseguita nel Tevere in Roma al Ponte Fabricio". Rend. R. Accad. Lincei, 1911.
- BERSANI P. & BENCIVENGA M. (2001), "Le piene del Tevere a Roma dal V secolo a.C. all'anno 2000". Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato, Roma.
- D'ANGELIS E. (2019), "Tevere nostrum. Acqua, storia, natura, cultura". Edizioni Polistampa. Firenze.
- DE ANGELIS D'OSSAT G. (1932), "Prime notizie sui fossili rinvenuti fra la Basilica Costantiniana ed il Colosseo, Atti P. Acc. Sc. Nuovi Lincei, n. 85, Roma, 1932.
- DE ANGELIS & D'OSSAT (1956), *Geologia del Colle Palatino in Roma*, Mem. Descr. della Carta Geol. d'It., Vol. XXXII.
- DELFINO A. & ROSA C. (2014), *Il Forum Iulium. L'area del foro di Cesare alla luce delle campagne di scavo 2005-2008, Le fasi*

arcaica, repubblicana e cesariano-augustea. BAR International Series 2607, ed. Archaeopress, Oxford.

- DE RITA D. & FABBRI M. (2009), "The Rupe Tarpea: the role of the Geology in one of the most important monuments of Roma. Mem. Descr. Carta Geol. It. N° LXXXVII: 53-62.
- DI LORETO E. & BERSANI P. (2021), "Le alluvioni storiche del Tevere a Roma, nella memoria delle lapidi e dei dipinti. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., 108, pp. 209-220;
- DI MARTINO V., DI MARTINO R. & BELATI M. (2017), "Huc Tiber ascendit. Le memorie delle inondazioni del Tevere a Roma". Arbor Sapientiae Editore. Roma.
- D'ONOFRIO C. (1980), "Il Tevere, l'isola tiberina, le inondazioni, i molini, i porti, le rive, i muraglioni, i ponti di Roma". Romana Società Editrice.
- FABBRI M. & LANZINI M., (2009), *Geositi Urbani, memoria storica del paesaggio naturale e delle trasformazioni antropiche: il caso di Roma*, Convegno: "Dal censimento al repertorio nazionale dei geositi. Esperienze a confronto", 4 Giugno 2009, ISPRA Auditorium - Roma.
- FABBRI M., LANZINI M., MANCINELLA D. & SUCCHIARELLI C. (2014), *I Geositi Urbani, del territorio di Roma Capitale.* Società Italiana di Geologia Ambientale. Sez. Lazio. pp. 169.
- FROSINI P. (1977), "Il Tevere. Le inondazioni di Roma e i provvedimenti presi dal Governo italiano per evitarle". Accademia Nazionale dei Lincei, vol. XIII, Roma.
- FUNICIELLO R. (1995), "La geologia di Roma. Il centro Storico", Mem. Descr. Carta Geol. d'It, Volume L, 1995.
- FUNICIELLO R. & ROVELLI A. (1998), "Terremoti e monumenti di Roma", Le Scienze n. 157, 1998.
- FUNICIELLO R., HEIKEN G., DE RITA D. & PAROTTO M., (2006), "I setti colli. Guida geologica a una Roma mai vista". Raffaello Cortina Editore. Milano, 2006.
- FUNICIELLO R., (2008), "La geologia di Roma. Dal Centro Storico alla periferia", Mem. Descr. Carta Geol. d'It, Volume LXXX, 2008.
- GISOTTI G., (2016), "Roma e il suo fiume, evoluzione di un rapporto complesso" in Atti della Società dei naturalisti e matematici di Modena.
- GUARNERI E.M. & NISIO S. (2021), "Le isole tiberine: storie di inondazioni, rappresentazioni topografiche e artistiche". Mem. Descr. Carta Geol. It., 108, pp. 233-246.
- LENZI M.A., D'AGOSTINO V. & SONDA D. (2000), "Ricostruzione morfologica e recupero ambientale dei torrenti". Editoriale Bios Cosenza.
- REMEDIA G., ALESSANDRONI M.G., & MANGIANTI F. (1998), "Le piene eccezionali del fiume Tevere a Ripetta." Università degli Studi di L'Aquila, Dipartimento Ingegneria delle Strutture, delle Acque e del terreno.

SITOGRAFIA

- UNIROMA1: https://iris.uniroma1.it/retrieve/handle/11573/918338/329151/AllegatoIV_Schede_Censimento_geositi_Roma.pdf

Il Lago di Bracciano come infrastruttura naturale (Lazio, Italia)

Lake Bracciano as a natural infrastructure (Lazio, Italy)

Luca Maria Falconi^{1*}, Alessandro Mecali², Fabio Musmeci¹, Marco Proposito¹, Sara Taviani²

¹ ENEA - Dipartimento Sostenibilità dei Sistemi Produttivi e Territoriali, Centro Ricerche Casaccia, Roma, Italia

² Idrogeologo libero professionista, Roma, Italia

E-mail: luca.falconi@enea.it

Parole chiave: Infrastruttura naturale, monitoraggio, Sistema di Supporto alle Decisioni (DSS), Lago di Bracciano, Lazio

Key words: natural infrastructure, monitoring, DSS, Lake Bracciano, Lazio

ABSTRACT

A lake exhibits the typical characteristics of a natural blue green infrastructure, providing a wide range of ecosystem services in both rural and urban contexts. Therefore, the sustainable management of water resources related to lake basins is an indispensable measure and a challenge for both local public administration and private companies.

The article discusses a monitoring and analysis activity undertaken with the aim of promoting a sustainable management path for the Bracciano lake hydrogeological system. In detail, through the System Dynamics approach a simulation model was implemented using a public hydro-meteorological and socio-economic dataset ranging from 1970 to 2019, following the multi-step path of trial, error and redoing. In addition, the dataset data were supplemented with continuous direct measurements of the lake level since 2017 and periodic measurement campaigns in wells and creeks around the lake.

Trying to address the demand of public administration for straightforward tools to define sustainable water resource management strategies, the paper provides a description of the preliminary quali-quantitative result of a water balance model, calibrated with historical data. The model shows an un-negligible leakage condition from the lake and a significative water level decreasing trend over the last fifty years. The authors highlight the importance of enhance the monitoring network of the entire Sabatino lake-aquifer system to enhance the reliability of the mass-balance studies results.

INTRODUZIONE

I laghi, in particolare quelli naturali, svolgono un duplice ruolo, legato sia agli habitat che ospitano, sia alle diverse attività antropiche che si compiono nel territorio circostante. Oltre a favorire la biodiversità, i laghi rappresentano spazi

ricreativi e di promozione del benessere, contribuiscono alla mitigazione del rischio idraulico e degli eventi climatici estremi, partecipano al ristabilimento della qualità delle matrici ambientali e costituiscono una risorsa indispensabile per diversi tipi di attività produttive come la produzione di energia idroelettrica, l'agricoltura, la pesca, il turismo e l'approvvigionamento idropotabile. Un sistema lacustre possiede tutte le caratteristiche tipiche di un'infrastruttura naturale, verde-blu (EU EC, 2013), in grado di fornire un'ampia gamma di servizi ecosistemici, in contesti sia rurali, sia urbani. La gestione sostenibile delle risorse idriche legate ai bacini lacustri rappresenta, pertanto, una misura indispensabile e una sfida per le amministrazioni locali e centrali dello Stato e per le imprese del territorio.

I più recenti studi sugli scenari climatici attesi nel prossimo futuro per l'area mediterranea suggeriscono di non sottovalutare l'ipotesi di un aumento della frequenza e della persistenza di episodi siccitosi severi, con anomalie di precipitazione negative anche per più anni consecutivi (MedECC, 2020). Le dinamiche climatiche di breve e medio termine costituiscono i driver principali del ciclo idrologico dei sistemi lacustri. La prospettiva potenziale è che una repentina variazione delle caratteristiche dei relativi habitat riduca ulteriormente biodiversità e qualità ecologica e, conseguentemente, anche la capacità di fornire servizi ecosistemici (Woolway *et al.*, 2022).

Al pari di una qualsiasi infrastruttura antropica, come un ponte o una ferrovia, anche la gestione di una infrastruttura naturale richiede necessariamente la conoscenza delle sue caratteristiche strutturali, l'osservazione delle trasformazioni, la predisposizione di un quadro previsionale e l'esecuzione di interventi di manutenzione per fronteggiare le criticità che emergono nel tempo.

Nello specifico di un bacino lacustre, sono elementi indispensabili la co-

noscenza delle componenti del sistema lago-acquifero e il monitoraggio degli indicatori chimico-fisici e bio-ecologici che lo caratterizzano. L'approfondimento della conoscenza ottenuto con gli strumenti analitici e con il monitoraggio periodico non sempre è sfruttato al meglio per interpretare la complessità dei sistemi e produrre scenari previsionali basati sui cambiamenti climatici e sulle differenti possibilità di utilizzo della risorsa.

L'incompletezza del quadro analitico può da un lato pregiudicare la razionalità delle misure gestionali e dall'altro ridurre l'adesione da parte della cittadinanza. L'articolo intende descrivere alcune iniziative di monitoraggio e analisi intraprese con l'obiettivo di contribuire a promuovere un percorso di gestione sostenibile del sistema lacustre del lago di Bracciano.

CONTESTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGIA

Il lago di Bracciano (Lazio, Italia), originariamente chiamato lago Sabatino, si trova circa 30 km a NO di Roma. Due km a E, e in posizione sensibilmente più elevata, si trova il piccolo lago di Martignano. Dal 1990 entrambi i laghi sono inseriti all'interno del territorio dell'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano (*Fig. 1*).

I litotipi prevalenti sono tufi e pozzolane del Distretto Vulcanico Sabatino (*Fig. 2*), emessi durante il Pleistocene medio dall'attività eruttiva di un sistema multicentrico che ha obliterato i depositi sedimentari sottostanti del Pleistocene inferiore (De Rita *et al.*, 1996). L'area è parte dell'Unità Idrogeologica Sabatina (Capelli *et al.*, 2005; Manca *et al.*, 2017), confinante a E e a S con i depositi sedimentari continentali del fiume Tevere, a N con i depositi vulcanici Vicani e a O con i depositi sedimentari marini (autoctoni e alloctoni) pre-vulcanici.

La morfologia dell'area circostante è dominata dalla presenza di una serie di

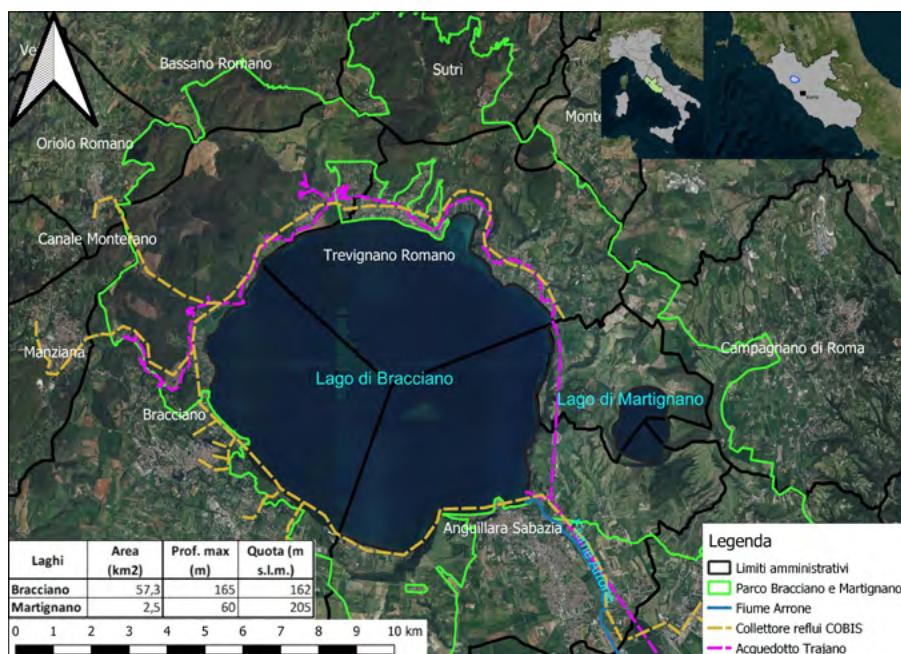


Figura 1. Elementi amministrativi e idrogeologici dell'area del lago di Bracciano (Fonte dati: ISTAT. Elaborazione: ENEA)

depressioni di forma prevalentemente circolare, circondate da rilievi i cui profili topografici sono tipicamente asimmetrici. Il lago di Bracciano è alimentato da pochi piccoli immissari, provenienti dai modesti rilievi che lo circondano e soprattutto dal settore NO. Il fiume Arrone, unico emissario naturale, ha origine nel settore SE del lago, in corrispondenza di una netta depressione dei rilievi, connessa con un abbassamento tettonico dei depositi pre-vulcanici. Il lago di Martignano, invece, ha alcuni piccoli immissari, per lo più stagionali, mentre non ha alcun emissario.

I sedimenti marini pre-vulcanici, a bassa permeabilità, costituiscono la superficie di base della falda acquifera

principale contenuta nei depositi vulcanici soprastanti e separano l'acquifero vulcanico dall'acquifero carbonatico profondo contenuto nelle unità mesozoiche. La circolazione all'interno delle unità vulcaniche è fortemente condizionata dalla eterogeneità e complessità dei litotipi che lo costituiscono (depositi alloctoni pelitico-arenacei, calcarei, marnosi e argillosi; calcari e calcari marnosi meso-cenozoici; sedimenti argilloso-sabbioso del ciclo autoctono neogenico; depositi vulcanici acidi del settore Tolfa-Cerite-Manziana) e dalla conseguente elevata variabilità spaziale delle caratteristiche idrogeologiche (Taviani & Henriksen, 2015). Purtroppo, su scala regionale, esse possono

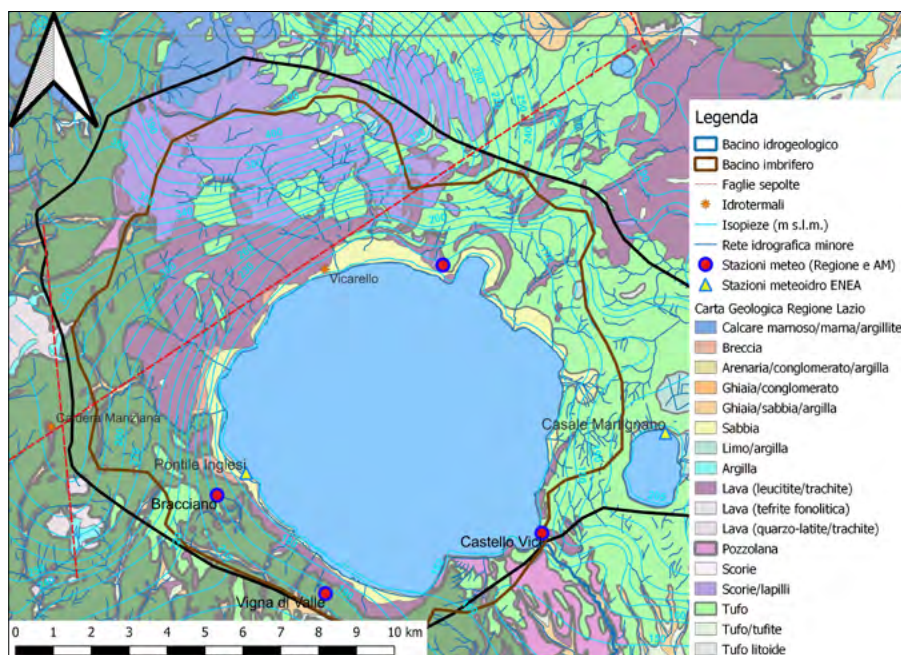


Figura 2. Caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dell'area del lago di Bracciano (Fonte dati: Capelli, 2005. Elaborazione: ENEA)

essere considerate un unico, grande e continuo acquifero multistrato (Mazza *et al.*, 2015). La "tenuta" idraulica del setto alla base dell'acquifero è condizionata anche dalla presenza di alcuni elementi di discontinuità costituiti da faglie sepolte. Il bilancio dei flussi lungo queste discontinuità è tuttora incerto: a fronte di un'evidenza di flussi verso l'alto di origine profonda, in corrispondenza di Vicarello nell'area del lago, ma anche di Manziana, Stigliano ed altri siti nelle vicinanze, non si può escludere un flusso verso il basso e un contributo dell'acquifero vulcanico all'acquifero carbonatico profondo.

La falda principale ha la sua maggiore area di ricarica nei rilievi posti a N e NO del lago, dove si registrano le quote piezometriche più elevate (circa 400 m s.l.m.). Dallo spartiacque della superficie di falda, più o meno corrispondente a quello topografico, le isopieze degradano con un elevato gradiente idraulico verso S-SE. L'andamento della falda di base converge da tutti i lati verso il lago, mentre a SE filtra attraverso la depressione strutturale di Anguillara Sabazia per continuare a S del lago stesso lungo la depressione del fiume Arrone. In questo schema, il lago di Bracciano rappresenta l'intersezione della falda principale con la superficie topografica e pertanto costituisce uno sfioro della falda, ricevendone le acque da N e rialimentando la falda verso S.

Dal punto di vista climatico, l'area appartiene al versante tirrenico del Distretto dell'Appennino centrale. Nella finestra temporale compresa tra il 1951 e il 2017, il regime pluviometrico è stato caratterizzato da un'alternanza tra periodi secchi e umidi con oscillazioni di periodo variabile tra 4 e 8 anni, connesse con le dinamiche oceano-atmosferiche a scala globale, e dagli anni '90 da una tendenza ad una diminuzione delle precipitazioni invernali (IRSA, 2017).

Le temperature degli ultimi 50 anni indicano una tendenza positiva con un incremento di quasi 2,3 °C (+0,5% annuo), con valore medio annuo di 15,2 °C (Fig. 3). Le precipitazioni, invece, non indicano tendenze significative (crescita inferiore allo 0,1% annuo) e hanno valore medio di 945 mm annui. Tale media aumenta considerando finestre temporali più ristrette e più recenti (ultimi 20 anni = 968 mm/anno; ultimi 10 anni = 1070 mm/anno).

Numerosi sono i centri urbani presenti nell'area che nel corso dell'ultimo secolo hanno conosciuto una notevole espansione urbanistica e demografica,

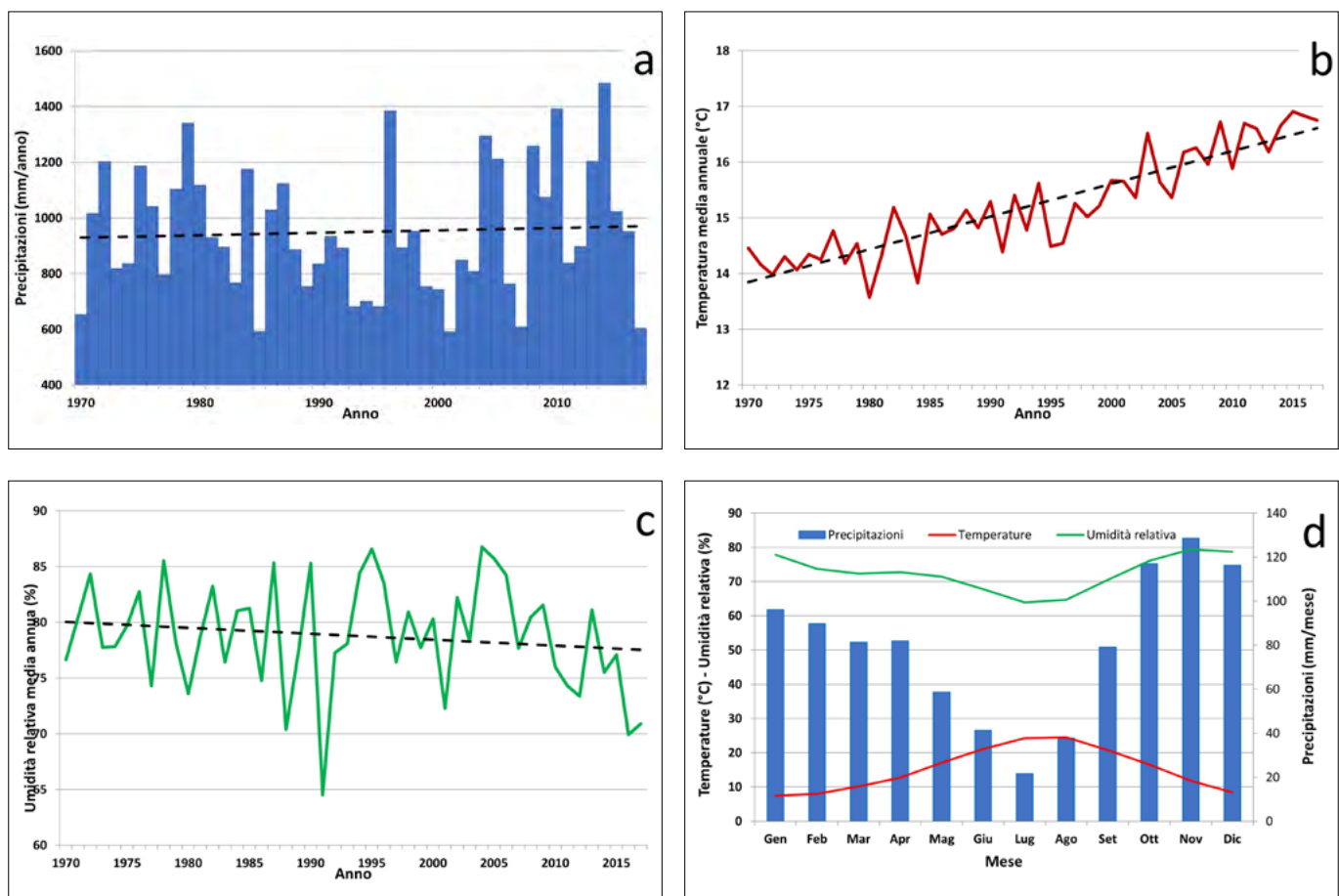


Figura 3. Caratteristiche meteorologiche dell'area sabatina in base ai dati della stazione dell'Aeronautica Militare di Vigna di Valle del periodo 1970-2017: a) precipitazioni medie annue; b) temperature medie annue; c) umidità relativa media annua; d) valori medi mensili delle precipitazioni, temperature e umidità relativa (Fonte dati: AM. Elaborazione: ENEA)

seguito parallelamente quella della vicina Roma. Attualmente, la sola popolazione dei tre comuni circumlacuali, Anguillara Sabazia, Bracciano e Trevignano Romano, ammonta a circa 45.000 abitanti, registrando negli ultimi 25 anni un incremento dell'80%, con un massimo nel comune di Anguillara che ha quasi raddoppiato la sua popolazione tra il 1991 ed il 2016. Dal punto di vista produttivo, l'area è caratterizzata da attività agricola e zootecnica, mentre molto modesta è la presenza di insediamenti

industriali. Lo sfruttamento della risorsa idrica sabatina risale all'epoca romana, come testimoniato da diversi manufatti e acquedotti antichi. Nel XVII secolo, insieme all'acquedotto Paolo, all'imboccatura del lago nell'alveo del fiume Arrone venne realizzata anche una diga con paratoie mobili per regolarne il deflusso. Negli ultimi decenni, soltanto occasionalmente il lago ha superato la soglia della diga (sfioratore), posta a 163,04 m s.l.m., alimentando direttamente il fiume Arrone. Dal 1990 le acque del lago

vengono captate dal Nuovo Acquedotto di Bracciano, a servizio della Capitale.

La disponibilità della risorsa idrica del sistema lago-acquifero si confronta con la crescente pressione antropica e con gli effetti drammatici dei cambiamenti climatici in atto. Negli ultimi anni, infatti, il livello del lago di Bracciano ha subito una notevole oscillazione: da un massimo nell'aprile 2015 (163,12 m s.l.m.) si è giunti al livello minimo mai registrato negli ultimi secoli (161,06 m s.l.m. nel novembre 2017), con un abbas-

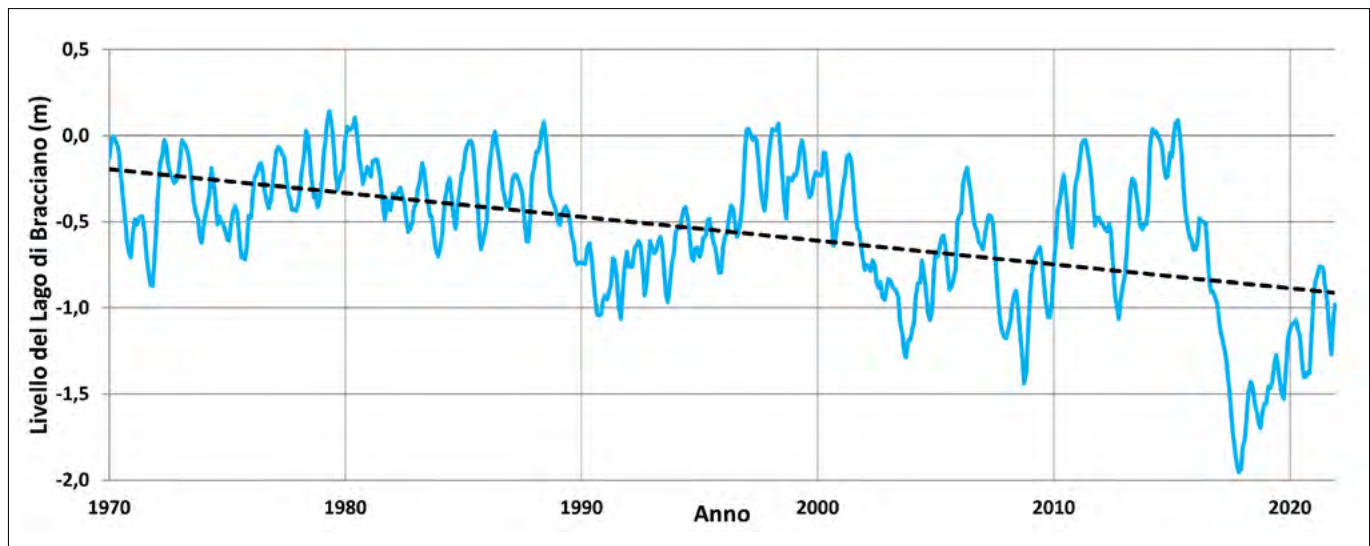


Figura 4. Variazione del livello del lago di Bracciano nel periodo 1970-2021 (Fonte dati: Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano. Elaborazione: ENEA)

Tabella 1. Limiti di emissione per acque reflue urbane ed industriali che recapitano sul suolo. Si riportano le tipologie di contaminanti, le unità di misura e il valore soglia permesso (D. lgs. 152/06, Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, mod.)

Rete	Comune	Località	Provincia	Quota s.l.m.	Serie	Parametri	
Servizio Idrografico - Centro Funzionale	Campagnano di Roma	Baccano	RM	225	2007	2018	
	Bracciano		RM	288	1975	2018	
	Anguillara Sabazia	Castello Vici	RM	167	1975	2018	
	Manziana		RM	374	2011	2018	
	Trevignano Romano		RM	166	1996	2018	
Agenzia Regionale per lo Sviluppo e l'Innovazione dell'Agricoltura	Bracciano	Prato Pianciano	RM	247	2004	2018	
	Bassano romano	Piano di Mola	VT	457	2004	2018	
	Canale Monterano	Monte Virginio	RM	363	2004	2018	
	Formello		RM	144	2004	2018	
Aeronautica Militare	Bracciano	Vigna di Valle	RM	262	1970	2017	T, P e Umidità

samento di oltre 2 m in tre anni (2015-2017) e di 80 cm nel solo 2017 (Baccetti *et al.*, 2017). I due picchi, uno positivo e l'altro negativo, si sono susseguiti con una variazione in ampiezza e velocità mai registrata nel recente passato, inducendo condizioni di criticità significative nel territorio sabatino (Fig. 4).

MONITORAGGIO IDROFISICO DEL BACINO SABATINO

Il territorio sabatino vede la presenza di diverse reti di stazioni meteorologiche che registrano precipitazioni, temperatura e umidità con frequenza e continuità diverse (Tab. 1).

La distribuzione è abbastanza omogenea, sebbene vi sia una certa rarefazione nel settore NO, tra i Comuni di Bassano Romano, Bracciano e Oriolo Romano, e a SE, tra i Comuni di Anguillara Sabazia, Campagnano di Roma, Roma e Trevignano Romano. Nel corso degli ultimi anni si è assistito a

un avvicendamento nell'ambito dei siti su cui reperire i dati: dalle pagine dei servizi idrografici nazionale e regionali, del Centro Funzionale della Protezione Civile regionale e del Servizio Integrato Agrometeorologico della Regione Lazio si è passati a due portali gestiti direttamente dalla Regione Lazio (<http://rlazio.dynalias.org/smartweb/>, <https://dati.lazio.it/home>) e a uno gestito dall'ISPRA (www.scia.isprambiente.it).

Importante è la presenza della stazione meteorologica di Bracciano Vigna di Valle, riferimento ufficiale per il Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare (<http://www.meteoam.it/>) e per l'Organizzazione Mondiale della Meteorologia, relativamente all'area del lago di Bracciano. Essendo una stazione attiva da più di 100 anni, può fornire serie storiche preziose per analisi di lungo periodo.

Esistono due diversi riferimenti relativi con cui viene attualmente misurato il livello idrometrico del lago di Brac-

ciano. Il più antico è quello dell'ACEA, che ha una serie di misure risalente al 1921, il cui zero idrometrico è posto a 161,74 m s.l.m., quota a cui il vecchio acquedotto Traiano Paolo non riceve più acqua dal lago (Punti di misura: Stazione idrometrica ACEA Castello Vici presso Anguillara).

Con l'istituzione dell'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano nel 1990, la Regione Lazio adotta un riferimento basato maggiormente su elementi naturali. Lo zero idrometrico della Regione Lazio, e pertanto "istituzionale", è posto a 163,04 m s.l.m., 130 centimetri più in alto rispetto a quello di ACEA, corrispondente alla quota dello sfioratore del fiume Arrone (Punti di misura: stadiе presso i moli di attracco del battello presso Anguillara Sabazia, Bracciano, Trevignano Romano). Il lago di Martignano, invece, non ha un sistema di riferimento idrometrico ufficiale.

Per una misura strumentale e in continuo, sono presenti diverse stazioni, installate in tempi diversi e gestite da diversi enti. In particolare:

- la storica stazione della Regione Lazio presso Castello Vici, i cui dati, purtroppo, sebbene palesemente errati, continuano ad essere pubblicati sul sito istituzionale (https://dati.lazio.it/web/open-ambiente/dettagli-stazione?uri_stazione=station/pc_153400). A fine gennaio 2023 nella pagina viene indicato un livello del lago di circa 2,5 m sopra lo zero idrometrico (-1,1 m circa il dato reale) e una variazione di circa +0,5 m nell'ultimo mese (+2 cm il dato reale misurato alla stadia);
- la storica stazione di ACEA, posta all'interno dell'impianto delle con-



Figura 5. Stadia per la misura visiva del livello del lago presso il pontile d'attracco della motonave ad Anguillara Sabazia (Foto di Alessandro Mecali)

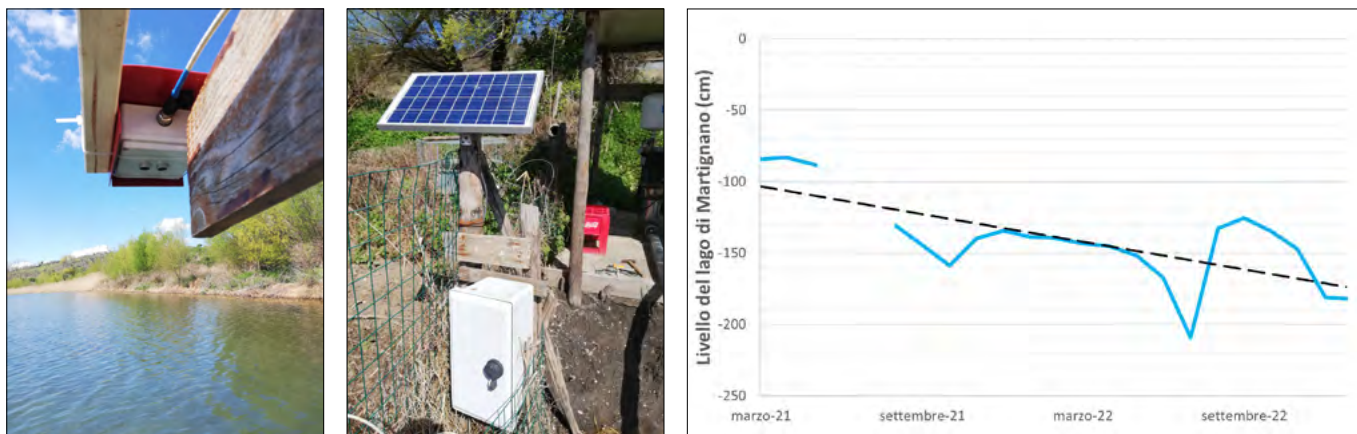


Figura 6. Sensore idrometrico ad ultrasuoni installato presso l'Azienda "il Casale di Martignano" (sinistra), relativo sistema di alimentazione e archiviazione (centro) e variazione del livello del lago di Martignano tra marzo 2021 e gennaio 2023 (destra). Il dato fa riferimento a uno zero idrometrico non georiferito e, pertanto, ancora non definito in termini assoluti (Dati Opiware. Elaborazione: ENEA)

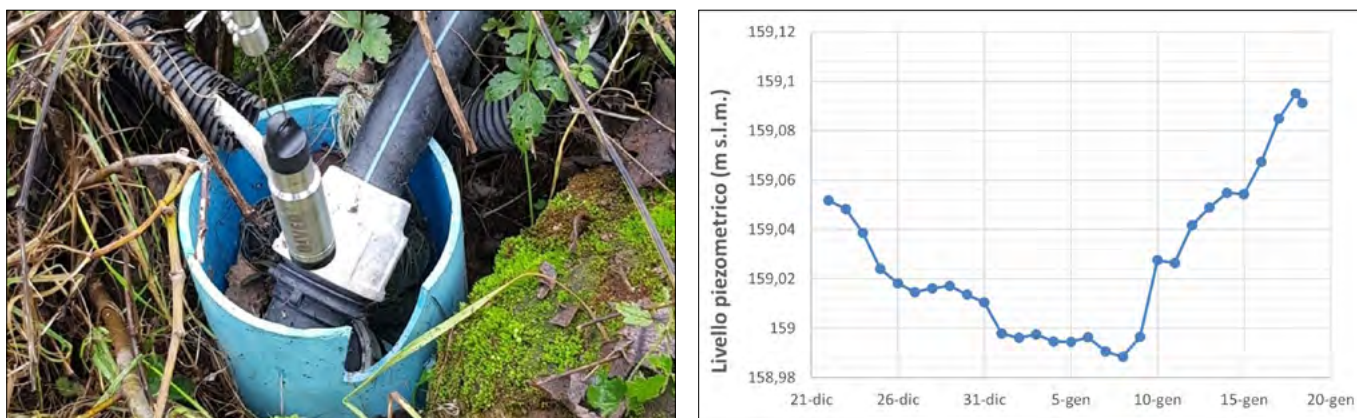


Figura 7. Piezometro strumentato con baro-diver (sinistra) e variazione del livello piezometrico (destra) nel settore SE del lago di Bracciano, tra fine dicembre 2022 e gennaio 2023 (Dati Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano. Elaborazione: ENEA)

dotte di captazione della Marmotta (sempre a Castello Vici), i cui dati però non sono disponibili al pubblico;

- la stazione installata nel 2017 dalla Regione Lazio nella base di Vigna di Valle dell'Aeronautica Militare, i cui dati non sono disponibili al pubblico;
- la stazione installata nel 2018 dall'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano, in collaborazione con il Consorzio Lago di Bracciano, presso il Pontile degli Inglesi a Bracciano (Progetto SMALL), i cui dati sono discontinui, non disponibili al pubblico e leggermente disallineati rispetto al dato reale (errore sistematico dello strumento di 1,5 cm circa).

Nel corso degli ultimi anni, l'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano ha attivato un servizio di monitoraggio del bacino del lago, pubblicando su una apposita pagina web (<https://www.parcobracciano.it/area-protetta/monitoraggio-acque>) le serie storiche del livello delle acque dal 1921 e il volume di acqua captata dagli impianti di ACEA della Marmotta a partire dal 29 luglio 2017. Mentre i

dati "storici" sono quelli della stazione di misura di ACEA a Castello Vici, i dati più recenti (dal 2017 in poi) derivano da una lettura visiva periodica della stadia di Anguillara condotta da Alessandro Mecali. A partire dal 2015 le immagini fotografiche della stadia sono raccolte e pubblicate sulla pagina Bracciano Smart Lake (<https://braccianosmartlake.com/>) dedicata ad un progetto di *citizen science* dell'agenzia giornalistica Trenta Science s.r.l.

Dal 2018, una collaborazione tra l'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano ed ENEA ha permesso di installare una stazione idrometeorologica anche nel lago di Martignano. Dopo un avvio difficoltoso, dal 2021 la stazione sta fornendo informazioni preziose sulle oscillazioni del livello di questo lago minore (Fig. 6).

Nel 2021, l'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano ha commissionato uno studio idrogeologico, nell'ambito del quale sono state svolte misure presso alcuni campi pozzi idropotabili presenti intorno al lago (la Fiora, Trevignano e Anguillara) e avviato un percorso di monitoraggio della falda dell'area attraverso l'installazione di un baro-diver (Vanessen) in un pozzo

già esistente in prossimità della Porta del Parco, nell'area a SE del lago di Bracciano, lungo il fiume Arrone (Fig. 7).

A dicembre 2022, sempre nell'ambito della collaborazione con finalità di ricerca con l'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano, ENEA ha installato una nuova stazione idrometrica al Pontile degli Inglesi a Bracciano, con l'obiettivo di testare l'affidabilità di sensoristica commerciale a ultrasuoni (Fig. 8).

MODELLO DI SIMULAZIONE DEL BILANCIO IDRICO

Nel corso degli ultimi decenni, le caratteristiche del lago di Bracciano sono state oggetto di diversi studi sugli aspetti idrogeologici ed ecosistemici, tra cui il bilancio idrico (Musmeci & Correnti, 2002; Dragoni *et al.*, 2006; Medici, 2007; Mazza *et al.*, 2014; Tavian & Henriksen, 2015; DICEA, 2017; Armenia *et al.*, 2021).

Negli ultimi anni l'ENEA ha sviluppato un modello di bilancio idrico del lago di Bracciano, applicando l'approccio della Dinamica dei Sistemi (Guo *et al.*, 2001; Stave, 2003; Hassanzadeh *et al.*, 2012; Alifujiang *et al.*, 2017;) per rispondere a due domande specifiche:

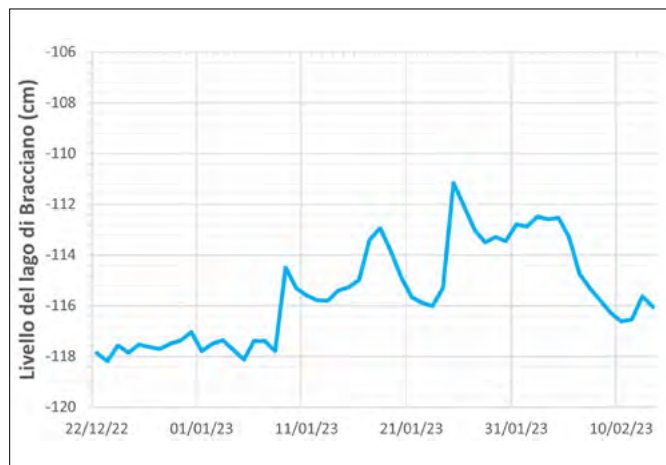


Figura 8. Sensore idrometrico a ultrasuoni installato al di sotto del Pontile degli Inglesi (sinistra) e variazione del livello del lago di Bracciano misurata tra fine dicembre 2022 e gennaio 2023. Il dato (che deve essere ancora perfezionato nella calibrazione) fa riferimento allo zero idrometrico istituzionale di 163,04 m s.l.m. (Dati Opirware. Elaborazione: ENEA)

- che dimensioni hanno i fattori del sistema, naturali e antropici, che influiscono sulle escursioni del livello del lago e in che rapporto sono fra loro?
- quale livello del lago è possibile attendersi in un prossimo futuro a fronte di potenziali scenari meteorologici e determinate politiche di approvvigionamento idrico?

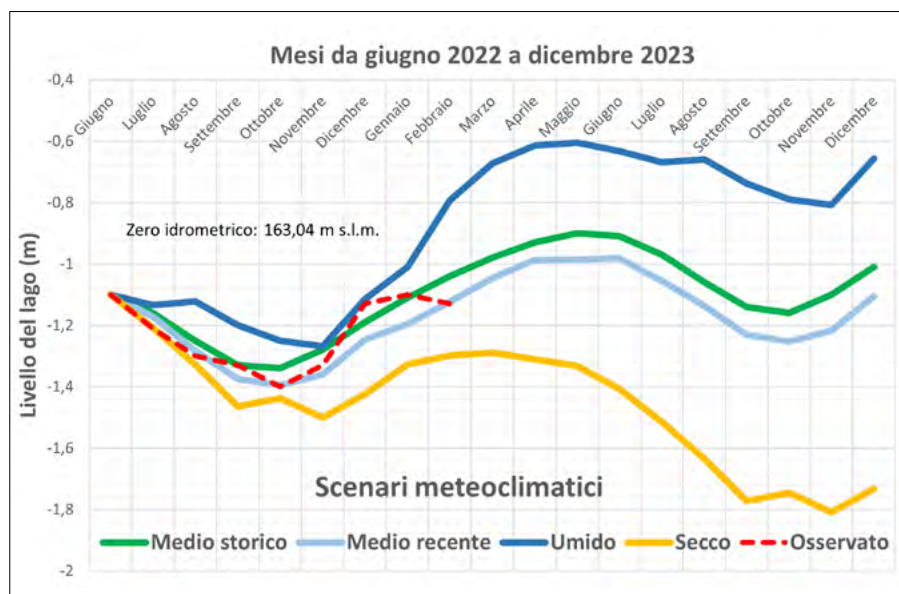
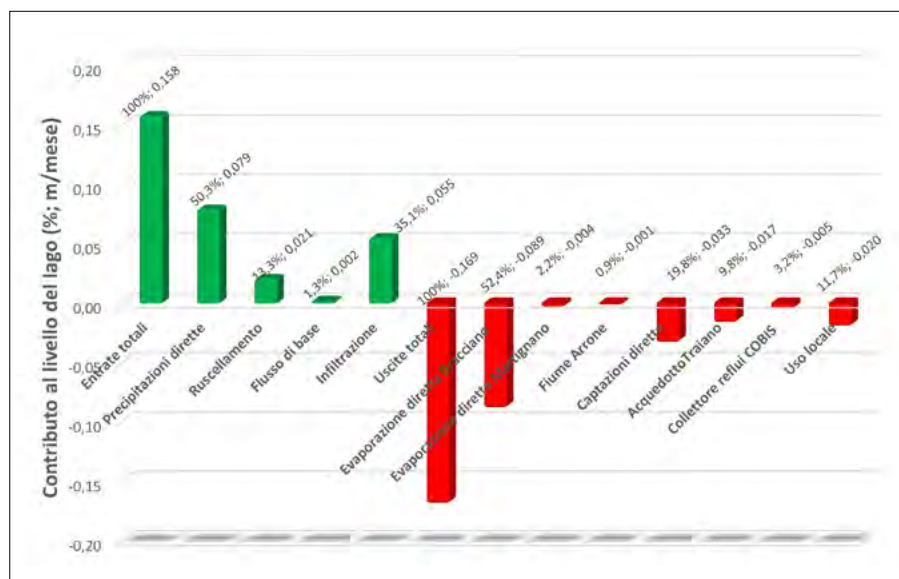


Figura 9. Fattori del bilancio idrologico del lago (in alto) ed escursioni del livello del lago previste per quattro scenari meteorologici distinti (in basso) basati sui dati medi di lungo periodo (1970-2019, verde), sui dati medi recenti (2010-2019, celeste), sui dati di un'annata "umida" (2014, blu) e di una "secca" (2017, giallo)

Il modello è stato implementato su un *dataset* pubblico relativo ad una finestra temporale di cinquanta anni (1970-2019), integrato con dati di portata dei fossi afferenti al lago, misurati tra il 2018 e il 2019 (Fig. 9).

Di tutte le captazioni dirette e indirette, solo quelle di ACEA (-0,028 m/mese; 17% delle uscite) sono state calcolate sulla base di dati oggettivi, resi pubblici dall'azienda stessa, mentre l'entità delle altre è stata esclusivamente stimata. Tra le componenti naturali, risalta il maggior valore dell'evaporazione dal lago di Bracciano (-0,089 m/mese) rispetto alle precipitazioni dirette sul lago stesso (0,079 m/mese). Il deficit è ampiamente compensato dai contributi del ruscellamento (13% delle entrate) grazie all'apporto al lago dei piccoli corsi d'acqua durante le piogge e dall'infiltrazione (35% delle entrate) che, tramite la falda, alimenta il lago stesso. Il flusso di base lungo i corsi minori affluenti al lago (1,3% delle entrate), così come il flusso in uscita attraverso il fiume Arrone (0,85% delle uscite), hanno entrambi un ruolo relativamente modesto nel bilancio complessivo.

Il flusso in uscita con l'acquedotto di Traiano (9,85% delle uscite) e quello dovuto al fabbisogno locale (domestico, irriguo e zootecnico; 11,71% delle uscite) sembrano avere pesi analoghi, così come i prelievi diretti minori (2,77% delle uscite) e i flussi intercettati dal COBIS (3,24% delle uscite). Diversamente da studi effettuati in passato, il bilancio idrico del lago indica una condizione di costante perdita nel corso del cinquantennio: a fronte di 1,724 m/anno di entrate al lago, le uscite ammontano a 1,751 m/anno.

Il modello calibrato sui dati storici permette di sviluppare anche scenari delle escursioni del livello del lago, la cui

attendibilità è direttamente dipendente da quella dei dati climatici attesi.

CONCLUSIONI

Le amministrazioni locali e, in particolare, l'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano sono chiamati a un ruolo di vigilanza attiva della risorsa idrica del sistema sabatino, che necessita di una robusta conoscenza delle relative dinamiche. A tale scopo, sono già in essere iniziative di monitoraggio e analisi. Tuttavia, è indispensabile e urgente individuare una stazione idrometrica, mantenuta in buona efficienza, che registri il dato con cadenza oraria e che, una volta validato, lo pubblichi, ottemperando alla richiesta di trasparenza e diffusione dei dati. È necessario, inoltre, incrementare ulteriormente la rete di monitoraggio della struttura sabatina con l'installazione di altri misuratori del livello piezometrico, in pozzi circostanti il lago per il monitoraggio delle oscillazioni della falda, e con l'installazione di sensori per la misura dell'umidità del suolo e della portata in uno o più fossi affluenti al lago.

I relativi dati potrebbero contribuire allo sviluppo di strumenti analitici, come un Sistema di Supporto alle Decisioni (*Decision Support System, DSS*) a disposizione delle amministrazioni locali e delle imprese nelle scelte volte alla promozione di un approccio integrato alla gestione del territorio e della risorsa idrica locale, come ad esempio il Contratto di Lago di Bracciano.

Pervalutare al meglio anche l'impatto delle oscillazioni sulla disponibilità della risorsa idrica sotterranea o sulla qualità dell'acqua del lago, sarebbe necessario anche approfondire il quadro delle conoscenze su tutte le captazioni dirette dal lago e sugli emungimenti dai pozzi degli acquedotti locali, oltre a quelle operate da ACEA, che permetterebbero di circoscrivere meglio il fabbisogno idrico locale. Appare indispensabile, inoltre, avere a disposizione una carta batimetrica di dettaglio della porzione costiera del lago che permetterebbe di valutare puntualmente le ripercussioni delle oscillazioni sugli habitat costieri, che svolgono le funzioni di nursery per le specie ittiche e di azione-filtro per la depurazione dell'acqua.

Il monitoraggio e la manutenzione di infrastrutture ingegneristiche, come ponti, ferrovie o porti, è una esigenza ampiamente compresa dalla società, che riconosce la necessità di garantire le funzioni strategiche per cui esse sono state realizzate. Analogamente, appare neces-

sario sensibilizzare le amministrazioni dello Stato, le aziende e la collettività affinché anche le infrastrutture naturali, come il lago di Bracciano, siano gestite con lungimiranza, attraverso programmi di osservazione con le migliori tecnologie disponibili che permettano di predisporre scenari previsionali attendibili e adeguate misure d'intervento.

RINGRAZIAMENTI

Gli autori desiderano ringraziare tutto il personale dell'Ente Parco Naturale Regionale di Bracciano e Martignano (www.parcobracciano.it) ed in particolare il suo direttore, Dott. Daniele Badaloni, per il supporto logistico fornito nelle attività sul campo. Un sentito ringraziamento va al personale della società Opiware s.r.l. (<https://opiware.it>) per la disponibilità e competenza offerta nella fase di configurazione ed installazione delle stazioni di misura.

BIBLIOGRAFIA

- ALIFUJIANG Y., ABUDUWAILI J., MA L., SAMAT A., GROLL M. (2017), *System dynamics modeling of water level variations of Lake Issyk-Kul, Kyrgyzstan*. *Water* 9(12):989. DOI: 10.3390/w9120989.
- ARMENIA S., BELLOMO D., MEDAGLIA C. M., NONINO F., POMPEI A. (2021), *Water resource management through systemic approach: The case of Lake Bracciano*, *Journal of Simulation*, 15:1-2, 65-81, DOI: 10.1080/17477778.2019.1664266.
- BACCETTI N., BELLUCCI V., BERNABEI S., BIANCO P., BRACA G., BUSSETTINI M., CASCONI C., CICCARESE L., D'ANTONI S., GRIGNETTI A., LASTORIA B., MANDRONE S., MARIANI S., SILLI V., VENTURELLI S. (2017), *Analisi e valutazione dello stato ambientale del Lago di Bracciano riferito all'estate 2017*. Rapporto ISPRA, 18 ottobre 2017, 56 p.
- CAPELLI G., MAZZA R., GAZZETTI C. (2005), *Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio (Vol. 78)*. Bologna: Pitagora. ISBN: 88-371-1450-8.
- DE RITA D., DI FILIPPO M., ROSA C. (1996), *Structural evolution of the Bracciano volcano-tectonic depression, Sabatini Volcanic District, Italy*. Geological Society, London, Special Publication 110(1):225-236. DOI: 10.1144/GSL.SP.1996.110.01.17.
- DICEA (2017), *Il lago di Bracciano come risorsa idropotabile: gli aspetti ecologici ed idrogeologici. Conseguenze ambientali dovute al mantenimento dei prelievi dal Lago*. Report preliminare. Dipartimento di Ingegneria Civile Edile e Ambientale, Università "Sapienza" di Roma.
- DRAGONI W., PISCOPO V., DI MATTEO L., GNUCCI L., LEONE A., LOTTI F., MELILLO M., PETITTA M. (2006), *Risultati del progetto di ricerca PRIN laghi 2003-2005*. *Giornale di Geologia Applicata* 3:39-46. DOI: 10.1474/GGA.2006-03.0-05.0098.

- EU EC (2013), *Infrastrutture verdi – Rafforzare il capitale naturale in EU*. Comunicazione della Commissione al Parlamento europeo, al Consiglio, al CESE e al Comitato delle Regioni; COM (2013) 249 final.
- GUO H.C., LIU L., HUANG G.H., FULLER G.A., ZOU R., YIN Y.Y. (2001), *A system dynamics approach for regional environmental planning and management: a study for the Lake Erhai Basin*. *J Environ. Manage* 61(1):93-111. <https://doi.org/10.1006/jema.2000.0400>.
- HASSANZADEH E., ZARGHAMI M., HASSANZADEH Y. (2012), *Determining the main factors in declining the Urmia lake level by using system dynamics modeling*. *Water Resour Manag* 26(1):129-145. DOI: 10.1007/s11269-011-9909-8.
- IRSA (2017), *Caratterizzazione climatica del regime pluviometrico nell'area del Distretto Idrografico dell'Appennino Centrale nel periodo 1951-2017*. Osservatorio utilizzi idrici Idrografico dell'Appennino Centrale.
- MANCA F., VIAROLI S., MAZZA R. (2017), *Hydrogeology of the Sabatini volcanic district (central Italy)*. *JMaps* 13(2):252-259. DOI: 10.1080/17445647.2017.1297740.
- MAZZA R., LA VIGNA F., ALIMONTI C. (2014), *Evaluating the available regional groundwater resources using the distributed hydrogeological budget*. *Water Resource Management* 28(3):749-765. DOI 10.1007/s11269-014-0513-6.
- MAZZA R., TAVIANI S., CAPELLI G., DE BENEDETTI A., GIORDANO G. (2015), *Quantitative hydrogeology of volcanic lakes: examples from the central Italy volcanic lake district*. In: Rouwet D., Christenson B., Tassi F., Vandemeulebrouck J. (eds) *Volcanic lakes*. Springer, Berlin, pp 355-377.
- MEDECC (2020), *Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future*. First Mediterranean Assessment Report [Cramer W., Guiot J., Marini K. (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, 632pp. ISBN 978-2-9577416-0-1. DOI 10.5281/zenodo.4768833.
- MEDICI F. (2006), *Laghi Albano e di Bracciano: bilancio idrico e valutazione dei prelievi*. *Geologia dell'Ambiente* 15 (2):2-5.
- MUSMECI F., CORRENTI A. (2002), *Elementi per il bilancio idrico del lago di Bracciano*. ENEA UTS PROT, Progetto LIFE02 ENV/IT/000111 New Tuscia.
- STAVE KA (2003), *A system dynamics model to facilitate public understanding of water management options in Las Vegas, Nevada*. *J Environ Manage* 67(4):303-313. [https://doi.org/10.1016/S0301-4797\(02\)00205-0](https://doi.org/10.1016/S0301-4797(02)00205-0).
- TAVIANI S., HENRIKSEN H.J. (2015), *The application of a groundwater/surface-water model to test the vulnerability of Bracciano Lake (near Rome, Italy) to climatic and water-use stresses*. *Hydrogeology Journal* 23(7):1481-1498. DOI 10.1007/s10040-015-1271-0.
- Woolway R. I., Sharma S., Smol J. P. (2022), *Lakes in Hot Water: The Impacts of a Changing Climate on Aquatic Ecosystems*. *BioScience*, biac052, <https://doi.org/10.1093/biosci/biac052>.

Studio per la valorizzazione geoturistica dell'area sud-orientale della provincia di Taranto

Study for the geoturistic valorization of the south-eastern area of Taranto's province

Parole chiave: geositi, terrazzi marini, Quaternario, Taranto
 Key words: geosites, marine terraces, Quaternary, Taranto

SOMMARIO

Negli ultimi decenni è cresciuto l'interesse verso il geoturismo, definito come una tipologia di turismo sostenibile. Esso si concentra sull'importanza del luogo e riconosce possibilità di sviluppo a partire dalle caratteristiche geologiche del sito, arricchendo sia l'esperienza di viaggio che la qualità dell'ambiente. Tuttavia, il ritmo assunto dallo sviluppo urbano e industriale sta portando l'uomo a cancellare, in maniera indiscriminata, parte del meraviglioso patrimonio naturalistico e geologico del territorio. Questo perché, nella concezione comune, i siti di interesse geologico non rivestono ancora un'attrattività tale da richiederne una tutela ed una valorizzazione adeguate all'importanza che essi rivestono. Infatti, l'interessamento alla tutela del patrimonio geologico spesso non consiste in una disciplina dedicata esplicitamente alla conservazione dello stesso, per cui va ricercata nell'ambito di diverse fonti normative che hanno però origine e connotati differenti tra loro. Questo vale per l'Italia, ma anche per tante altre nazioni, seppure con delle piacevoli eccezioni. Tra queste ultime vi è la Regione Puglia che, con il "Progetto Geositi", ha avviato in maniera sistematica un censimento dell'intero patrimonio geologico regionale fondato su solide basi scientifiche. Il progetto della Regione Puglia si lega all'"Inventario Nazionale dei Geositi", avviato nell'anno 2002 da ISPRA, il quale si propone di realizzare uno strumento utile sia per la conoscenza geologica dell'Italia, sia per la pianificazione territoriale e per la tutela paesistico-ambientale della nazione. Col presente lavoro, relativo al territorio costiero di Lizzano (Taranto), sono state valutate le potenzialità dell'area di studio dal punto di vista geoturistico, date le caratteristiche geomorfologiche della

zona e la vocazione turistica. Pertanto, dopo un'accurata analisi della letteratura scientifica, è stata raccolta la cartografia tematica del territorio da indagare, ed è stata quindi effettuata un'indagine speditiva, allo scopo di definire le forme principali del paesaggio e di caratterizzare le unità del Pleistocene Superiore; i dati acquisiti sono stati sintetizzati in tavole tematiche. Le peculiarità dell'area investigata forniscono informazioni sul Quaternario, in particolare sulle variazioni del livello del mare, grazie alla presenza di una serie di terrazzi marini, nella zona che dal centro abitato di Lizzano si dirige verso la litoranea. Infatti, sono ben quattro i geositi censiti per il progetto regionale nell'area oggetto del presente studio, che potrebbero essere inglobati in unico percorso, così come proposto nel presente lavoro.

ABSTRACT

In recent decades there has been a growing interest in geotourism, defined as a type of sustainable tourism. It focuses on the importance of the place and recognizes the possibility of development starting from the geological characteristics of the site, enriching both the travel experience and the quality of the environment. However, the pace of urban and industrial development is leading man to indiscriminately erase part of the wonderful natural and geological heritage of the territory. This is because, in the common conception, the sites of geological interest are not yet of such an appeal as to require protection and valorisation appropriate to their importance. In fact, interest in the protection of the geological heritage often does not consist in a discipline explicitly dedicated to the conservation of the same, so it must be sought within the framework of different regulatory sources that have

different origins and connotations. This is true for Italy, but also for many other countries, although with some pleasant exceptions. Among the latter there is the Apulia Region that, with the "Geosites Project", has started a systematic census of the entire regional geological heritage based on solid scientific bases. The project of the Apulia Region is linked to the "National Inventory of Geosites", launched in 2002 by ISPRA, which aims to create a useful tool for both the geological knowledge of Italy, both for territorial planning and for landscape protection's environmental. The present work on the coastal territory of Lizzano (Taranto) has evaluated the potential of the study area from the geoturistic point of view, given the geomorphological characteristics of the area and the tourist vocation. Therefore, after an accurate analysis of the scientific literature, the thematic cartography of the territory to be investigated was collected, and an expeditious survey was carried out, in order to define the main forms of the landscape and to characterize the units of the Late Pleistocene; the acquired data have been synthesized in thematic maps. The peculiarities of the investigated area provide information on the Quaternary, in particular on changes in sea level, thanks to the presence of some series of sea terraces, well identifiable in the area that from the town of Lizzano goes towards the coast. In fact, there are four geosites surveyed for the regional project in the area covered by this study, which could be incorporated in a single route, as proposed in this paper.

INTRODUZIONE

Il turismo culturale, a differenza di quello di massa, rivolge una maggiore attenzione agli aspetti di carattere for-

mativo delle iniziative turistiche. Questa tipologia di turismo, in un paese ricco di storia e pregno d'arte come l'Italia, deve opportunamente avere una dimensione diffusa e quindi può essere occasione di sviluppo per tante realtà periferiche che magari hanno interessanti ma poco valorizzati patrimoni, favorendone la conoscenza con un approccio multidisciplinare (Pescatore *et al.*, 2022). Tale tipologia di turismo contribuisce inoltre a destagionalizzarne l'offerta rendendo mediamente più fruibili le esistenti strutture, garantendo un afflusso continuo e maggiormente contingentato, creando meno impatti su territori che possono soffrire le conseguenze del turismo di massa (Petrosillo *et al.*, 2006), fornendo comunque nuove prospettive economiche (Pilogallo *et al.*, 2019).

Nell'ambito del turismo culturale, si sta affermando sempre più in Europa e negli ultimi decenni anche in Italia il geoturismo, definito come una tipologia di turismo sostenibile (Sisto & Cresta, 2023). Esso si concentra sull'importanza del luogo e riconosce che esistono delle possibilità di sviluppo a partire dalle caratteristiche geologiche dello stesso, arricchendo sia l'esperienza di viaggio che la qualità dell'ambiente (Bentivenga, 2015). La nostra società, infatti, dovrebbe interessarsi alla geoconservazione, perché essa consiste nella custodia di luoghi speciali considerati finestre sul passato del nostro pianeta. Difatti, attraverso i geositi si possono leggere gli eventi impressi nelle rocce e comprendere i passaggi chiave della storia della Terra e di quella dell'uomo (Sisto *et al.*, 2022).

Il termine geosito è una forma abbreviata che sta a significare sito geologico o sito di interesse geologico. Secondo Wimbledon *et al.* (1996), un geosito può essere "ogni località, area o territorio dove sia possibile definire un interesse geologico o geomorfologico di rilevante valore naturalistico culturale ai fini della sua conservazione e tutela". Tali siti rivestono grande importanza scientifica e culturale, in quanto sono in grado di fornire un indispensabile contributo alla comprensione della storia geologica di un luogo. Un geosito può essere anche "una risorsa essenziale dello sviluppo economico e scientifico, habitat, paesaggio, elemento di geodiversità, di conoscenza della dinamica e del passato della Terra, memoria dell'evoluzione biologica e della vita dell'uomo" (Poli, 1999); è un percorso didattico interessante e coinvolgente ai fini di una corretta educazione ambientale. Dunque,

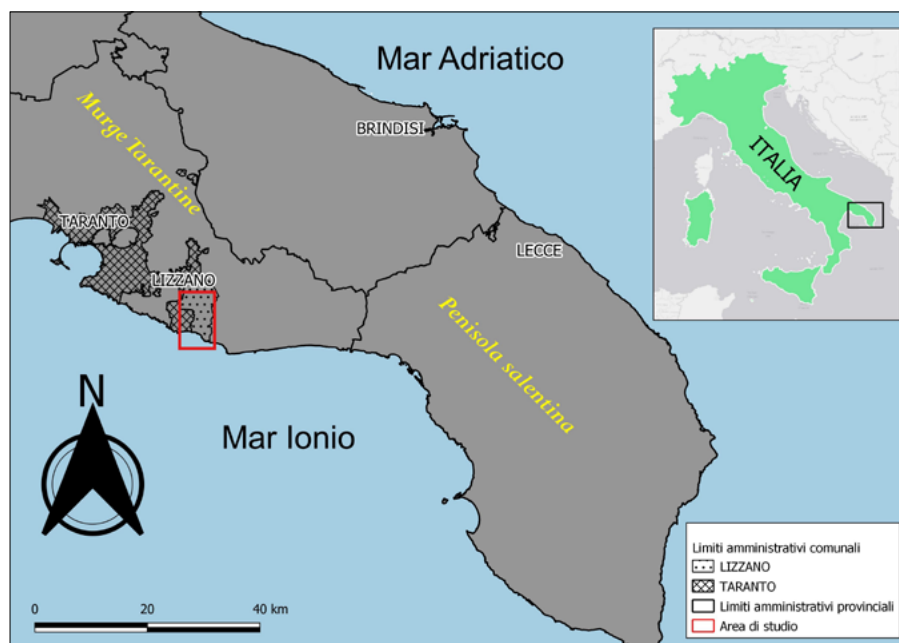


Figura 1. Area di studio con indicazione del territorio amministrativo di Lizzano (provincia di Taranto)

per patrimonio geologico si intende la somma di tutti i beni geologici esistenti in una data area, cioè di tutti i beni culturali nei quali la componente geologica costituisce l'interesse prevalente. Negli ultimi decenni, la consapevolezza del valore economico e culturale rappresentato dai siti di interesse geologico risulta in costante crescita ed è proprio in questo contesto che il presente studio è stato effettuato per proporre un'idea di valorizzazione per un'area costiera di notevole interesse posta nella parte sud-orientale della provincia di Taranto.

CONSERVAZIONE DEL PATRIMONIO GEOLOGICO E QUADRO NORMATIVO

La geoconservazione rappresenta l'attività di tutela del patrimonio geologico e spesso viene attuata mettendo in campo la pianificazione territoriale che, attraverso la definizione di appositi piani di gestione, integra le azioni di tutela con quelle di fruizione del patrimonio geologico (Geremia *et al.*, 2015). Tuttavia, tale attività non ha ricevuto nel tempo la giusta considerazione, visto che ancora oggi può essere considerata la "Cenerentola della conservazione" (Wimbledon *et al.*, 1996), e solo nel 1988 si è costituita la prima associazione europea con questo scopo, l'attuale PROGEO.

Il problema suscita scarsa attenzione per via della quasi totale assenza di politiche internazionali di conservazione e tutela dei geositi, se si esclude il programma GEOPARK realizzato da UNESCO e IUGS (*International Union of Geological Science*) nel 1997 con l'obiettivo di realizzare dei geoparchi.

Questo si è aggiunto al progetto GEOSITES, avviato nel 1995 da IUGS, che si prefigge come obiettivo quello di realizzare un inventario informatizzato dei siti più importanti a livello internazionale e di sollecitare una politica protezionistica che sia di sostegno alle iniziative regionali o nazionali nella redazione degli inventari. D'altronde solo il 6 ottobre 2022 è stata festeggiata la prima giornata internazionale della Geodiversità, istituita dalla Conferenza Generale dell'UNESCO poco più di un anno fa (Bollati *et al.*, 2022).

Si ritiene, almeno per quanto riguarda il nostro Paese, che un motivo fondamentale, per il poco interesse verso l'attività di geoconservazione risieda nella minore conoscenza che il pubblico ha, fino ad oggi, delle pur fondamentali problematiche geologiche ed in particolare dell'importanza dei monumenti di tipo geologico (Mastronuzzi *et al.*, 2015). In Italia, infatti, i paesaggi storici e naturali sono diffusi, ma, a fronte di una sempre più attenta presa di coscienza della necessità di conservarli intatti, gli interventi di programmazione ed uso del territorio hanno mostrato poca attenzione e sensibilità verso la loro conservazione o ragionata trasformazione (Bentivenga, 2015). Tuttavia, lentamente anche l'opinione comune ha mostrato la convinzione di voler conoscere, apprezzare e tutelare il paesaggio naturale acquisendo anche il concetto di sostenibilità, equilibrio e compatibilità tra ambiente e sviluppo. Nel nostro Paese la promozione e il coordinamento delle iniziative tese allo sviluppo armonico delle Scienze della Terra e al rafforzamento del loro ruolo sociale, sono

affidati alla SGI (Società Geologica Italiana), alla SIGEA-APS (Società Italiana di Geologia Ambientale-Associazione di Promozione Sociale), che ha anche istituito al suo interno un gruppo di lavoro che si occupa in modo specifico di geositi, e alla FIST (Federazione Italiana di Scienze della Terra). Inoltre, il Servizio Geologico dell'Istituto Superiore per la Protezione e Ricerca Ambientale (ISPRA) gestisce "l'Inventario Nazionale dei Geositi italiani", le cui schede descrittive sono raccolte in un *geodatabase* consultabile sul sito web dell'ISPRA (<http://sgi.isprambiente.it/geositiweb/>).

L'esistenza di un geosito all'interno di un territorio amministrativo, quale area soggetta a tutela, implica come diretta conseguenza una ricaduta sul piano della normativa ambientale e della legislazione che si occupa di tutelare e gestire tali beni ambientali. Un'adeguata conservazione del sito considerato richiede una corretta e attenta attività di selezione, gestione e protezione, ma anche e soprattutto di valorizzazione e coinvolgimento del pubblico. Ciò nonostante, in Italia, non esiste una disciplina dedicata esplicitamente alla conservazione del patrimonio geologico, per cui essa va ricercata nell'ambito di diverse fonti normative che hanno però origine e connotati diversi tra loro (Giovagnoli, 2023).

Dalla Legge n.1089 del 1939 in poi si sono susseguite diversi strumenti normativi che hanno posto sempre maggiore attenzione alle tematiche ambientali, dentro le quali trovano spazio anche le componenti geologiche e geomorfologiche. Più recentemente, diverse regioni si sono dotate di leggi a tutela del patrimonio geologico tra cui la Puglia, che con la Legge Regionale n.33/2009 "Tutela e valorizzazione del patrimonio geologico e ipogeo" ha anche istituito il catasto regionale di geositi e grotte.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO REGIONALE

L'area oggetto di attenzione del presente studio ricade in provincia di Taranto e, in particolare, in quella porzione di territorio che va dall'abitato di Lizzano fino al Mar Ionio (Fig. 1), nelle c.d. "Murge Tarantine", uno dei cinque distretti morfologici riconosciuti nella Puglia meridionale (Mastronuzzi & Sansò, 2017). Le Murge Tarantine costituiscono una dorsale fortemente asimmetrica di modesta quota che si estende in direzione O-E, interposta tra l'anfiteatro tarantino a ovest, la pia-

na Brindisi-Taranto a nord e la penisola salentina a sud-est. Queste ultime due aree sono separate da una ampia zona pianeggiante che si estende da Brindisi a Taranto, interessata da un allineamento tettonico O-E (Tozzi, 1993; Gambini & Tozzi, 1996), la Zona di Faglia del Salento Settentrionale, una struttura tettonica con comportamento trascorrente destro di importanza regionale.

Il paesaggio fisico dell'area di Taranto è costituito da una gradinata di terrazzi marini separati da scarpate di altezza variabile associati a diverse generazioni di cordoni dunali relitti (Dai Pra & Hearty, 1992; Bentivenga *et al.*, 2004). Sono presenti anche aree leggermente depresse endoreiche che costituiscono spesso zone acquitrinose e palustri (Martinis & Robba, 1971). Questo paesaggio è il risultato della combina-

zione del sollevamento regionale con le oscillazioni glacioeustatiche del livello del mare che si sono succedute a scala planetaria nel corso delle ultime centinaia di migliaia di anni (Mastronuzzi & Sansò, 2002). Lo studio dei terrazzi marini del Golfo di Taranto ha per questo fornito preziose indicazioni sia sulle variazioni glacioeustatiche del livello del mare sia sui tassi di sollevamento della regione nel corso del Pleistocene medio-superiore (Ricchetti, 1967). La diffusa presenza di depositi fossiliferi in generale, e di fauna senegalese nei terrazzi a quota più bassa in particolare (*e.g.*, *Strombus bubonius* Lamarck, *Conus testudinarius* Hwass, *Cantharus viverratus* Kiener, *Cymatium trigonum* Gmelin, *etc.*) e di *Cladocora caespitosa* Linneaus ha attirato l'attenzione di numerosi studiosi a partire dall'inizio dello scorso secolo.

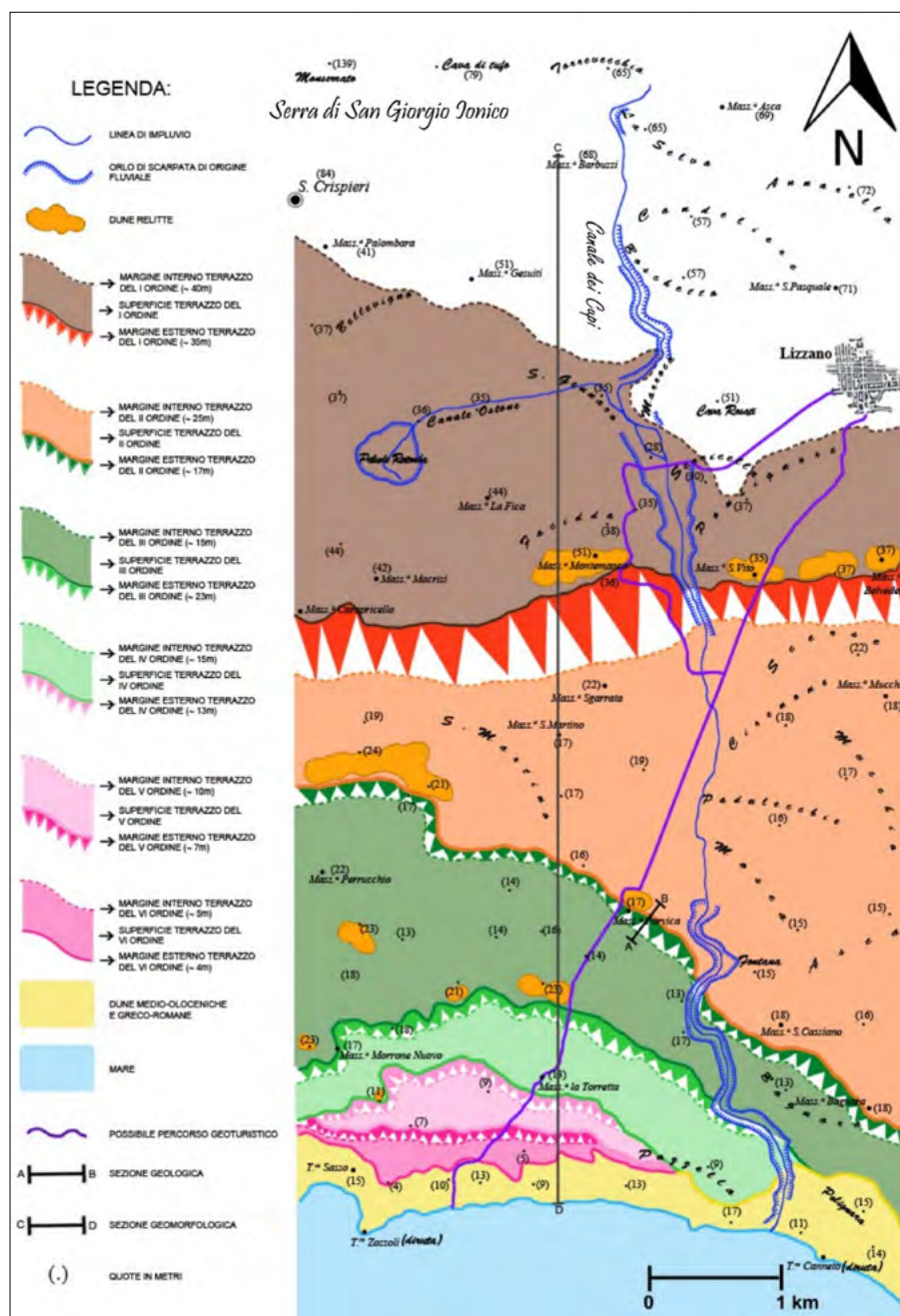


Figura 2. Carta geomorfologica dell'area di studio

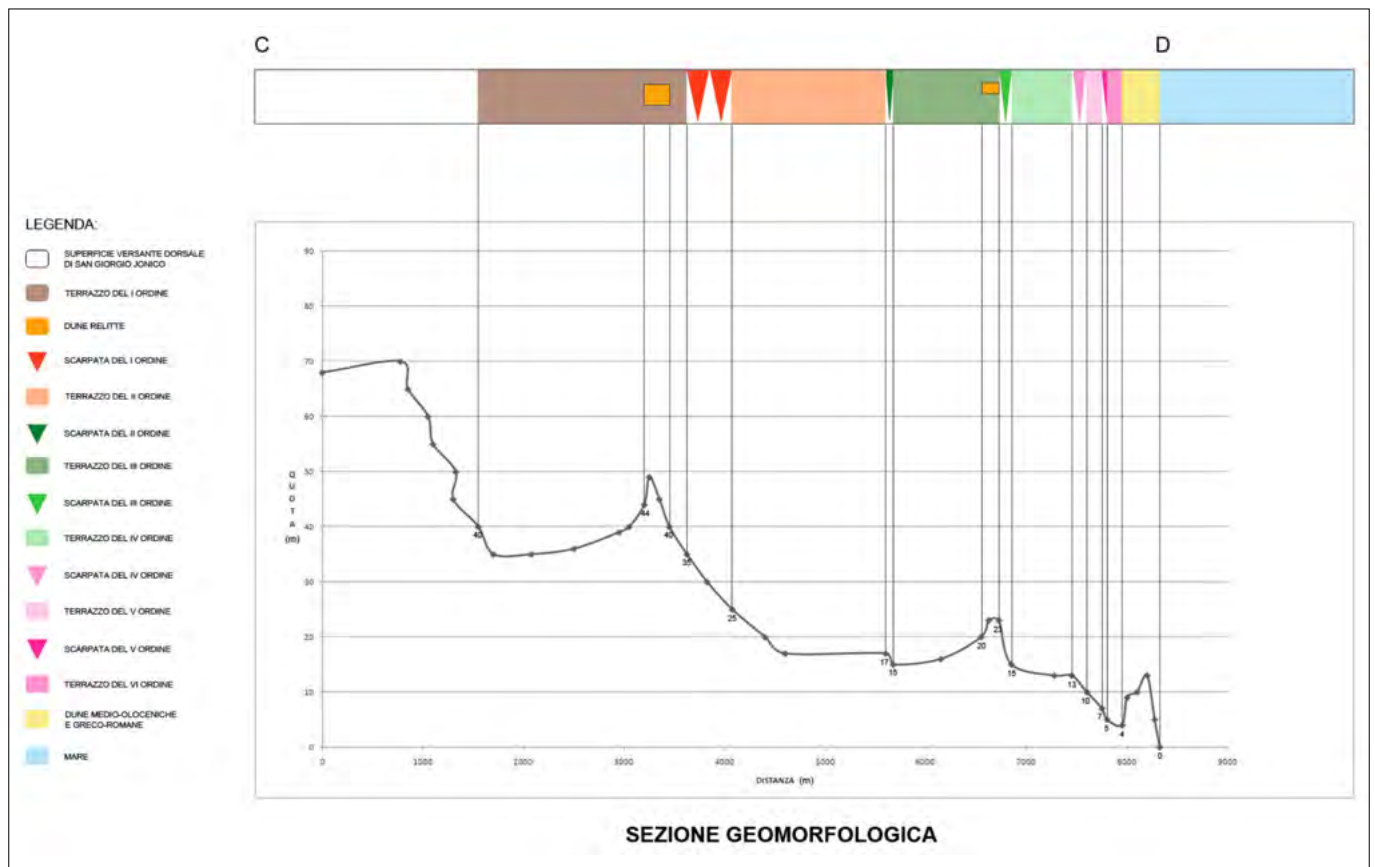


Figura 3. Sezione geomorfologica dell'area di studio. Notare la forte esagerazione verticale

Difatti, l'area del tarantino è stata ampiamente studiata, soprattutto nel corso del XX secolo (Gignoux, 1913, 1960 a, 1960 b, 1960 c; Cotecchia *et al.*, 1969, 1971; Dai Pra & Stearns, 1977; Dai Pra & Hearty, 1988, 1989; Belluomini *et al.*, 2002).

La piana estesa tra Brindisi e Taranto, invece, è caratterizzata da una bassa gradinata di superfici terrazzate del Pleistocene medio-superiore drenata da un reticolo idrografico policiclico di natura relitta che scorre verso il Mar Adriatico (Sansò, 2019).

La penisola salentina rappresenta l'area più meridionale della regione pugliese e mostra un paesaggio localmente articolato da una serie di strette dorsali morfostrutturali, localmente denominate "Serre" (Mastronuzzi & Sansò, 2017).

IL PAESAGGIO FISICO DELL'AREA COSTIERA DI LIZZANO

Il paesaggio fisico dell'area costiera di Lizzano appare caratterizzato dal punto di vista geomorfologico da forme marine (terrazzi), eoliche (cordoni dunali), fluviali (incisioni relitte) e carsiche (*sinkhole*).

Nell'area di studio è possibile riconoscere una gradinata di terrazzi marini estesa tra 40 m di quota e il livello del mare separati da scarpate di altezza va-

riabile, prodotta dalla sovrimposizione del sollevamento tettonico regionale alle variazioni eustatiche del livello del mare verificatesi nel corso del Pleistocene medio-superiore. Nel dettaglio la gradinata appare composta da 6 ordini di terrazzo (Figg. 2-3). Il terrazzo del I ordine ha il margine interno posto a 40 m s.l.m.. Stranamente la superficie del terrazzo si presenta in contropendenza, ossia è inclinata verso monte, tanto che si in corrispondenza del margine interno viene ad individuarsi un'ampia zona endoreica (località San Gennaro) drenata dal Canale dei Cupi, il cui andamento originale è stato profondamente modificato dall'azione antropica. Il margine esterno di questo terrazzo è segnato dalla presenza di un rilevato cordone dunale relitto; una serie di masserie (Mass. Montemanco, Mass. San Vito, Mass. Belvedere) sono state costruite proprio sui punti maggiormente rilevati del cordone, con una quota massima di 51 m s.l.m.. Una paleo-falesia, posta da 35 a 25 metri di quota, costituisce il margine interno del terrazzo del II ordine mentre il suo margine esterno si allunga in direzione O-E a quota 17 m s.l.m.. Anche il margine esterno di questo terrazzo è segnato da dune consolidate, come a Mass. Porvica (Fig. 2) dove esse raggiungono la sua massima quota di 24 m s.l.m., a Est di località S. Martino. Nei depositi di questo terrazzo sono stati rinvenuti

i resti di *Strombus bubonius* Lamarck e per questo riferito al periodo più caldo dell'ultimo periodo interglaciale databile a circa 125 ka (Dai Pra & Stearns, 1977; Dai Pra & Hearty, 1988). Questo preciso dato cronologico ha permesso di calcolare un tasso di sollevamento medio per quest'area di circa 0,15 m/ka molto simile al valore calcolato nell'area del Mar Piccolo (0,18 m/ka) (Dai Pra & Hearty, 1988).

I rapporti tra il terrazzo del II ordine e quello di ordine successivo sono ben esposti in località Mass. Porvica dove uno scavo per una costruzione edilizia, realizzato nel periodo di espletamento delle attività di campo (aprile/maggio 2010), ha permesso di osservare la locale successione stratigrafica (Figg. 4-6). La sezione è ubicata proprio in corrispondenza del gradino morfologico che separa il terrazzo del II e del III ordine. Lungo la sezione è ben visibile il contatto a mantello tra i depositi marini del terrazzo del III ordine su quelli del II (Fig. 4), localmente caratterizzati da sabbie ad elevato contenuto algale e ceppi di *Cladocora caespitosa* Linnaeus in posizione fisiologica (Fig. 6). Entrambi i depositi marini terrazzati poggiano direttamente su sabbie argillose giallastre, potenti 3 metri, riferibili probabilmente alla "Formazione di Gallipoli" (Fig. 5), ed affioranti in più punti lungo la costa tarantina al di sotto dei depositi marini



Figura 4. Località Mass. Porvica; apprezzabile in sezione il contatto a mantello tra i depositi marini del terrazzo del III ordine su quelli del II ordine

terrazzati. Seguono infine, verso il basso, le argille subappennine.

Il terrazzo del III ordine ha il margine interno posto ad una quota di 15 m s.l.m. e allungato parallelamente a quello del terrazzo precedente. Il suo margine esterno è anche esso marcato da un cordone dunale che raggiunge quota 23 m s.l.m. (Figg. 2 e 3). Questo terrazzo può essere anch'esso riferito all'ultimo periodo interglaciale e quindi databile tra 105 e 85 ka (Dai Pra & Harty, 1988). I terrazzi degli ordini successivi, di estensione piuttosto limitata rispetto ai precedenti, sono separati da piccoli gradini morfologici e potrebbero essere riferiti a stazionamenti del livello del mare verificatisi nel corso dell'OIS (*oxygen isotope substage*) 3 analogamente a quanto suggerito per l'area del Mar Piccolo di Taranto (Belluomini *et al.*, 2002).

Ai terrazzi marini si accompagnano diverse generazioni di cordoni dunali relitti. Depositi dunali relitti riferibili al terrazzo del I ordine sono ben visibili in corrispondenza delle cave dismesse presenti in località Mass. Montemanco (Fig. 7), con quota massima di 51 metri; lo stesso cordone dunale è ben visibile anche nei pressi di Mass. San Vito. Questo terrazzo è antecedente al Tirreniano ed è probabilmente databile tra 260 e 200 ka (Dai Pra & Stearns, 1977). Sulle culminazioni topografiche dei cordoni sono state costruite nei secoli scorsi una serie di fabbricati rurali (masserie), tra cui la succitata Mass. San Vito (Fig. 2). I depositi dunali sono stati in passato attivamente sfruttati per l'estrazione di concii per l'edilizia e per questo nell'area sono presenti numerose cave di "carparo" (il nome locale con cui vengono denominati i depositi eolici cementati) che permettono l'osservazione diretta della struttura interna dei cordoni (Fig. 7). Estesi cordoni dunali di età olocenica ricoprono parzialmente i terrazzi marini più bassi in quota. Nel dettaglio è possibile riconoscere due generazioni di dune, una di età medio-olocenica costi-

tuita da sabbie cementate con rari resti di *Helix* sp., l'altra di età greco-romana contraddistinta da sabbie marroncinie sciolte con numerosi livelli di suolo e abbondanti resti di *Helix* sp.. Difatti, queste due generazioni di depositi dunali di età olocenica si riconoscono diffusamente lungo il perimetro costiero della Puglia meridionale (Mastronuzzi & Sansò, 2002).

Nell'area è possibile riconoscere una rete idrografica prevalentemente esoreica di natura relitta. L'asta fluviale più importante è rappresentata dal Canale dei Cupi, che scorrendo in direzione N-S ai piedi della Serra di San Giorgio Jonico sfocia in corrispondenza del margine interno del terrazzo del I ordine, caratterizzato dalla presenza dell'area endoreica di San Gennaro. Una seconda incisione fluviale, anch'essa allungata grosso modo in direzione S-N, si estende da località Serricella (terrazzo del I ordine) fino al margine interno del terrazzo del II ordine.

Un'altra estesa incisione taglia la superficie terrazzo del II ordine e quelle

degli ordini successivi fin quasi alla linea di riva. Il corso d'acqua, alimentato da una serie di sorgenti, si presenta ancora attiva. È possibile inoltre individuare delle piccole aree endoreiche, prodotte dal basculamento verso terra delle superfici terrazzate, soprattutto quelle di ordine inferiore. Queste aree hanno subito negli anni passati degli interventi di bonifica. La Palude Rotonda, una depressione sub-circolare presente sulla superficie del terrazzo del I ordine appare per questo collegata al Canale dei Cupi tramite il Canale Ostone. Un altro canale, con direzione N-S, drena l'area endoreica di San Gennaro e quella di Padulecchie, sversando le acque nel tratto terminale del Canale dei Cupi, in località Fontana (Fig. 2).

Infine, da segnalare nell'area di studio la presenza di una dolina da crollo (Fig. 8), forma carsica epigea localmente detta "Spunnulata"; questo sito riveste una notevole importanza naturalistica rientrando nella lista della Direttiva "Habitat" 92/43/CEE (Mastronuzzi *et al.*, 2015).



Figura 5. Località Mass. Porvica. Uno scavo ha messo in luce la locale successione stratigrafica: a) Argille Subappennine (non affioranti ma raggiunte dalla perforazione); b) Formazione di Gallipoli; c) deposito marino terrazzato



Figura 6. Cespo di *Cladocora Caespitosa* in posizione fisiologica rinvenuta nei depositi del terrazzo del II in località Mass. Porvica

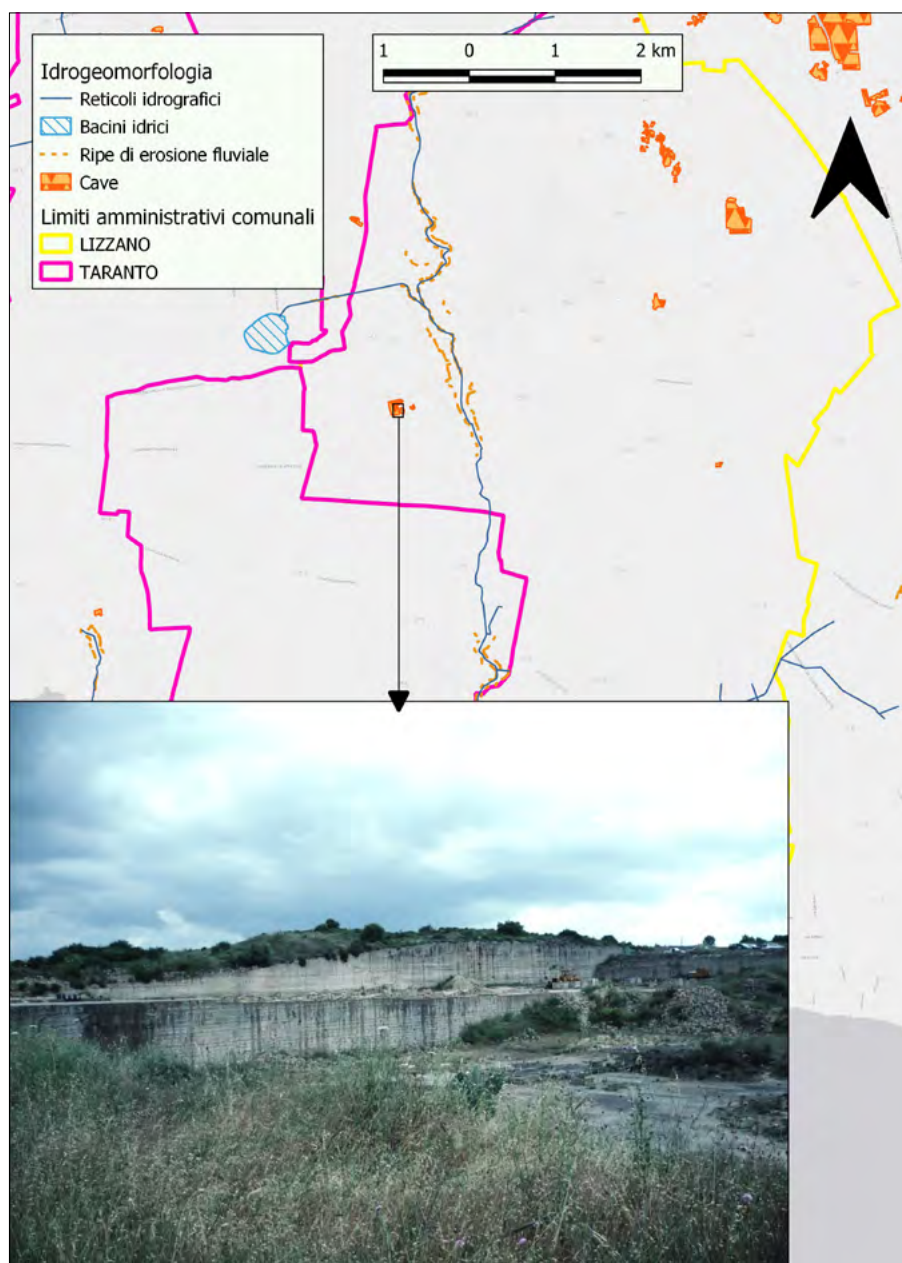


Figura 7. Localizzazione delle cave nell'area di studio. Particolare riferimento alla cava di calcarenite (carparo) abbandonata, in località Montemanco

PROPOSTA DI VALORIZZAZIONE

Lo studio dell'area oggetto del presente lavoro ha messo in evidenza le potenzialità del territorio costiero di Lizzano per lo sviluppo di un'offerta geoturistica.

L'intera gradinata può essere osservata facilmente percorrendo la strada provinciale che dal centro abitato porta fino alla linea di riva, nei pressi di Torre Zozzoli (meglio conosciuta come "Torre Sgarrata").

In particolare, guardando con occhio interessato è possibile apprezzare i margini interni dei diversi ordini di terrazzo, corrispondenti alle antiche linee di costa, oltre che i principali cordoni dunali relitti ubicati in corrispondenza del margine esterno dei terrazzi. Difatti, le caratteristiche peculiari del paesaggio costiero di Lizzano forniscono informazioni sul Quaternario, in particolare sulle variazioni del livello del mare, grazie proprio alla presenza dei terrazzi marini, ben individuabili nell'area che dal centro abitato si dirige alla litoranea. Non è un caso che l'area di studio comprenda ben 4 siti (geositi o emergenze geologiche) individuati nell'ambito del "Progetto Geositi" (Fig. 8), con il quale la Regione Puglia ha avviato un primo censimento del patrimonio geologico regionale a partire dalle aree protette (Mastronuzzi *et al.*, 2015).

Tale progettualità, finanziata con fondi FESR, rappresenta una diretta conseguenza della Legge Regionale n. 33 del 2009 sulla tutela del patrimonio geologico e speleologico, una delle poche in Italia inerente questo specifico obiettivo.

Il censimento disponibile sul sito www.geositipuglia.eu dovrà essere integrato nell'Inventario Nazionale dei Geositi dell'ISPRA.

Un'opera di valorizzazione di un sito, o di un'area come in questo caso, presuppone innanzitutto l'iniziativa di un gruppo di persone che condividano l'interesse a trovare la soluzione migliore per una buona gestione dello stesso, mosse anche un senso di appartenenza. Nel caso specifico la presenza nell'area di Isole Amministrative del Comune di Taranto (Fig. 1) potrebbe pertanto rappresentare un ostacolo alla definizione dei suoi confini. Ma in una località a vocazione turistica come Lizzano, molto apprezzata per il suo vino e soprattutto per lo splendido mare, caratterizzato da acque cristalline e sabbie molto chiare, si dovrebbe pensare a strutturare un turismo di tipo geologico-naturalistico, in

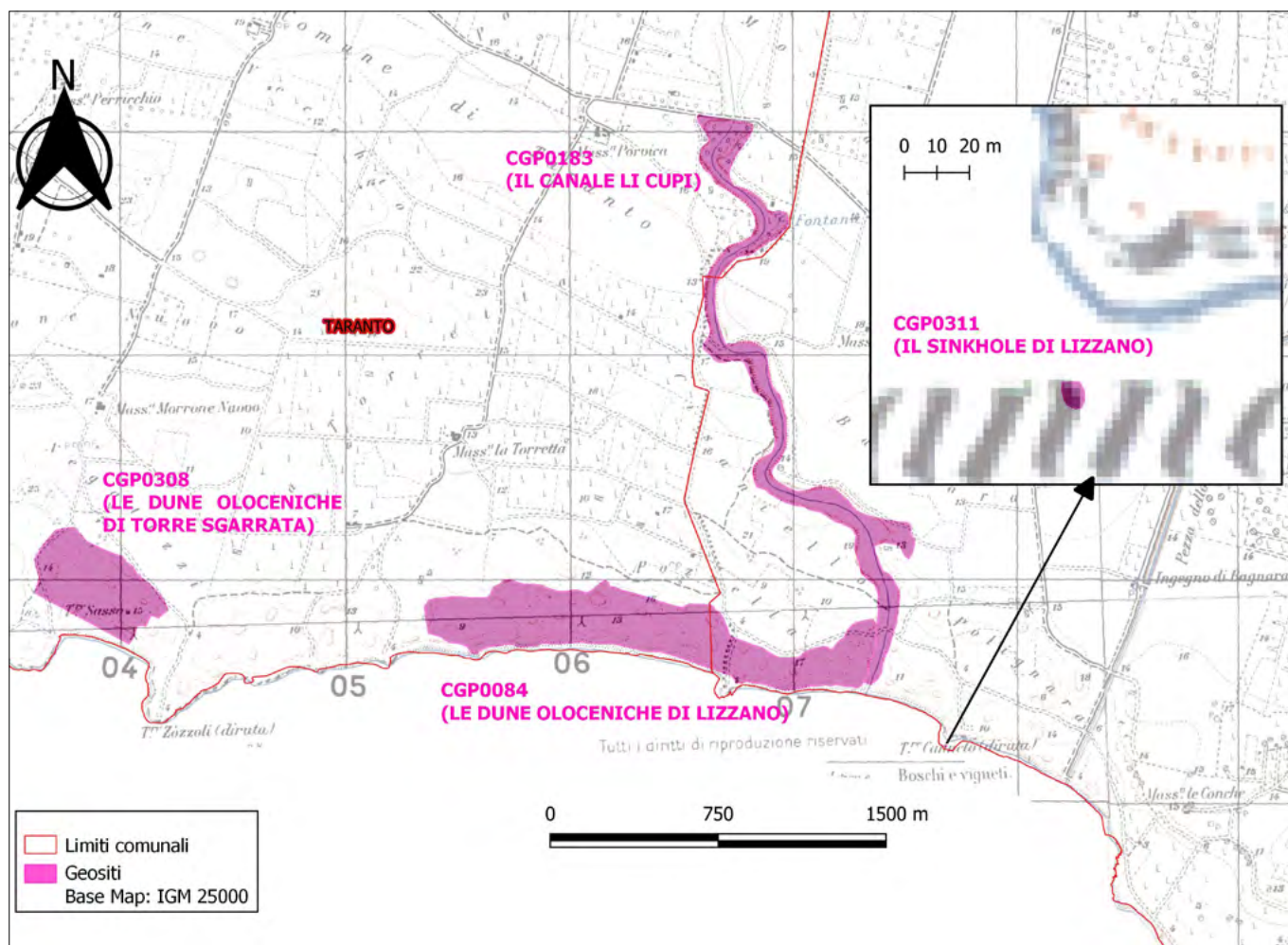


Figura 8. Geositi presenti nell'area di studio e censiti nel progetto regionale

alternativa al turismo di massa tipicamente stagionale.

Un geosito può rappresentare in tal senso un volano per lo sviluppo economico delle realtà locali. Esso avrebbe un ruolo di primaria importanza per la comprensione della storia geologica del territorio, oltre che per la tutela del paesaggio, della biodiversità e per l'educazione ambientale, in considerazione anche degli aspetti economici e sociali derivanti.

I beni geologici e geomorfologici non sono risorse rinnovabili e per questo non possono esser lasciati al loro destino, ma vanno valorizzati.

La conservazione del patrimonio geologico di Lizzano, con la sua rappresentatività e l'interesse scientifico che ne scaturisce, potrebbe apportare un valore educativo aggiuntivo alle Scienze della Terra a livello locale. All'uopo si potrebbe sfruttare la viabilità provinciale già esistente e creare un percorso dedicato alla mobilità dolce (*e.g.*, piedi, bici, cavallo, *etc.*) che, nella parte più a nord dell'area, potrebbe legarsi alle strade vicinali ed ai tratturi per toccare la località Mass. Montemanco, dove risulta ben esposto il deposito del cordone dunale del terrazzo pre-tirreniano.

Il percorso ciclo-pedonale (*Fig. 2*) potrebbe continuare verso la linea di riva andando così a costituire una pista ciclabile a servizio dei turisti che dal centro abitato di Lizzano si spostano verso i lidi. In corrispondenza dei punti notevoli, molti dei quali marcati dalla presenza di masserie fortificate, si potrebbero realizzare delle piazzole per la sosta in sicurezza dei veicoli; qui dovrebbero essere installati dei pannelli informativi a basso impatto visivo.

All'ingresso della città, si potrebbe implementare un servizio di *sharing mobility* per la visita del sito e della litoranea, dando così un'alternativa all'utilizzo delle automobili, diminuendo anche l'impatto sul sistema dunale dell'area, già in evidente degrado. Torre Zozzoli potrebbe configurarsi come zona parcheggio per le stesse bici, oltre che come area ristoro per i visitatori. Essa ha rappresentato una torre di avvistamento anti-saracena risalente al '500 d.C. e, assieme a Torre Castelluccia e Torre Canneto (ormai scomparsa), faceva parte con Mass. La Torretta di un importante sistema di difesa. Difatti, il Golfo di Taranto è pregno di storia ed il connubio geologia/archeologia ben si sposa con il concetto di turismo sosteni-

bile (Guastella & La Sorsa, 2014). D'altro canto, la stessa torre simbolo di un passato e di una concezione di vita basata sulla necessità quotidiana di difesa da un nemico da respingere a tutti i costi, potrebbe ora acquistare una nuova funzionalità, divenendo un centro didattico e d'accoglienza ricco di informazioni e strumenti (anche di nuova tecnologia) per la conoscenza e la salvaguardia del sito. In questo centro visite potrebbero, ad esempio, lavorare delle guide accreditate e da qui potrebbero essere avviate delle visite guidate, sia nell'entroterra che lungo la linea di riva e/o in barca. Lungo il percorso che dall'abitato si dirige verso la linea di riva sarà opportuno installare cartellonistica, possibilmente in corrispondenza dei nodi principali del percorso, che fornisca ulteriori informazioni sui vari terrazzi marini e sulle peculiarità dell'area, fruibili anche mediante *QR-Code* leggibile con apposita *App* per dispositivi mobili, da sviluppare *ad hoc*.

Per un'adeguata promozione del Parco occorrerebbe inoltre realizzare un sito *web*, comprensivo di un Sistema Informativo Territoriale (SIT). Importante sarà promuovere conferenze o eventi riguardanti la geologia ambientale, per

offrire a tutti l'opportunità di entrare in contatto con un mondo, quello delle Scienze della Terra, che può essere trasmesso ad una platea che va oltre quella degli appassionati, se chi lo racconta sa trasformare il linguaggio dello specialista nel linguaggio comune del pubblico. Valorizzare un geosito vuol dire offrire occasioni di sviluppo, creando nuove figure professionali o perfezionando quelle del settore naturalistico-geologico, esperte anche nella comunicazione. Tutto questo innescherebbe una crescita di domanda turistica e quindi la nascita di nuove imprese legate al settore, che dovranno tuttavia rispondere a dei requisiti di sostenibilità, per uno sviluppo che guardi anche alle future generazioni.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- BELLUOMINI G., CALDARA M., CASINI C., CERASOLI M., MANFRA L., MASTRONUZZI G., PALMENTOLA P., SANSÒ P., TUCCIMEI P., VESICA P.L. (2002), *The age of Late Pleistocene shorelines and tectonic activity of Taranto area, Southern Italy*. Quaternary Science Reviews, 21, 525-547.
- BENTIVENGA M., COLTORTI M., PROSSER G., TAVARNELLI E. (2004), *A new interpretation of terraces in the Taranto Gulf: the role of extensional faulting*. Geomorphology, 60, 383-402.
- BENTIVENGA M. (2015), *I geositi: non solo geologia, prospettive economiche e occupazionali*. Geologia dell'Ambiente, Periodico trimestrale della SIGEA, Supplemento al n.1/2015. ISSN 1591-5352
- BOLLATI I.M., GIOVAGNOLI M.C., ZARLENGA F., GISOTTI G. (2022), *ProGEO – The International Association for the Conservation of Geological Heritage e il ruolo dell'Italia nelle attività del gruppo regionale dell'Europa sudoccidentale*, Periodico trimestrale della SIGEA, n.3/2022, pp. 7-10, ISSN 1591-5352.
- COTECCHIA V., DAI PRA G., MAGRI G. (1969), *Oscillazioni tirreniane e oloceniche del livello del mare nel Golfo di Taranto, corredate da datazioni con il metodo del radiocarbonio*. Geol. Appl. Idrog., 4, 93-148.
- COTECCHIA V., DAI PRA G., MAGRI G. (1971), *Sul Tirreniano della costa ionica salentina (Puglia). Datazione di un campione di coralli col metodo del Th230/U234*. Geol. Appl. e Idrogeol., 6, 105-112.
- DAI PRA G., HEARTY P.J. (1988), *I livelli marini pleistocenici del Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica*. Atti 74° Congresso Soc. Geol. It., B 183-189. Mem. Soc. Geol. It., 42, 1-9.
- DAI PRA G., HEARTY P.J. (1989), *Variazioni del livello del mare sulla costa ionica salentina durante l'olocene. Epimerizzazione dell'Isoleucina in Helix Sp.* Memorie della Società Geologica Italiana, 42 (1989), 311-320.
- DAI PRA G., HEARTY P.J. (1992), *I livelli marini pleistocenici del Golfo di Taranto. Sintesi geocronostratigrafica e tettonica*. Memorie della Società Geologica Italiana 41 (1988), 637-644.
- DAI PRA G., STEARNS C.E. (1977), *Sul Tirreniano di Taranto. Datazioni su coralli con il metodo del Th230/U234*. Geologica Romana, 16, 231-242.
- GAMBINI R., TOZZI M. (1996), *Tertiary geodynamic evolution of the Southern Adria Microplate*. Terranova, 8, 593-602.
- GEREMIA F., BENTIVENGA M., PALLADINO G. (2015), *Environmental Geology Applied to Geoconservation in the Interaction Between Geosites and Linear Infrastructures in South-Eastern Italy*. Geoheritage, 7, 33-46. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12371-015-0145-0>
- GIGNOUX M. (1913), *Les formations marines pliocene et quaternaires de l'Italie du Sud et de la Sicilie*. Ann. de l'Univ. de Lyon, 36, 393.
- GIGOUT M. (1960a), *Sur le Quaternaire marin de Pulsano (Tarente, Italie)*. C. R. Acad. Sc., 250, 881-883.
- GIGOUT M. (1960b), *Sur le Quaternaire marin de Tarente (Italie)*. C. R. Acad. Sc., 250, 1094-1096.
- GIGOUT M. (1960c), *Sur le Quaternaire marin de Gallipoli (Italie)*. C. R. Acad. Sc., 250, 1295-1297.
- GIOVAGNOLI M.C. (2023), *Geositi: importanti elementi della geodiversità di una regione, ancora lontani dall'essere tutelati*. In: *La geologia ambientale al servizio del paese*, Periodico trimestrale della SIGEA, Supplemento al n. 3/2022, pp. 178-179, ISSN 1591-5352.
- GUASTELLA P., LA SORSA N. (2014), *Proposta di itinerario geoarcheologico: da Punta Penna a Masseria San Pietro*. In: Supplemento al n. 2/2014 di Geologia dell'Ambiente, periodico della SIGEA, pp. 103-106. ISSN 1591-5352.
- ISPRA, <http://sgi.isprambiente.it/geositiweb/>, consultazione: 25/02/2023, h: 11:08.
- MARTINIS B., ROBBA E. (1971), *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia*, Foglio 202, Taranto, Arti grafiche ditta E. Di Mauro, Cava dei Tirreni.
- MASTRONUZZI G. (2010), *I Terrazzi Marini*. In: *Il Patrimonio Geologico della Puglia. Territorio e Geositi. Regione Puglia*, Supplemento al n. 4/2012 di Geologia dell'Ambiente, periodico della SIGEA, pp. 87-93. ISSN 1591-5352.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P. (2002), *Holocene coastal dune development and environmental changes in Apulia (southern Italy)*. Sedimentary Geology, 150, 1-2, 139-152.
- MASTRONUZZI, G.; SANSÒ, P. (2017), *The Salento Peninsula (Apulia, Southern Italy): A Water-Shaped Landscape Without Rivers*. In *Landscapes and Landforms of Italy*. SOLDATI, M., MARCHETTI, M., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, pp. 421-430.
- MASTRONUZZI G., VALLETTA S., DAMIANI A., FIORE A., FRASCANGELI R., GIANDONATO P.B., IURILLI V., SABATO L. (2015), *Geositi della Puglia*. I Ed, Regione Puglia, Sagraf, Capurso (BA), ISBN: 9788890671685.
- PESCATORE E., BENTIVENGA M., GIANO S.I. (2022), *Geoheritage management in areas with multicultural interest contexts*. Sustainability, 14(23), 15911; doi: <https://doi.org/10.3390/su142315911>
- PETROSILLO I., ZURLINI G., GRATO E., ZACCARELLI N. (2006), *Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems*, Ecological Indicators, 6 (1), 104-113, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecoind.2005.08.008>
- PILOGALLO A., NOLÈ G., AMATO F., SAGANEITI L., BENTIVENGA M., PALLADINO G., SCORZA F., MURGANTE B., LAS CASAS G. (2019), *Geotourism as a Specialization in the Territorial Context of the Basilicata Region (Southern Italy)*. Geoheritage, 11, 1435-1445, doi: <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00396-9>
- POLI G. (1999), *Geositi. Testimoni del tempo*. Regione Emilia-Romagna, Edizioni Pendragon, Bologna.
- RICCHETTI G. (1967), *Osservazioni preliminari sulla geologia e morfologia dei depositi quaternari dei dintorni del Mar Piccolo (Taranto)*. Atti Acc. Gioenia Sc. Nat., s. 6 (18), 123-130, Catania.
- SANSO P. (2019), *Devil Landforms as Resources for Geotourism Development: An Example from Southern Apulia (Italy)*. Resources, 8, 131. doi: <https://doi.org/10.3390/resources8030131>
- SISTO M., CRESTA A. (2023), *The Valorisation of an Ancient Traditional Practice for the Promotion of Rural and Sustainable Tourism: The "Tracing of the Straight Furrow" in Central and Southern Italy*. Highlights of Sustainability, 2(1), 16-34. doi: <https://doi.org/10.54175/hsustain2010003>
- SISTO M., DI LISIO A., RUSSO F. (2022), *Geosite Assessment as a Tool for the Promotion and Conservation of Irpinia Landscape Geoheritage (Southern Italy)*. Resources, 11, 97. doi: <https://doi.org/10.3390/resources11100097>
- TOZZI M. (1993), *Assetto tettonico dell'avampese apulo meridionale (Murge meridionali-Salento) sulla base dei dati strutturali*. Geol. Romana, 28, 95-111.
- WIMBLETON W.A.P., ANDERSENS S., CLEAL C.J., COWIE J.W., ERIKSTAD L., GONGGRIJ P., JOHANSSON C.E., KARIS L.O., SUOMINEN V. (1996), *Geosites, A global comparative site inventory to enable prioritisation for conservation*. Second international Symposium on the Conservation of our Geological heritage: genotype conservation worldwide, European and Italian experiences (Rome, 1996), Mem. Descr. Carta Geol. D'It. 2000, 45-60.

RINGRAZIAMENTI

L'autore ringrazia il Prof. Paolo Sansò, già suo docente relatore nel 2010 per la tesi di laurea del corso triennale in Scienze e tecnologie per l'ambiente e il territorio. I suoi preziosi consigli e insegnamenti durante le attività di studio ed in campagna, oltre che i costruttivi commenti in fase di revisione dell'articolo, sono stati fondamentali per la stesura del presente lavoro.

I Geositi delle Marche: un patrimonio di geodiversità di eccezionale valore

The Geosites of Marche Region: a geodiversity heritage of exceptional value

Parole chiave: Geositi, Geodiversità, Patrimonio geologico, Regione Marche
Key words: Geosites, Geodiversity, Geoheritage, Marche Region

Gigliola Alessandrini¹, Fabrizio Bendia^{2,3},
Piero Farabollini^{2,3}, Enrico Gennari^{1,5},
Olivia Nesci⁴, Beniamino Tatali¹,
Laura Valentini⁴

¹SIGEA (A.P.S.) Marche

²Università di Camerino (MC), Sezione di Geologia

³Ordine dei Geologi delle Marche

⁴Università di Urbino (PU), Sezione di Geologia

⁵Coordinatore Gruppo di Lavoro

E-mail: e.gennari@consulenzaeprogetto.it

ABSTRACT

During the first decade of January 2022, the section of Marche Region of "Italian Society of Environmental Geology" (from this moment on "SIGEA") summoned a working table with the Council of Professional Geologists of Marche Region and the two universities of geology of Marche Region, that is Camerino (MC) and Urbino (PU).

This original and virtuous initiative gathered the three most important regional entities and associations, sharing their experiences and knowledge with a unique aim: to contribute to the census, enhancement, safeguarding, and promotion of the geosites of their territory.

The project has foreseen to draw up a document to share with regional administrators in order to protect the geological heritage, starting from insights based on knowledges and experiences of each team member (also made up of professional geologists, university professors and researchers, authors of countless publications on geosites and geotourism). The document saw an initial recognition of geosites on Marche region, catalogued and subdivided into punctual geosites and aerial geosites. In the first case, a single geosite in a single point and in the latter case an area composed of two or more sites of geological interest. This subdivision was necessary mostly because of the need for an adequate graphic representation in cartography. The catalogue collected a total amount of 197 geosites and they are also represented in the cartography attached, manageable through GIS software.

Looking at the distribution, it appears as geosites are mostly distributed along the Apennine Mountain ridge and in those areas where the geological and geomorphological processes acted originating and showing peculiar outcrops or created spectacular morphologies and didactically significant.

For some geosites considered more didactic, specific deepening datasheets

have been created, where the geological history and the peculiarities have been described and analyzed in detail, also assigning a historical-cultural value.

Future developments of this project could foresee the possibility to quantify the parameters taken into consideration, in order to obtain also a database useful for their comparison and classification.

The bibliographic articles have been collected in a list of about 80 publications, attached to the final document donated and transmitted to the Marche Region. In this document were collected all the overmentioned information.

In 1989 Marche Region, with the "PPAR" (environmental landscape regional plan), paid attention to "Geological Emergencies" for the first time in Italy. Today, this working group considered ad appropriate to give attention again to this issue, involving not only technicians and scientists interested in the subject but also the Regional Administrators (in order to raise awareness of it). Therefore, together with the catalogue of identified geosites, it was also decided to present an administrative act addressed to the promulgation of a regional law concerning the "Legislation for the conservation and enhancement of geosites and geodiversity in Marche Region and of the activities related with it." This product was illustrated during a national conference on May 25, 2022 in Ancona, at the headquarters of the Marche Region. In just four months, solid foundations have been built for a regional law proposal concerning the "Rules for the conservation and enhancement of the geosites and geodiversity of the Marche and its related activities."

RIASSUNTO

Nella prima decade di gennaio 2022, la sezione della Regione Marche della "Società Italiana di Geologia Ambientale" ("SIGEA") convocò un tavolo di lavoro che coinvolgeva L'Ordine dei Geologi delle Marche e le due Univer-

sità di Geologia regionali di Camerino (MC) e Urbino (PU).

Questa originale e virtuosa iniziativa ha riunito i tre più importanti enti e associazioni regionali, al fine di condividere le proprie esperienze e conoscenze con un unico scopo: contribuire al censimento, alla valorizzazione, alla salvaguardia e alla promozione dei geositi del proprio territorio.

L'idea progettuale ha previsto la redazione di un documento da presentare direttamente agli amministratori regionali per dare un impulso alla tutela del patrimonio geologico, partendo da una ricognizione bibliografica e proseguendo con approfondimenti legati alla conoscenza ed esperienza di ciascun membro del team (composto da geologi liberi professionisti, docenti universitari e ricercatori, autori di innumerevoli pubblicazioni su geositi e geoturismo).

Il documento ha visto una prima, iniziale, ricognizione dei geositi presenti sul territorio marchigiano, che sono stati catalogati e suddivisi in geositi "punctuali" e geositi "areali" dove i primi sono luoghi con un unico geosito in un unico punto, mentre i secondi rappresentano un'area composta da due o più siti di interesse geologico. Questa suddivisione si è resa necessaria soprattutto per restituire un'adeguata rappresentazione cartografica: il catalogo, infatti, raccoglie un totale di 197 geositi dove ogni punto è stato geolocalizzato e, quindi, visualizzabile e gestibile tramite software GIS.

Osservando la distribuzione, appare come i geositi siano per lo più distribuiti lungo la dorsale appenninica e in quelle aree dove i processi geologici e geomorfologici hanno agito originando e mostrando affioramenti particolari, o creato morfologie spettacolari e didatticamente significative.

Per alcuni geositi ritenuti più caratteristici del paesaggio marchigiano sono state realizzate apposite schede di approfondimento, dove la storia geologica e le peculiarità sono state descritte

e analizzate in dettaglio, attribuendo anche una valenza storico-culturale.

Sviluppi futuri di questo progetto potrebbero prevedere la possibilità di quantificare i parametri presi in considerazione, al fine di ottenere anche un database utile al loro confronto e classificazione.

Nel documento finale trasmesso alla Regione Marche è presente un elenco di circa 80 pubblicazioni scientifiche, da cui sono state raccolte tutte le informazioni sopra menzionate.

Nel 1989 la Regione Marche, con il "PPAR" (Piano Regionale Paesaggio Ambientale), si è occupata per la prima volta in Italia delle "Emergenze Geologiche e Geomorfologiche". Oggi, questo gruppo di lavoro ha ritenuto opportuno riportare l'attenzione su questo tema, coinvolgendo non solo tecnici e scienziati interessati all'argomento ma anche gli Amministratori Regionali (al fine di sensibilizzare la loro attenzione verso il patrimonio geologico e geomorfologico). Pertanto, unitamente al catalogo dei geositi individuati, si è deciso di presentare anche una proposta di atto amministrativo volta alla promulgazione di una legge regionale concernente la "Normativa per la conservazione e la valorizzazione dei geositi e della geodiversità nella Regione Marche e delle attività ad essa connesse". Questo prodotto è stato illustrato durante un convegno nazionale il 25 maggio 2022 ad Ancona, presso la sede della Regione Marche. Con il presente lavoro, si ritiene aver contribuito ad impiantare delle solide basi per una proposta di legge regionale concernente le "Norme per la conservazione e la valorizzazione dei geositi e della geodiversità delle Marche e delle attività connesse".

INTRODUZIONE

Per la prima volta in Italia la Regione Marche nel 1989 con il "PPAR" (Piano Paesaggistico Ambientale Regionale), ha posto l'attenzione sulle "Emergenze Geologiche e Geomorfologiche" del proprio territorio con l'intento di censire particolari aspetti degni di essere conservati, tutelati e valorizzati secondo i dettami del Piano stesso (AA.VV., 1991). A partire da questo contributo, il presente Gruppo di Lavoro ha ritenuto importante riportare l'attenzione sul tema dei Geositi e della Geodiversità attraverso una proposta legislativa regionale che coinvolge tecnici e scienziati interessati all'argomento e punta alla sensibilizzazione degli Uffici-Servizi e degli Amministratori. Pertanto, ai primi di gennaio 2022, la sezione Marche della "SIGEA" (Società Italiana di Geologia Ambienta-

le) nell'ambito delle proprie attività statutarie di promozione delle Scienze della Terra, di salvaguardia dell'ambiente naturale ed antropizzato e della protezione della salute e sicurezza dell'uomo, ha proposto e convocato un tavolo di lavoro sui Geositi con l'Ordine dei Geologi della Regione Marche e le due Università di Geologia della Regione Marche di Camerino (MC) e di Urbino (PU).

In poco tempo sono state raccolte tutte le informazioni sui geositi della regione, partendo da una ricognizione bibliografica molto estesa e proseguendo con una approfondita disamina basata sulla conoscenza ed esperienza del Gruppo, composto da docenti universitari, ricercatori ed esperti, autori di innumerevoli pubblicazioni su geositi e geoturismo. Sono stati selezionati 197 geositi e geomorfositi, rappresentati e posizionati cartograficamente su GIS, con una distribuzione che risulta per lo più concentrata lungo la dorsale appenninica e in quelle aree dove i processi geologici ed erosivi hanno agito maggiormente, originando e mostrando affioramenti e successioni rocciose e/o particolari morfologie del paesaggio.

Tutti i risultati prodotti dal Gruppo di Lavoro sono stati illustrati in un Report durante il Workshop nazionale del 26 maggio 2022 ad Ancona, presso la sede della Regione Marche: "I geositi delle Marche. Un patrimonio di geodiversità di eccezionale valore". Il tema della geodiversità è infatti centrale nelle attività di SIGEA-APS e questa iniziativa è stata tra quelle preparatorie della Giornata mondiale della Geodiversità UNESCO del 06 ottobre 2022. Unitamente al catalogo dei geositi individuati, è stata presentata alla Regione anche la bozza di un atto amministrativo volto alla promulgazione di una legge regionale sul settore specifico.

In soli quattro mesi il Gruppo di Lavoro ha censito e riorganizzato i geositi marchigiani e gettato le basi per una proposta di legge regionale sulle "Norme per la conservazione e la valorizzazione dei geositi e della geodiversità delle Marche e delle attività connesse", trasmessa dal Coordinatore del Gruppo di Lavoro alla Regione Marche (prot.0686533 |01/06/2022|R_MARCHE | G R M | S G M | A | 150.10.50/2022/SGM/115) unitamente al Report, completo della raccolta bibliografica di circa 80 pubblicazioni, con tutte le elaborazioni prodotte.

Attraverso questa virtuosa iniziativa, i tre più importanti enti e associazioni regionali si sono riuniti, condividendo

le proprie esperienze e conoscenze con un obiettivo unico: contribuire a censire, valorizzare, salvaguardare e promuovere i geositi del proprio territorio, caratterizzato da contesti fisico-ambientali di straordinaria geodiversità e biodiversità, di eccezionale valore scientifico, culturale ed ambientale. La geodiversità è infatti madre della biodiversità e come tale caratterizza tanti dei 17 obiettivi dell'Agenda 2030 (SDGs Sustainable Development Goals) che rappresentano una bussola per porre l'Italia e il mondo sul sentiero della sostenibilità, attività in cui la SIGEA è da tempo impegnata anche attraverso la specifica Area Tematica "SDGs Agenda 2030 Sviluppo Sostenibile – Ecologia Integrale".

L'iniziativa si è posta da subito l'obiettivo di produrre dei documenti da presentare agli amministratori regionali, al fine di dare un impulso alla tutela del patrimonio geologico, partendo dai primi concetti espressi da Wimbledon (1996) *"un geosito può essere definito come località area o territorio in cui è possibile individuare un interesse geologico o geomorfologico per la conservazione"* e di Grandgirard (1997, 1999) *"di particolare importanza per la comprensione della storia della Terra, del clima e della vita"*.

I geositi testimoniano e raccontano in modo esemplare gli eventi geologici e geomorfologici che hanno caratterizzato la storia e l'evoluzione di una porzione della nostra casa comune, la nostra Terra, e, come tali, devono essere valorizzati, preservati e curati con maggiore attenzione. Anche per tali motivi il Workshop del 26 maggio 2022 è stato inserito tra gli eventi della "Settimana Laudato si" (22-29 maggio 2022) quale "Atto di amore prendendosi cura della Casa Comune" (LS 13) celebrata in tutto il mondo da credenti e non credenti.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Le rocce costituenti il territorio regionale sono di tipo sedimentario e furono deposte al di sotto del livello marino a partire da 200 milioni di anni fa in un paleoambiente denominato "bacino umbro-marchigiano", tale era la sua estensione. Durante tutto il Giurassico l'area fu interessata da una tettonica distensiva sinsedimentaria che portò ad un progressivo smembramento della piattaforma carbonatica, disarticolandola in porzioni più rilevate e porzioni ribassate, su cui si sono depositate successioni stratigrafiche diverse per facies e spessori.

Verso la fine del Giurassico l'intero bacino entrò in condizioni di relativa

calma tettonica, che perdurarono indicativamente fino al Miocene inferiore, quando i movimenti delle placche mutarono radicalmente. Il territorio marchigiano fu quindi coinvolto in un regime compressivo che corrugò il fondale marino modellandolo in un complesso sistema costituito da catena-avanfossa-avampaese. Fu così che cominciò a prendere forma la dorsale appenninica, che andrà a costituire l'ossatura morfologica della futura penisola italiana.

Nella parte settentrionale della Marche la formazione della catena appenninica ha portato i terreni provenienti da aree tirreniche (Liguria e Toscana) ad accavallarsi in estese falde sui terreni della Successione Umbro-marchigiana attraverso meccanismi sia tettonici che gravitativi andando a costituire la cosiddetta Coltre della Valmarecchia. Il forte contrasto litologico tra il substrato ligure, prevalentemente argilloso e plastico, e le "zattere" epiliguri, più rigide (calcarei, gessi, conglomerati ed arenarie), ha contribuito a determinare un paesaggio unico ed affascinante ma, allo stesso tempo, fragile e instabile.

Nel Plio-Pleistocene, in seguito al sollevamento della catena appenninica, l'area emerse definitivamente dal fondale marino. Da questo momento in poi l'area venne sottoposta ad erosione da parte degli agenti subaerei che modelarono il paesaggio conferendo il variabile e suggestivo aspetto che possiamo osservare oggi. L'assetto litostratigrafico e strutturale ha condizionato l'impostazione del reticolo fluviale, anch'esso contribuendo alla morfologia del paesaggio attuale. L'immensa variabilità geologica in termini spaziali, unitamente all'azione degli agenti esogeni, ha permesso l'impostazione di geomorfositi, le cui peculiari forme rappresentano la maggior parte dei siti di interesse individuati e catalogati nel presente lavoro. Dal punto di vista tettonico, nel Quaternario la regione Marche vede attivi due differenti regimi principali: uno di tipo compressivo, che contribuisce al prosieguo dell'avanzamento dell'Appennino verso est e che si esplica lungo lineamenti al largo della costa e l'altro di tipo estensionale, più attivo nelle aree più interne, che spesso ha sfruttato le paleolinee tettoniche preesistenti per ribassare ampi tratti di territorio (Centamore & Deiana, 1996). I due settori sono raccordati da sistemi di faglie di tipo trascorrente, marcati da un'attività tettonica che si manifesta con maggiori profondità.

L'attuale assetto geomorfologico della Regione Marche è il risultato dell'in-

tenso sollevamento generale che ha interessato tutta l'area a partire dal Pliocene sup. (Dramis *et al.*, 1992) dando origine all'emersione dell'area e quindi alla formazione del rilievo. Detto sollevamento ha indotto un generale e rapido approfondimento dell'erosione lineare in relazione alle diverse condizioni climatiche che si sono avvicinate durante tutto il Quaternario (Coltorti *et al.*, 1996) ed alla recente e più intensa antropizzazione del territorio. Ne è derivato un paesaggio morfologico fortemente condizionato dalle caratteristiche lito-strutturali, dall'evoluzione tettonico-sedimentaria e dalle variazioni climatiche quaternarie, che hanno modellato una serie di elementi di geodiversità particolarmente variegati ed importanti, tipici ed esclusivi delle singole unità fisiografiche nelle quali viene suddiviso il paesaggio marchigiano (Farabollini & Bendia, 2022).

DEFINIZIONI E REQUISITI

Al fine di presentare un quadro di utilità per il lettore non specialista, si è ritenuto importante avviare questa sezione con una sintetica introduzione terminologica.

Il termine "geodiversità" nasce per esprimere il concetto fondamentale che gli ambienti geologici, nella loro multiforme varietà, possono influenzare in modo evidente o addirittura determinante, le caratteristiche e la varietà delle comunità biologiche, sia animali che vegetali. La comprensione della geodiversità mira al concetto di rapporto organico ed originario tra uomo e natura e quindi la cura del territorio come ambiente in cui vive l'uomo.

Un "geosito" è un'area o una località che testimonia in modo esemplare gli eventi geologici e geomorfologici che hanno caratterizzato la storia di una regione e contribuito a definire i suoi paesaggi e che, come tale, deve essere valorizzata e preservata (Wimbledon, 1996). Le caratteristiche esemplari di un geosito lo rendono prezioso per valorizzare e promuovere il territorio, con positivi riflessi sulle attività educative, formative, di turismo culturale e ricreative.

Diversi autori (Grandgirard 1997, 1999, Panizza 2001, Panizza e Piacente 2003) hanno introdotto il termine "geomorfosito" quale "luogo" del paesaggio che meglio rappresenta l'anello di congiunzione tra le componenti fisiche del territorio e le componenti biologiche e antropiche: il "paesaggio geomorfologico" si pone infatti come ponte tra il mondo fisico e quello biologico. Oltre a ciò, la diversità dei "paesaggi geomorfologici" è

anche la scena nella quale si muovono e con la quale interagiscono le comunità umane in un complesso gioco di adattamenti e modifiche. La comprensione di tali paesaggi e della "geodiversità" da essi espressa e qualunque successiva operazione concernente l'eventuale valorizzazione e divulgazione di un particolare elemento dell'ambiente fisico, compresa una consapevole e sostenibile fruizione in ambito turistico, passano necessariamente attraverso una appropriata conoscenza geomorfologica (Bentivenga *et al.*, 2019; Pescatore *et al.*, 2023).

I geomorfositi hanno dunque acquisito un valore speciale in relazione alla percezione e allo sfruttamento umano. Questo valore può variare, essendo il risultato di cinque diversi fattori: il valore scientifico, a cui si aggiungono il valore culturale, ecologico, economico ed estetico (Reynard, 2005). Il valore scientifico è considerato il fattore fondamentale, gli altri aspetti sono considerati valori addizionali, ma comunque importantissimi nella definizione del valore globale del geomorfosito (Tab. 1A).

Numerosi gruppi di ricerca hanno proposto diverse procedure metodologiche sulla classificazione dei geomorfositi, ponendo l'accento sull'importanza quantitativa di una valutazione, volta ad aumentare il livello di oggettività (Bruschi e Cendrero 2005; Coratza e Giusti 2005; Serrano e Gonzalez-Trueba 2005; Coratza e Panizza 2009; Pereira e Pereira 2010; Mucivuna *et al.* 2019; Reynard *et al.*, 2016; Ferrando *et al.*, 2021a; 2021b).

La valutazione quantitativa stima numericamente i valori dei geositi tramite alcuni parametri e indicatori, limitando l'inevitabile soggettività associata a qualsiasi procedura di valutazione qualitativa e rende confrontabili i risultati. I parametri e indicatori generalmente si riferiscono a differenti valori dei geositi: il valore scientifico, il valore aggiuntivo e il potenziale d'uso. Il punteggio di ogni parametro viene sommato con gli altri ottenendo un punteggio finale (Reynard *et al.*, 2007; Ferrando *et al.*, 2021a; 2021b; Tab. 1B).

Nonostante l'indubbio vantaggio di una valutazione quantitativa, essa presenta ancora numerose problematiche, anche di tipo comparativo, per questa ragione al momento il metodo qualitativo rimane ancora il più utilizzato.

Secondo alcuni autori, la definizione di due parametri, la geodiversità e il paesaggio culturale, rappresenta un valido strumento nella classificazione e valutazione di un geosito. La geodiversità

Tabella 1. A. Schema dei valori per la valutazione qualitativa di "Geomorfosito"; B. Valutazione qualitativa del Geosito (da Ferrando et al., 2021a; 2021b, mod.)

A		
Valore scientifico +	Valore Aggiuntivo =	Valore Globale
	<ul style="list-style-type: none"> • Culturale, storico, religioso • Ecologico • Sociale/Economico • Estetico 	
B		
Valore scientifico (Vs)	Valore aggiuntivo (Va)	Potenziale d'uso (Pa)
<ul style="list-style-type: none"> • Integrità • Rappresentatività • Rarità • Interessi secondari 	<ul style="list-style-type: none"> • Valore estetico <ul style="list-style-type: none"> – Naturalità – Panoramicità – Diversità colori – Sviluppo verticale • Valore culturale <ul style="list-style-type: none"> – Interesse storico – Interesse archeologico 	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibilità • Potenziale interpretativo
$Vt = (3Vs + Va + Pu) / 5$		
Ad ogni parametro è assegnato un punteggio da 1 a 5 Vt = valore totale pari alla media pesata dei valori		

si focalizza sugli aspetti fisici, ossia la varietà dei fenomeni geologici e relativi processi che modellano il paesaggio, mentre il paesaggio culturale viene definito dalla molteplicità di altri fattori che caratterizzano il luogo e contribuiscono al suo valore globale (Sharples 1995; Dixon 1996; Panizza e Piacente 2003, 2008; Gray 2004).

Alla luce di queste considerazioni, la nostra proposta potrebbe basarsi su procedure di tipo qualitativo in relazione alla scelta dei geomorfositi, in accordo con quanto suggerito da Pereira e Pereira (2010), senza escludere una futura possibilità di quantificare i parametri presi in considerazione, in modo da ot-

tenere anche un database utile al loro confronto e classificazione.

Secondo questo approccio, in primo luogo è necessario considerare il valore scientifico come elemento essenziale nella valutazione. Il valore scientifico è strettamente legato a fattori quali la rarità del sito, la sua rappresentatività, l'integrità delle caratteristiche geologiche-geomorfologiche (che consentono di ricostruire la sua storia geologica e i paleo-ambienti), la diversità e la conoscenza scientifica generale di cui si dispone: è quindi necessario esaminare tutti questi aspetti per una corretta valutazione del valore scientifico di un luogo (Tab. 2A).

In un secondo momento è essenziale considerare altri fattori, i cosiddetti valori aggiuntivi, ovvero quelli culturale, ecologico ed estetico. Infine, è necessario tener conto di fattori che riguardano la possibilità di gestione del sito e di fruizione da parte del pubblico, quali l'accessibilità e la visibilità, ovvero la presenza di strutture ricettive e didattiche come le riserve naturali o i parchi regionali. È indubbiamente fondamentale anche una indagine sulla vulnerabilità, al fine di individuare la necessità di proteggere il sito, ma anche di tutelare la sicurezza dei visitatori (Tab. 2A).

Il rischio di degrado è la probabilità che un geosito sia danneggiato o distrutto, perdendo tutte le caratteristiche che lo rendono prezioso. Ne consegue che la valutazione di tale rischio è di fondamentale importanza in qualsiasi strategia di geo-conservazione, in particolare nella definizione di un piano efficace per la corretta gestione e valorizzazione del geosito. L'inclusione degli aspetti di rischio di degrado e in particolare la sua valutazione quantitativa, è un'iniziativa relativamente recente: è stata proposta infatti una nuova metodologia sperimentale per valutare il rischio dal degrado basata sui concetti di fragilità, definita come il "rischio di degrado presente in condizioni naturali", e vulnerabilità definito come il "rischio di distruzione dovuto all'attività umana" (Ferrando et al., 2021a; 2021b; Tab 2B). Il tema del rischio geomorfologico legato all'utilizzo turistico di un "geosito" presenta infatti due differenti aspetti: quello più in generale riferito alla sostenibilità del turismo e quello specifico legato al rischio derivante dalle caratteristiche fisiche del geosito stesso (Brandolini et al., 2007).

In ultimo, consapevoli che la vulnerabilità di un luogo è legata sia a fenomeni naturali che antropici, poiché la nostra proposta ha fra i suoi principali obiettivi quello divulgativo e educativo, è molto importante individuare metodi comunicativi capaci non solo di sottolineare il valore e la bellezza di un luogo, ma anche di coinvolgere le persone in modo diretto, stimolando nell'utente il desiderio di proteggere e preservare quella ricchezza che caratterizza e definisce il luogo.

PROPOSTA ATTO LEGISLATIVO

La proposta di atto amministrativo elaborata dal Gruppo di lavoro è indirizzata alla promulgazione, anche nelle Marche, come già in altre regioni, di una

Tabella 2. A. Valutazione quantitativa del geosito (da Pereira e Pereira, 2010 mod.); B. Valutazione quantitativa del rischio di degrado (da Ferrando et al., 2021a; 2021b, mod.)

A		
Criteri di valore scientifico	Criteri di valore aggiuntivo	Criteri gestionali
<ul style="list-style-type: none"> • Rarità • Rappresentatività • Integrità • Diversità • Conoscenza scientifica 	<ul style="list-style-type: none"> • Culturale • Ecologico • Estetico 	<ul style="list-style-type: none"> • Accessibilità • Visibilità • Vulnerabilità
B		
Fragilità (Fa)	Fragilità (Fb)	Vulnerabilità (V)
Dovuta ai processi naturali legati alla genesi del Geosito	Dovuta ai processi naturali NON legati alla genesi del Geosito	Dovuta all'azione antropica
$Rt = (Fa + 2Fb + 3V) / 6$		
Ad ogni parametro è assegnato un punteggio da 1 a 4 R1 Rischio basso - R2 Rischio medio - R3 Rischio moderato - R4 Rischio elevato Rt = rischio di degrado totale uguale alla media pesata dei valori		

legge regionale riguardante le “Norme per la conservazione e valorizzazione dei geositi e delle geodiversità delle Marche e delle attività ad essa collegate” e si basa sulla seguente normativa:

- 1 – L.R. 10 luglio 2006, n. 9 “norme per la conservazione e valorizzazione della geodiversità dell’Emilia Romagna e delle attività ad essa collegate”;
- 2 – L.R. 6 ottobre 2009, n. 39 “norme per la valorizzazione della geodiversità, dei geositi e delle aree carsiche in Liguria”;
- 3 – L.R. 4 dicembre 2009, n. 33 “tutela e valorizzazione del patrimonio geologico e speleologico” della Regione Puglia;
- 4 – L.R. 13 agosto 2015, n. 32 “Conservazione e valorizzazione del patrimonio geologico” della regione Basilicata.
- 5 – L.R. 14/10/2016 n.15 “disposizioni per la tutela e valorizzazione della geodiversità, del patrimonio geologico e speleologico delle aree carsiche della Regione Friuli-Venezia Giulia”;
- 6 – L.R. 19/3/2015, n. 30 “norme per la conservazione e la valorizzazione del patrimonio naturalistico – ambientale regionale” della Regione Toscana;
- 7 – Regione Lombardia: al fine della valorizzazione dei geositi ha proceduto al loro riconoscimento formale come elementi identificativi del paesaggio lombardo nell’ambito del nuovo “Piano Paesaggistico Regionale PPR”;
- 8 – Proposta di Legge d’iniziativa dei deputati Patrizia Terzoni e altri presentata il 23/3/2018;
- 9 – Regione Marche: PPAR – Deliberazione Amministrativa n. 197 del 3/11/1989. Piano Paesistico Ambientale Regionale. Legge 8/8/1985, n. 431 e L.R. 8/6/1987, n. 26;
- 10 – Regione Marche: Circolare n. 17 del 18/9/1990 – Definizione e perimetrazione delle aree caratterizzate dalla presenza di emergenze geologiche e geomorfologiche – art. 64 punto h delle Norme Tecniche di attuazione del Piano Paesistico Ambientale Regionale concernente le discipline complementari del Piano;
- 11 – Legge Regionale Marche 23 febbraio 2000 n. 12 – Norme sulla speleologia.

La PdL, che prende l’avvio dall’inventario dei geositi proposto da ISPRA nel 2002 (ad oggi circa 3.000 geositi censiti sul territorio nazionale), è indirizzata a rivedere, ridurre, caratterizzare e valorizzare i geositi effettivamente degni di attenzione e tutela nelle Marche. Tale

strumento rappresenta un quadro per la tutela, la valorizzazione, la gestione e l’utilizzo sostenibile del patrimonio geologico e geominerario costituito dai geositi quale elemento peculiare del territorio regionale. Nell’articolato vengono indicate:

- le finalità della PdL, partendo da alcune importanti definizioni di termini ricorrenti nel testo stesso della proposta, in modo da renderne univoca e chiara l’interpretazione;
- viene proposta l’istituzione del catasto dei geositi e geomorfositi con relative modalità di approvazione ed aggiornamento;
- vengono proposte le norme per la gestione, la tutela e la pianificazione delle tipologie di geositi compresi nel catasto regionale e le modalità di accesso;
- vengono indicate le pratiche vietate quali l’abbandono di rifiuti e l’alterazione di qualsiasi tipo delle formazioni presenti e altro, stabilendo che l’utilizzo dei geositi è subordinato ad una preventiva autorizzazione regionale da rilasciare a cura del dipartimento di competenza;
- vengono proposte le procedure per normare il programma di interventi ed attività per la tutela e la valorizzazione dei geositi/geomorfositi e della geodiversità, con particolare riferimento ai progetti di intervento finalizzati alla tutela e alla fruizione turistica di questi beni, ed alle attività di studio, ricerca e quant’altro;
- viene proposta l’istituzione della Consulta tecnico-scientifica per la conoscenza, la valorizzazione e la tutela del patrimonio geologico delle Marche, quale organo consultivo di studio, valutazione e verifica tecnico – scientifica, stabilendone altresì la composizione;
- viene proposto che, per il raggiungimento delle finalità di cui alla PdL, la Regione Marche può concedere contributi ai Comuni, alle Unioni di Comuni e agli Enti di gestione per i Parchi e la biodiversità e la geodiversità, nei limiti delle autorizzazioni previste nel bilancio regionale, finalizzati a sostenere programmi e progetti per la sistemazione, la tutela e la fruizione dei geositi, nonché per progetti di carattere scientifico divulgativo ed educativo;
- vengono proposti e definiti i ruoli legati alle funzioni di vigilanza, di controllo e di sorveglianza, nonché viene fatto richiamo alle Associazioni già operanti in ambito geologico, stabilendo che per le finalità della PdL

la Regione Marche si potrà avvalere della collaborazione di SIGEA (Società di Geologia Ambientale) e di altri soggetti specificatamente autorizzati dall’ente di gestione dell’area protetta (Università marchigiana e Ordine dei Geologi delle Marche);

- vengono infine proposte le sanzioni amministrative da irrogare per l’inosservanza dei divieti fissati dalla PdL, unitamente alle norme finanziarie per l’erogazione di contributi, ed a quelle transitorie nelle more dell’individuazione dei geositi, del patrimonio geologico e della geodiversità del territorio regionale, in attesa dell’approvazione del catasto regionale dei geositi.

ELENCO DEI GEOSITI PROPOSTI: CRITERI E GENERALITÀ

Il vastissimo patrimonio geologico marchigiano ha spinto il gruppo di lavoro a censire per la prima volta tutti i geositi e geomorfositi ricadenti sul territorio regionale. L’importanza di ciascun sito non si ferma soltanto agli aspetti geologici ma, alla luce dell’innato legame tra geomorfologia e insediamenti antropici, esso molto spesso testimonia un luogo di estrema rilevanza anche sotto il punto di vista storico-culturale. Questa estrema variabilità in termini di interdisciplinarietà rappresenta il valore più assoluto cui può auspicare un geosito, che nasce come frutto dei processi e delle forze geologiche (rispondendo alle leggi delle scienze di base quali la chimica, la fisica, la matematica) e grazie ai processi geomorfologici evolve, tramutandosi nel tempo in habitat per la vita (importanza biologica) fino a divenire sovente luogo di culto e venerazione (valore archeologico, storico, religioso, culturale, ecc.).

Con l’intento di inquadrare, da un punto di vista quantitativo, la proposta di legge avanzata alla Regione Marche, si è ritenuto utile redigere un elenco di tutti i geositi e geomorfositi individuati, di cui si riporta qui solamente la prima parte a titolo di esempio (*Tab. 3*) e quindi riportarne l’ubicazione su un adeguata cartografia (*Fig. 1*), in modo tale da permetterne una immediata consultazione.

La prima parte del lavoro è consistita in una ricognizione bibliografica riguardante tutti i siti di interesse geologico del territorio marchigiano, che ha visto come punto di partenza una data pubblicazione della Regione Marche relativa alle emergenze geologiche e geomorfologiche individuate nell’am-

Tabella 3. Stralcio dell'elenco dei geositi marchigiani. In giallo: Geosito areale; in azzurro: Geosito puntuale. L'elenco contiene i geositi proposti suddivisi per provincia con elencazione partendo da nord a sud

	GEOSITO	GEOSITO INTERNO - DESCRIZIONE	COMUNE (PROV)
1	1. Il Monte San Bartolo	1.1. San Bartolo – Falesia	Pesaro (PU)
2		1.2. San Bartolo – Frana di Fiorenzuola	Pesaro (PU)
3		1.3. San Bartolo – Frana di Santa Marina	Pesaro (PU)
4		1.4. San Bartolo – Punta degli Schiavi	Pesaro (PU)
5		1.5. San Bartolo – Punta del Gesso	Pesaro (PU)
6	2. Il Colle dell'Ardizio	2.1. Monte Ardizio – Ciottoli del Metauro	Pesaro (PU)
7		2.2. Monte Ardizio – Falesia morta	Pesaro (PU)
8	3. I Calanchi di Montecalvo	3.1. Montecalvo in Foglia – Calanchi	Montecalvo in Foglia (PU)
9	4. Monte Carpegna	4.1. M. Carpegna – Costa dei Salti	Carpegna (PU)
10		4.2. M. Carpegna – Cattura Torrente Prena	Carpegna (PU)
11		4.3. M. Carpegna – Trincee frana Eremo	Carpegna (PU)
12		4.4. M. Carpegna – Monte Copiolo	Carpegna (PU)
13		4.5. M. Carpegna – Frana Pietracandella	Carpegna (PU)
14	5. I Conglomerati di Pietrafagnana	5.1 Pietrafagnana – Forme erosione conglomerati	Pietrarubbia (PU)
15	6. I Sassi Simone e Simoncello	6.1. Sassi Simone e Simoncello – Le rupi	Carpegna (PU)
16		6.2. Sassi Simone e Simoncello – Colata detritica	Carpegna (PU)
17		6.3. Sassi Simone e Simoncello – Calanchi	Carpegna (PU)
18		6.4. Sassi Simone e Simoncello – Torre del Peschio	Piandimeleto (PU)
19	7. Le Marmitte dei Giganti	7.1. San Lazzaro – Marmitte dei Giganti, La forra	Fossombrone (PU)
20	8. La Gola del Furlo	8.1. Furlo – La gola	Acqualagna (PU)
21		8.2. Furlo – I muri di faglia	Acqualagna (PU)
22		8.3. Furlo – La cascata	Acqualagna (PU)
23		8.4. Furlo – La grotta del Grano	Acqualagna (PU)
24		8.5. Furlo – Livello anossico oceanico “Bonarelli”	Acqualagna (PU)
25		8.6. M. Paganuccio – Frana Cà i Fabbri	Acqualagna (PU)
26		8.7. M. Paganuccio – Frana la Pradella	Acqualagna (PU)
27		8.8. M. Paganuccio – La gola del Buzzo	Acqualagna (PU)
28		8.9. M. Pietralata – Flatirons	Acqualagna (PU)
29		8.10. M. Pietralata – Le aree denudate	Acqualagna (PU)

bito del PPAR (Authors various, 1989). Sono stati pertanto reperiti e consultati tutti gli ulteriori articoli scientifici relativi a geositi e geoturismo provenienti dalle sezioni di geologia delle università marchigiane di Camerino e Urbino, ma anche da singoli ricercatori, tesisti e professionisti. Successivamente, sono state aggiunte altre situazioni note agli autori non ancora approfondite in precedenti pubblicazioni. Si fa presente come tale elenco sia da considerarsi dinamico, suscettibile a possibili integrazioni e modifiche nel tempo, in linea quindi con le ripetute modificazioni che subisce il paesaggio. I 197 geositi individuati, elencati da Nord verso Sud, sono stati differenziati in due tipologie: geositi puntuali e geositi areali. Per geosito puntuale si intende una morfologia isolata, di piccole dimensioni, legata ad un processo genetico dominante, mentre con il termine geosito areale si identifica una zona più ampia che contiene due o

più geositi puntuali, andando ad identificare un geosito composto (gruppo di forme legate ad un processo genetico dominante) o complesso (gruppo di forme legate a più processi genetici), in accordo con le categorie di geositi proposte da Coratza *et al.*, 2021. Per ciascun geosito in Tabella 1 sono state riportate la denominazione, una breve descrizione ed il comune in cui il bene ricade.

ESEMPI DI BUONE PRATICHE - CASI STUDIO

Non potendo e non volendo entrare nel merito dell'intero patrimonio di geositi-geomorfositi delle Marche, essendo attività complesse e di portata che chiaramente esulano dalle finalità del presente lavoro, e di cui sarà la Regione Marche a doversene far carico, di seguito si riportano quattro schede di approfondimento a titolo esemplificativo ed illustrativo di luoghi più significativi e rappresentativi, di cui 3 Geositi Areali

ed 1 Geosito Puntuale. Per ciascuno dei casi studio proposti, viene raccontato il bene da un punto di vista qualitativo (quando si è formato, quali processi ha subito nel tempo, perché è considerato così importante, ecc.), attraverso una schedatura che rappresenta una proposta, differente da quelle già in vigore prodotte ed utilizzate da altri enti o autori.

GEOSITO AREALE - LA GOLA DEL FURLO

La Gola del Furlo è una delle più spettacolari gole trasversali dell'Appennino umbro- marchigiano (Fig. 2a); la gola è dovuta all'incisione del fiume Candigliano nei terreni giurassico-paleogenici della Successione Umbro-marchigiana e possiede un patrimonio geologico, biologico e geomorfologico tra i più ricchi e interessanti della regione. Le spettacolari morfologie, le peculiarità strutturali e stratigrafiche, la

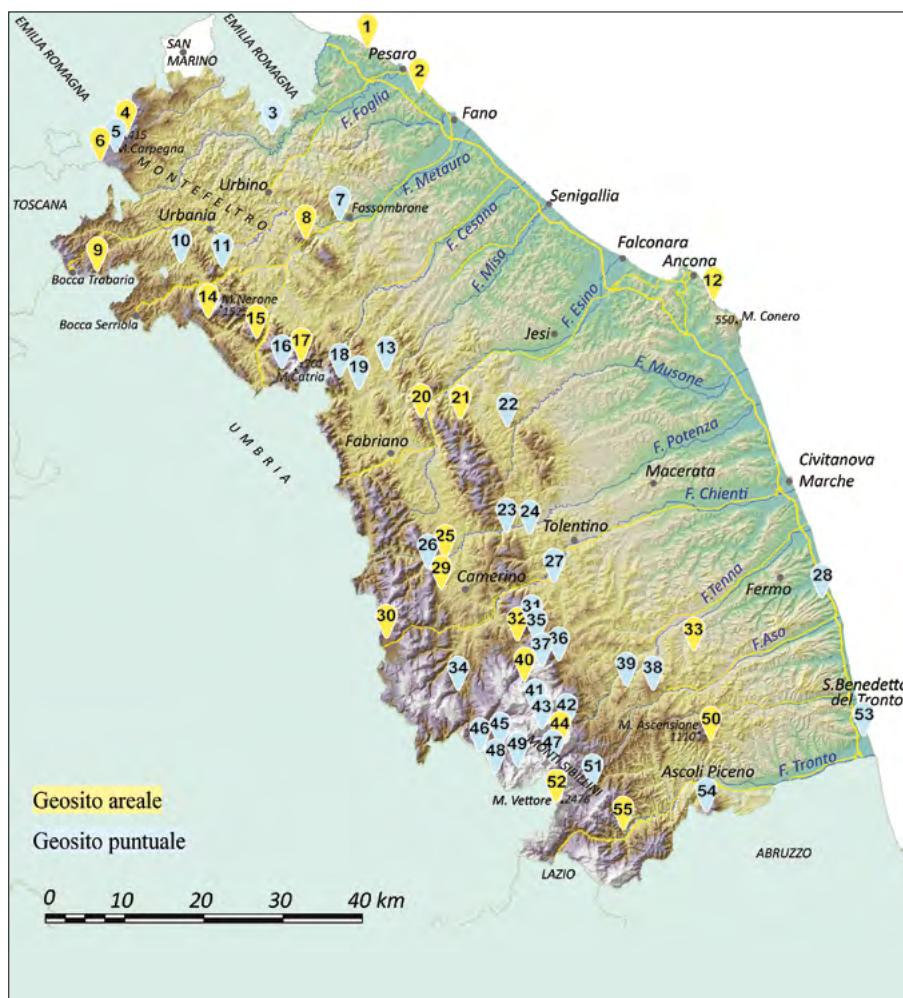


Figura 1. Geolocalizzazione dei geositi della Regione Marche. In giallo: Geosito areale; in azzurro: Geosito puntuale

presenza di famose località fossilifere e di particolari specie floristiche e faunistiche sono la ragione di paesaggi unici, inseriti peraltro in un contesto di notevole significato storico-archeologico (la gola è attraversata dalla romana Via Flaminia). Per tali motivi i Monti del Furlo sono stati elevati al rango di Riserva Naturale Statale, la quale comprende molti sentieri e itinerari, consigliati per l'osservazione delle caratteristiche naturali e culturali più rilevanti (Diligenti *et al.*, 2005).

La morfologia della gola, che in questo caso si sviluppa in corrispondenza della culminazione assiale della struttura anticlinale, è legata alla presenza di faglie e fratture trasversali che hanno guidato in maniera fondamentale il percorso del fiume. Numerose forme di erosione si osservano all'interno, alcune di notevoli dimensioni come le pareti verticali originate dall'erosione del fiume sul Calcere Massiccio, la formazione più antica del Lias inferiore, altre più piccole e nascoste ma non meno suggestive, come gli alveoli e le nicchie prodotti dall'azione del vento, dell'erosione chimica e del gelo/disgelo.

Lungo la gola si osservano falde e coni di detrito (Fig. 2c) provenienti dal-

lo smantellamento dei margini superiori della gola stessa, nei quali sono ben visibili pinnacoli e torri rocciose prodotti dall'erosione selettiva sui vecchi muri di faglia (Fig. 2d, 2e).

L'area è a tratti coperta da una folta vegetazione, tipica della macchia medi-

terranea, abitata da una grande varietà di specie animali. Sulle ripide pareti della gola trova rifugio l'aquila reale il cui nido, posto su una incavatura naturale, raggiunge i sei metri di diametro.

Valutazione del geosito

La Gola del Furlo rappresenta un geosito areale, comprensivo di numerosi geositi interni. Il geosito risponde a tutti i requisiti richiesti per essere considerato di "elevato valore scientifico", per la sua rarità, rappresentatività, integrità, diversità, e per la conoscenza scientifica disponibile in letteratura sul sito. Possiede indubbiamente i valori aggiuntivi di tipo culturale, ecologico ed estetico, in accordo con i requisiti addizionali richiesti. Il luogo è facilmente accessibile e il percorso è destinato ad un pubblico di ampia fascia di età; poiché ci troviamo in una Riserva Naturale, il geosito possiede anche una notevole visibilità. Numerosi, infine, sono gli aspetti che il visitatore dovrebbe conoscere per non alterare gli equilibri geologici, biologici e culturali del sito. È quindi molto importante la comunicazione al pubblico delle sue peculiarità perché ci sia una adeguata conoscenza e consapevolezza della vulnerabilità.

Itinerario proposto

Luogo di partenza è la piazzuola situata nel piccolo centro abitato, all'imbocco sud-occidentale della gola, che si raggiunge uscendo dalla nuova Via Flaminia (SP3) in località Pianacce (Fig. 2b). Per informazioni, in prossimità della piazzuola potete rivolgervi

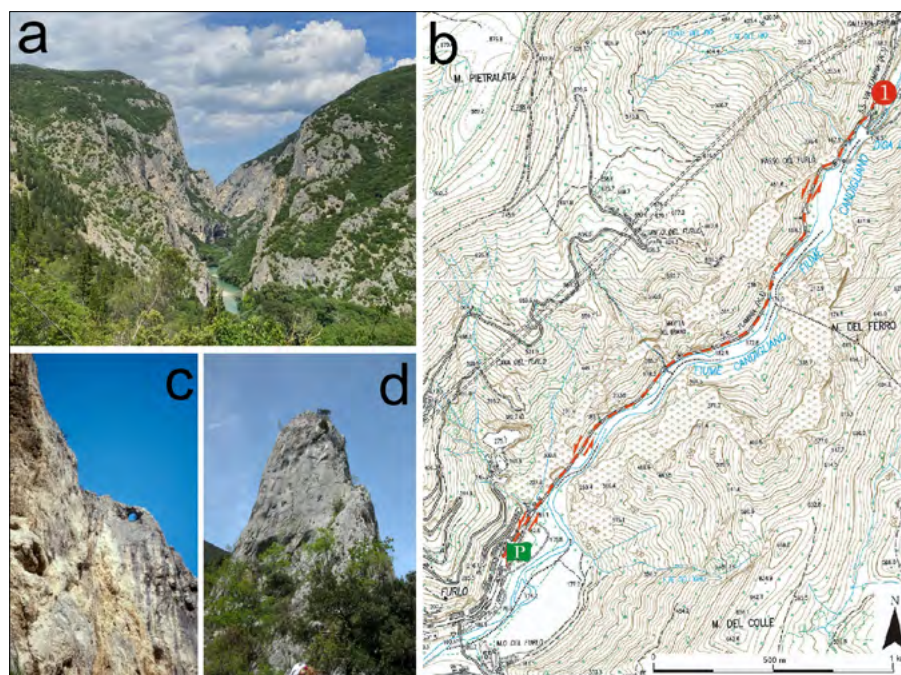


Figura 2. a. Panoramica sulla gola del Furlo; b. Itinerario proposto; c. Parete a strapiombo con evidenze di paleocarsismo; d. Pinnacolo su un muro di faglia

al Centro Informazioni della Riserva Naturale Statale della Gola del Furlo. Percorrete a piedi la vecchia via Flaminia, che attraversa interamente la gola offrendo viste spettacolari sulle pareti di Calcare Massiccio, sulle cavità e varie morfologie delle pareti rocciose e sul fiume Candigliano, che in questo tratto forma un lago artificiale.

Superata la Grotta del Grano, cavità situata sul lato nord-orientale della gola, appena sopra la Via Flaminia, si attraversa la galleria romana oltre la quale si trova una piccola chiesa di epoca medievale. Il nostro percorso termina subito dopo la diga (Stop 1), dopodiché la strada si ripercorre nel verso contrario, tornando al punto di partenza. La difficoltà del percorso è minima e la strada è transitabile tutto l'anno. Il tempo di percorrenza è complessivamente di circa 40 minuti.

Per i più allenati: in prossimità dello Stop 1 è possibile salire sulla sinistra in direzione del Rifugio del Furlo, strada che poi prosegue sotto il Monte Pietralata e infine attraversa le case di Spelonca Alta e Spelonca Bassa, chiudendosi ad anello nel piazzale di partenza. Questo itinerario è decisamente più impegnativo, con tempi di percorrenza di circa quattro ore e mezza.

GEOSITO AREALE – I SASSI SIMONE E SIMONCELLO

Collocati lungo lo spartiacque fra i due bacini idrografici del Marecchia e del Foglia, i Sassi Simone e Simoncello, visibili fin dalla costa adriatica e da

sempre importanti punti di riferimento, si ergono rilevati rispetto ai sottostanti terreni argillosi della formazione cretacea delle Argille Varicolori (Fig. 3a). I due massi tabulari sono due placche calcarenitiche della formazione di San Marino e di Monte Fumaiolo, appartenenti alla cosiddetta Coltre della Valmarecchia, la cui genesi è di grande interesse scientifico e rende unica quest'area (Cornamusini *et al.*, 2017; Valentini e Nesci, 2021).

I Sassi Simone e Simoncello derivano infatti da un grande blocco che si originò nel Bacino Ligure-Piemontese; le forze tettoniche in gioco nelle successive fasi appenniniche causarono un lentissimo movimento sottomarino del blocco calcarenitico in direzione del versante adriatico, determinando la sua sovrapposizione sui sedimenti autoctoni. Questa è la ragione di un contesto geomorfologico assai particolare, caratterizzato da improvvise verticalizzazioni, che da sempre ha favorito gli insediamenti umani, influenzando la storia e la cultura di tutta la Valmarecchia.

Le morfologie relitte che si ritrovano in questo territorio hanno permesso di comprendere come il paesaggio si sia modificato anche a causa del susseguirsi di determinati eventi climatici. Durante le fasi fredde relative alla penultima glaciazione, circa 150 mila anni fa, i Sassi appartenevano ancora ad un unico rilievo che si sviluppava ben oltre gli attuali confini dei due massi. L'azione del gelo e disgelo sulle rocce già fortemente fratturate, ha provocato il distaccarsi di

blocchi dalle scarpate originarie, producendo un forte arretramento del fronte montuoso (Fig. 3b).

Le mutate condizioni climatiche che tutto il Montefeltro subì nel Quaternario recente determinarono uno sviluppo molto veloce dell'idrografia superficiale e quindi una intensa erosione, che ridusse i rilievi alle attuali dimensioni.

La sommità piatta del Sasso Simone è interrotta da profonde fratture ben visibili in superficie. La percolazione delle acque ha allargato le spaccature producendo caratteristiche trincee allineate e zone depresse che costituiscono elementi di grande instabilità per l'intero rilievo.

Nella piana sommitale del Sasso Simone sono tuttora conservate le tracce dell'impianto urbanistico di un'antica cittadella medicea voluta da Cosimo dei Medici nel 1566 e completamente smantellata nel 1673: la Città del Sole.

Valutazione del geosito

I Sassi Simone e Simoncello rappresentano un geosito areale, comprensivo di più geositi interni. Il geosito può essere classificato di "elevato valore scientifico", per la sua rarità, rappresentatività, integrità, diversità, e per la conoscenza scientifica disponibile in letteratura sulla sua genesi ed evoluzione. Possiede a pieno titolo i valori aggiuntivi di tipo culturale, ecologico ed estetico, in accordo con i requisiti aggiuntivi richiesti. Il luogo è facilmente accessibile e il percorso proposto è ben segnalato; poiché ci troviamo all'interno del Parco Naturale

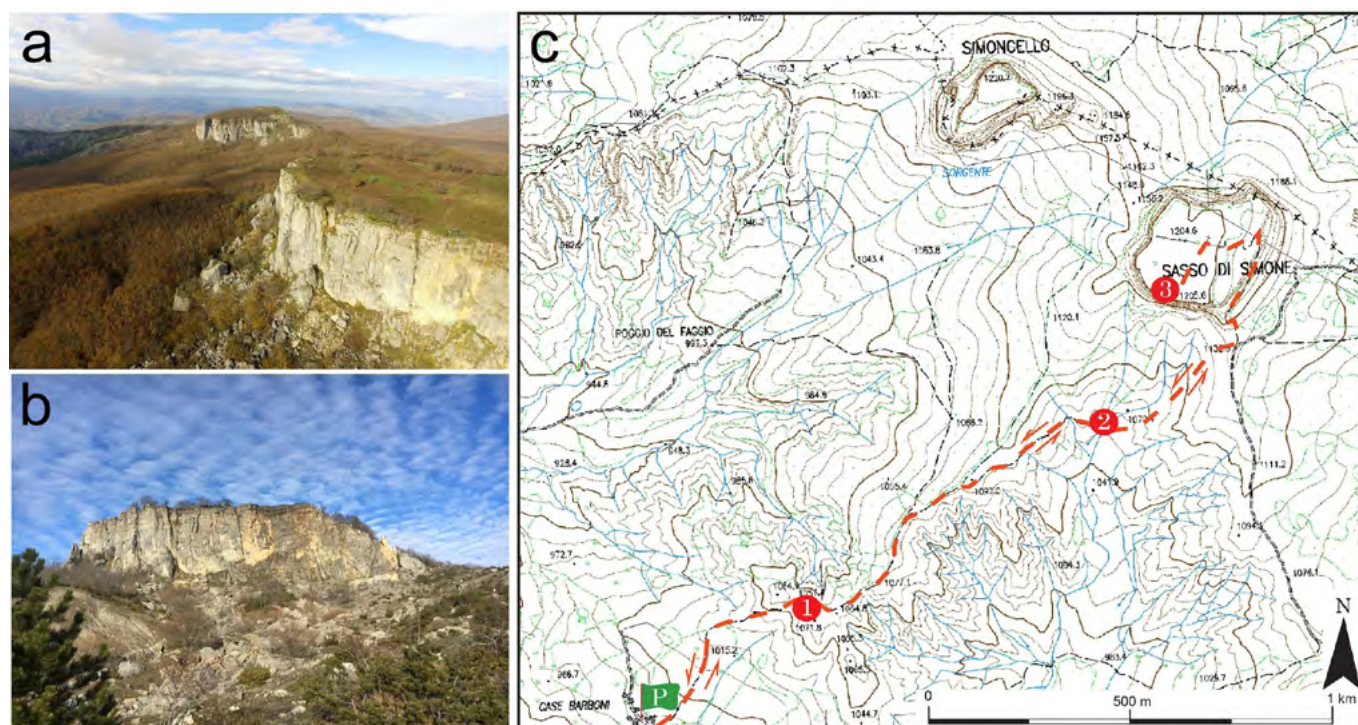


Figura 3. a. I Sassi Simone (in primo piano) e Simoncello; b. Colata detritica alla base della scarpata del Sasso Simone; c. Itinerario proposto

del Sasso Simone e Simoncello, il geosito possiede anche una elevata visibilità.

Una adeguata conoscenza del geosito da parte dell'utente è fondamentale per la salvaguardia del suo patrimonio geologico, biologico e culturale. È importante individuare il più efficace metodo di comunicazione delle sue peculiarità, perché il pubblico possa facilmente essere sensibilizzato e possa raggiungere la giusta consapevolezza della sua vulnerabilità (Valentini e Nesci, 2021; Valentini *et al.*, 2022).

Proposta di itinerario

Il percorso si avvia da Case Barboni, piccolo centro abitato posto al confine fra Marche e Toscana, raggiungibile in auto da Sestino (Fig. 3c). Giunti all'abitato, dove è possibile parcheggiare (P), indirizzatevi sulla destra: attraversate un terreno non coltivato e, dopo circa 300 metri, raggiungerete una centralina e un piccolo cancello, da cui si accede al sentiero, ben tracciato fino alla sommità del Sasso Simone. Da qui le argille, con i loro colori grigio-verde, viola, rosso e con le molteplici forme dovute al ruscellamento delle acque e alla gravità, offrono scenari di rara bellezza (Stop 1). Sulla sinistra si innalza il Sasso Simoncello mentre a destra è possibile osservare i calanchi impostati nelle argille varicolori. Il sentiero è ben segnalato, attenzione tuttavia alla deviazione sulla destra per il Sasso Simone poco prima di entrare nel boschetto, mentre se proseguite dritti vi spingerete in direzione della sella che si trova fra il Simone e il Simoncello.

Il Sasso Simone si presenta in tutta la sua imponenza, ma la vasta colata di detriti proveniente dalla scarpata superiore esprime tutta la sua fragilità (Stop 2). L'itinerario termina sulla sommità del Sasso Simone (1204 m) a cui si accede risalendo l'antica stradina medievale. Dalla cima, oltre a intravedere i resti della Città del Sole, si può ammirare una discreta porzione del centro Italia, a cavallo fra le Marche, la Romagna e la Toscana (Stop 3).

L'intero itinerario (a/r) è di circa 5 km, la difficoltà medio-bassa e il tempo di percorrenza di circa 2 ore e 30 minuti. Da evitare i periodi del disgelo o dopo forti piogge perché le argille, imbevute d'acqua, rendono impraticabile il sentiero.

GEOSITO PUNTUALE - IL LAGO DI PILATO

Il lago di Pilato rappresenta attualmente l'unico invaso naturale di origine glaciale ricadente nel territorio della regione Marche. Osservata in pianta, la sua

geometria appare altamente variabile a seconda della stagionalità, sebbene sia solitamente riconoscibile per la sagoma "ad occhiali" che essa assume. Il bacino idrico è ospitato da un corpo ghiaioso di

elevato spessore, risultato dei processi di elevata disaggregazione meteorica in atto a queste altitudini (ca. 2000 m. slm).

Osservato in pianta, il lago di Pilato è alloggiato in una vallata che guarda

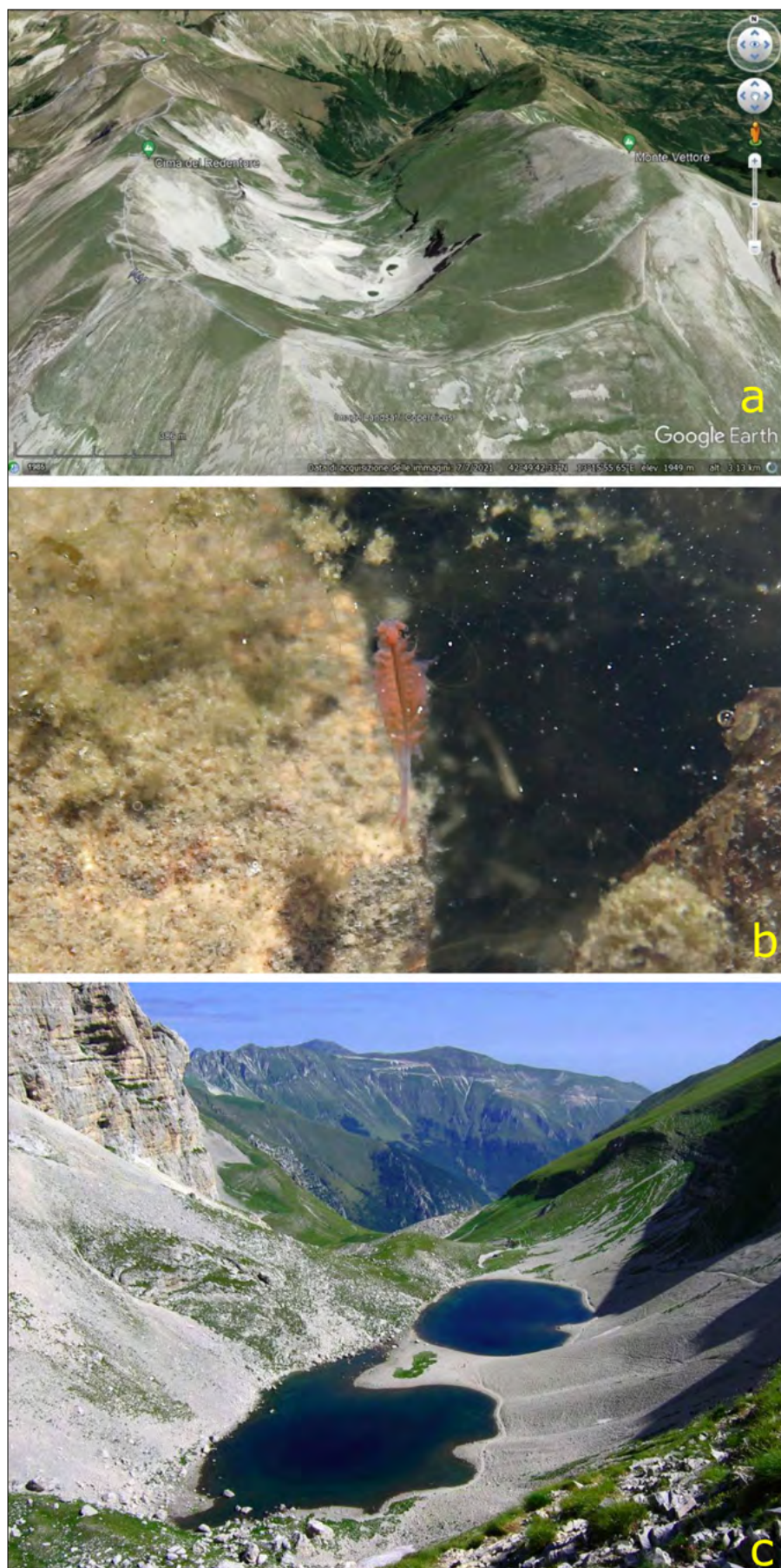


Figura 4. a. Il circo glaciale che volge a Nord ed ospita il lago di Pilato; b. Il chirocefalo del Marchesoni (immagine Wikipedia); c. Panoramica del lago di Pilato visto da Sud

verso Nord, bordato da un anfiteatro naturale disposto a “ferro di cavallo” che altro non è che la forma relitta dell’antico circo glaciale. Le sue quinte montuose sono ad Ovest la Cima del Redentore, a Sud Punta di Prato Pulito e monte Vettore e ad Est il monte Vettore, cime comprese fra i 2000 e i 2500 metri di quota (Fig. 4a, 4c).

Da un punto di vista geologico, questo rilievo corrisponde ad un’anticlinale perlopiù composta dalla Formazione della Corniola con affiorante Calcare Massiccio al nucleo, quest’ultimo visibile nei pressi della depressione morfologica dov’è alloggiato il lago. Dai piedi del lago di Pilato si diparte l’omonima vallata che si sviluppa seguendo nei primi chilometri una direzione generale N-NE/S-SO per poi orientarsi in senso antiappenninico. Essa si origina alla base del lago di Pilato e trova più avanti sfogo nel Piano della Gardosa, ove il reticolo idrografico si unisce dando origine alle sorgenti del fiume Aso. Come precedentemente accennato, in particolari condizioni di siccità l’enorme mole di detrito prodotta dai versanti rocciosi interni al bacino idrografico riesce ad accumularsi in modo cospicuo fino ad occultare il livello idrico anche per lunghi periodi. Tale evento desta preoccupazione per quanto attiene agli aspetti biologici e faunistici del lago. Le sue acque, infatti, ospitano un particolare organismo endemico, un crostaceo chiamato “chirocefalo del Marchesoni”, specie protetta tanto da interdire l’accesso al lago per i moltissimi escursionisti che vi si recano ogni anno (Fig. 4b).

Il nome del lago trae origine dalla leggenda che narra della condanna a morte inflitta a Ponzio Pilato dall’imperatore Tiberio, il responsabile della crocefissione di Gesù Cristo. L’esecuzione prevedeva che il suo corpo venisse rinchiuso in un sacco ad affidato al traino di bufali, che partirono da Roma senza meta e arrivarono fino alla Cima del Redentore, dalla cui cresta abbandonarono il corpo nelle acque del lago. Nel tempo il mito fu alimentato da credenze popolari, facendo sì che attorno al lago si impostasse un alone di fascino e di mistero, fino a farlo diventare meta di viandanti ed avventurieri che si recavano fra le sue sponde per praticare riti profani. A causa di ciò, le passate amministrazioni si videro costrette ad erigere un muro a secco (non più visibile) a protezione del perimetro dell’invaso.

Gli elementi sopramenzionati contribuiscono ad alimentare l’importanza del geosito del lago di Pilato, apportan-

do ad esso valore ecologico, biologico, storico e culturale.

Valutazione del geosito:

Il geosito può essere classificato di “elevato valore scientifico”, per la sua rarità, rappresentatività, integrità, diversità, e per la conoscenza scientifica disponibile in letteratura sulla sua genesi ed evoluzione. Possiede a pieno titolo i valori aggiuntivi di tipo culturale, ecologico, biologico ed estetico, in accordo con i requisiti addizionali richiesti.

Il luogo non è facilmente accessibile e gli itinerari di accesso sono riservati ad escursionisti allenati ed in buona salute. Trovandosi all’interno del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, il geosito possiede anche una elevata visibilità.

Una adeguata conoscenza del geosito da parte dell’utente è fondamentale per la salvaguardia del suo patrimonio geologico, idrogeologico e biologico. È importante individuare il più efficace metodo di comunicazione delle sue peculiarità, perché la grande mole di escursionisti che si reca qui ogni anno possa facilmente essere sensibilizzata e possa raggiungere la giusta consapevolezza della sua vulnerabilità. Non sono rare, infatti, le immagini di turisti che si avvicinano o, addirittura, che vanno a rinfrescarsi nelle acque del lago, recando enorme danno al crostaceo endemico protetto.

GEOSITO AREALE - LA GOLA DI FRASASSI

Il comprensorio di Frasassi si manifesta agli occhi dello spettatore come una profonda incisione verticale operata dal torrente Sentino a spese di una porzione della dorsale marchigiana dell’Appennino. L’indubbia magnificenza paesaggistica, caratterizzata da una profonda gola incassata in imponenti e strapiombanti pareti di Calcare Massiccio (Fig. 5a), assume ancora più rilevanza se ammirata con le conoscenze del geologo: quest’area, infatti, può essere considerata come uno scrigno al cui interno sono racchiusi moltissimi siti di interesse geologico, di cui le grotte di Frasassi rappresentano il fiore all’occhiello.

Le bellezze geo-ambientali di questo territorio hanno nel tempo portato all’istituzione del Parco Naturale Regionale della Gola della Rossa e di Frasassi, in cui una ben strutturata e mantenuta rete escursionistica permette di ammirare le peculiarità geologiche e geomorfologiche in condizioni di relativa sicurezza. Questo parco naturale è da considerarsi

un vero e proprio laboratorio didattico a cielo aperto, in cui poter approfondire gli aspetti geomorfologici, sedimentari, stratigrafici, idrogeologici, strutturali e speleologici. Tutte le riflessioni che è possibile eviscerare da questo complesso ecosistema conducono ad un’unica unanime conclusione, che vede la geodiversità regina incontrastata di questo territorio.

Il comprensorio di Frasassi può essere considerato un geosito areale, cioè una superficie dall’elevato interesse geologico-geomorfologico nel cui interno sono riconoscibili molteplici geositi puntuali, di cui se ne riportano i più importanti: le varie cavità epigee ed ipogee (ognuna con all’interno altri geositi tra i quali si segnala il Foro degli occhialoni), gli inghiottitoi di Valmontagnana, il carsismo superficiale di monte Frasassi, le marmitte di eversione del torrente Sentino, i siti fossiliferi (fra i quali ricordiamo il Gengasaurus Nicosiai di 3 metri rinvenuto a Pontechiaradovo, le Ammonoidi della cava di Bugarone di Monte Valmontagnana, le stromatoliti, le oncoliti e le alghe azzurre lungo il sentiero che conduce al tempietto del Valadier), le tettoniti S-C, le grandi faglie che hanno dislocato il Calcare Massiccio della gola, le sorgenti di acqua sulfurea, i rinvenimenti faunistici in grotta quali le anguille fossili nel ramo New Mexico della grotta del Fiume, ecc..

Le peculiarità geologiche hanno avuto un ruolo determinante, influenzando direttamente nell’impostazione di profondi, reciproci, legami con la biologia, la storia e l’antropologia dell’area. L’interazione fra gli elementi geologico-paesaggistici e gli aspetti culturali ha contribuito ad esaltare esponenzialmente il valore e quindi l’interesse culturale di tali geositi.

Le numerose cavità epigee rinvenibili lungo la gola vantano vivaci e costanti frequentazioni antropiche, testimoniate dai numerosi utensili, manufatti e resti umani che accertano la presenza dell’uomo già a partire da 20.000 anni fa. È questo il caso della grotta della Beata Vergine di Frasassi (Fig. 5b) e dei depositi fluviali in essa sedimentati, all’interno dei quali è stata rinvenuta l’omonima Venere, statuetta raffigurante una prosperosa figura femminile attribuibile al Paleolitico. Testimonianze di frequentazioni umane delle cavità sono state rinvenute anche all’interno della Grotta dei Baffoni, della Grotta del Cervo Bianco e della Grotta della Rossa, anfratti utilizzati anche come luoghi di culto. Presso l’imbocco occidentale del-

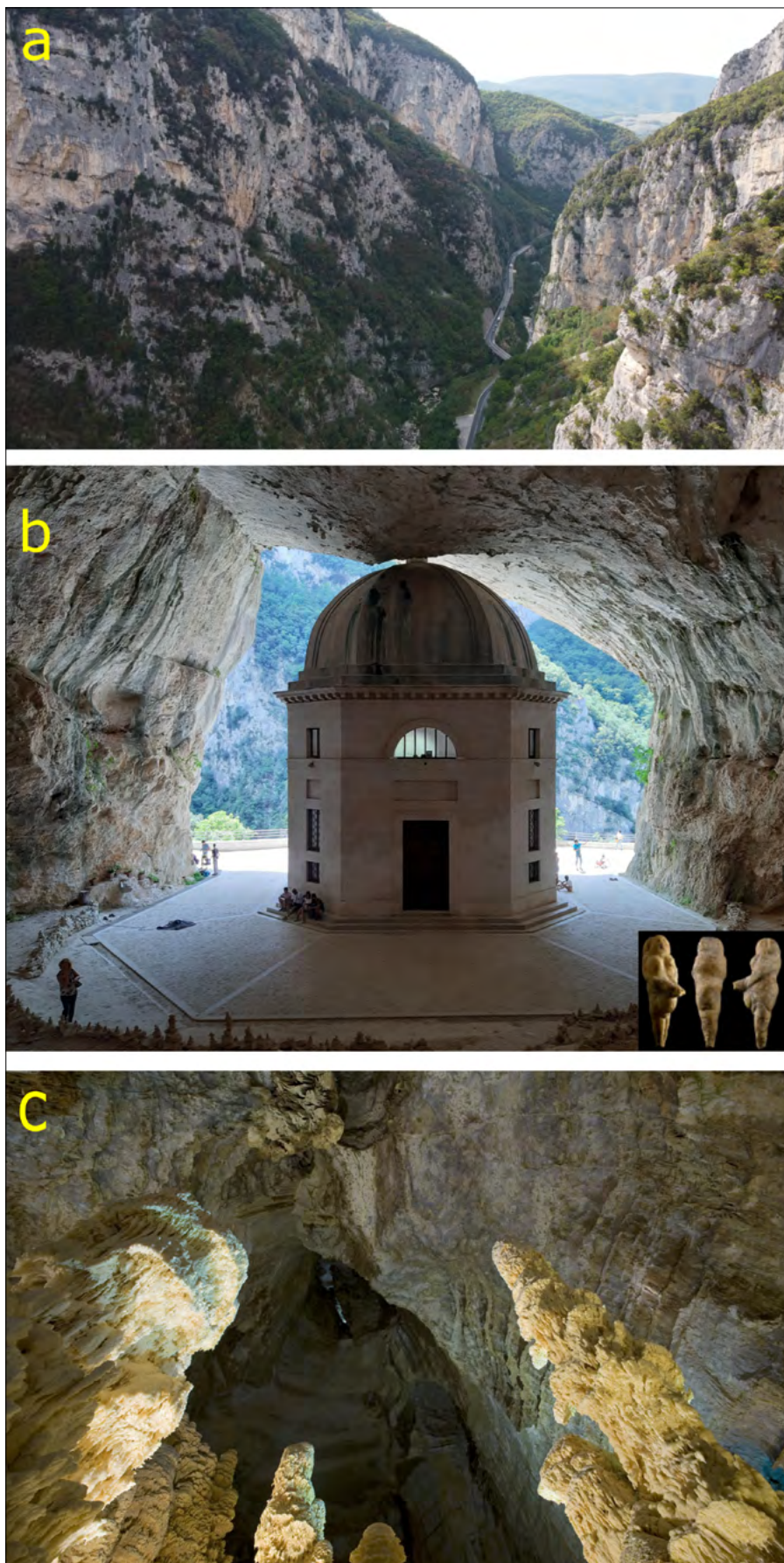


Figura 5. a. Panoramica sulla gola di Frasassi; b. Grotta della Beata Vergine Infra Saxa con Tempio del Valadier e, in basso a destra nel riquadro, la statua denominata Venere di Frasassi, rinvenuta in questa cavità; c. La sala dell'Abisso Ancona con visibile in alto il "balconino del brivido" da cui si calarono per la prima volta gli scopritori nel settembre del 1971. Immagine gentilmente concessa dal Consorzio Frasassi

la gola è stata rinvenuta la necropoli di Pianello, luogo di sepoltura in cui sono state recuperate 650 urne cinerarie appartenenti all'Età del Bronzo Finale.

Il geosito indubbiamente più importante è rappresentato dal complesso carsico della Grotta Grande del Vento, ambiente ipogeo che ospita l'attrazione

turistica conosciuta in tutto il mondo con il nome di grotte di Frasassi (Fig. 5c). Qui i fenomeni geologici hanno espresso il loro massimo potenziale, incatenando una casuale, rara e complessa concomitanza di processi chimici e fisici che hanno dapprima innescato i processi di dissoluzione della roccia e quindi hanno permesso la successiva decorazione delle pareti ad opera delle concrezioni. Il risultato che vediamo oggi è pertanto composto da ampi ambienti ipogei (la Grotta Grande del Vento è la cavità naturale più voluminosa d'Europa) adornati da stalattiti, stalagmiti, drappi, colonne, cortine parietali, laghetti cristallizzati.

Valutazione del geosito

Il geosito risponde a tutti i requisiti richiesti per essere considerato di "elevato valore scientifico", per la sua rarità, rappresentatività, integrità, diversità, e per la conoscenza scientifica disponibile in letteratura sulla sua genesi ed evoluzione.

Possiede indubbiamente i valori aggiuntivi di tipo culturale, ecologico ed estetico, in accordo con i requisiti addizionali richiesti.

Il luogo è facilmente accessibile e il percorso è destinato ad un pubblico di ampia fascia di età. Poiché ci troviamo nel Parco Naturale Regionale della Gola della Rossa e di Frasassi che ospita le omonime grotte, il geosito possiede anche un'elevatissima visibilità.

Una adeguata conoscenza del geosito da parte dell'utente è fondamentale per la salvaguardia del suo patrimonio geologico, bio-naturalistico, paesaggistico, storico e culturale. Alla luce di ciò risulta importante potenziare la modalità di comunicazione e divulgazione delle sue peculiarità, in modo tale che il fruitore venga sensibilizzato e reso consapevole della sua elevata vulnerabilità e fragilità.

SVILUPPI E POTENZIALITÀ

Il potenziale dei geositi e dei geomorfositi è ritenuto inestimabile, non solo utile per gli studenti universitari di geologia che possono visionare direttamente in campagna il risultato dei processi studiati ed analizzati nei libri di testo. Esso risulta molto valido anche al fine di illustrare la narrazione del paesaggio, inteso come risultato di lunghissimi processi relativi alle scienze della Terra, coinvolgendo maggiormente e facendo appassionare scolaresche e turisti. Proprio la geoeducazione ed il geoturismo possono rappresentare potenziali situazioni da cui promuovere le attività all'aria aperta, da cui estrarre un



Figura 6. Uno spettacolo dal vivo del gruppo TerreRare, svolto nella Chiesa di Santa Maria di Portonovo (AN)

importante indotto: talvolta occasione di rinascita di semplice e pressoché immediata realizzazione e a basso costo per le popolazioni colpite da calamità (Farabollini *et al.*, 2023); talvolta occasione per promuovere la didattica outdoor talvolta utile per la disseminazione delle scienze geologiche (Farabollini & Bendia, 2022).

Molti luoghi, molti geomorfositi, costituiscono una tipicità di alcuni territori, monumenti naturali che si incastonano nei cuori e nelle menti dei residenti. Questi possono rappresentare un forte caposaldo, un simbolo, suscitando un sentimento di affetto e rappresentanza in grado di originare nelle comunità un senso di appartenenza al territorio stesso, in cui gli abitanti si riconoscono nelle loro bellezze territoriali che in molte occasioni contribuiscono a rinforzare il legame alle proprie radici contrastando processi di spopolamento.

Lo sviluppo di questo progetto prevede la futura possibilità di approfondire, quantificare i parametri e le valutazioni al momento presi in considerazione, al fine di ottenere un database utile per il loro confronto, la classificazione e valorizzazione. La tutela e valorizzazione dei Geositi è infatti un settore in forte crescita, in cui si possono attivare ambiziosi progetti dove i cultori e specialisti delle scienze della terra risultano determinanti per sviluppare iniziative con ricadute direttamente collegate al patrimonio geologico di cui i Geositi sono espressione (sentieristica, cicloturismo, geoparchi, enogastronomia, ricettività, turismo, ecc.), con interventi di elevato valore scientifico, culturale e paesaggistico, che risultano trasversali negli scenari della programmazione regionale, nazionale e comunitaria.

Stimolante il caso di *TerreRare*, un gruppo di alcuni ricercatori e artisti

marchigiani, che da oltre 10 anni si occupa della promozione e della divulgazione del patrimonio geomorfologico e culturale della regione attraverso la combinazione del linguaggio scientifico con linguaggi di tipo artistico quali la poesia e la musica.

L'obiettivo di *TerreRare* è quello di seguire un percorso comunicativo di tipo emozionale, che possa più facilmente esprimere determinati contenuti agli utenti (Nesci e Valentini, 2020; Valentini *et al.*, 2022). La partecipazione ad un Bando del POR (Programma Operativo Regionale) dedicato alla valorizzazione del territorio marchigiano ha portato alla realizzazione e pubblicazione di un volume divulgativo, con allegati DVD e CD musicali, dedicato a venti geositi marchigiani (Nesci e Valentini, 2019).

Parallelamente, il gruppo *TerreRare* si occupa della realizzazione di spettacoli sul territorio, in cui vengono proposti cinque o sei luoghi, la loro storia geologica e geomorfologica, l'interazione con l'uomo e con l'ambiente. Ogni luogo viene descritto anche attraverso una poesia, un brano musicale eseguito dal vivo e un video (Fig. 6). Più recentemente il gruppo si è cimentato anche nella organizzazione di escursioni a tema, per promuovere il contatto diretto dei partecipanti con i luoghi. Sono state sperimentate quattro diverse modalità comunicative nell'ambito di un nuovo progetto, chiamato *Paesaggio* (Valentini *et al.*, 2022), la cui promozione e la divulgazione si è sviluppata anche attraverso i social.

Il paesaggio nord marchigiano ha anche la peculiarità di essere stato riprodotto come fondale nelle opere più celebri di Piero della Francesca e Raffaello (Borchia e Nesci, 2017; 2020) conferendogli l'ulteriore riconoscimento a paesaggio culturale. Grazie a un progetto europeo (Borchia e Nesci, 2021) sono già stati allestiti dei punti di avvistamento culturale (*I Balconi di Piero*) sui luoghi che l'artista scelse per raffigurare i suoi capolavori (Fig. 7).

L'esperienza acquisita sull'uso di forme di linguaggio di tipo artistico nella comunicazione del *geoheritage* spinge a continuare in questa direzione, con l'intenzione di rivolgersi ad un maggiore numero di geositi. Uno dei principali obiettivi futuri riguarda la realizzazione di itinerari virtuali, accessibili da App; l'utente potrebbe quindi approcciarsi autonomamente ai geositi marchigiani, trovando nell'applicazione una serie di informazioni sull'accesso, sulla storia geologica e geomorfologica, sulle pecu-



Figura 7. "I Balconi di Piero" – Punti di avvistamento culturale

liarità naturalistiche, artistiche e culturali, attraverso un metodo comunicativo interattivo che accosta il linguaggio scientifico ad un linguaggio multidisciplinare legato all'arte.

BIBLIOGRAFIA

- AA.VV. (1991), *Le emergenze geologiche e geomorfologiche delle Marche*. Piano Paesistico Ambientale Regionale.
- NESCI O., BORCHIA R. (2017), *Landscapes and Landforms of the Duchy of Urbino in Italian Renaissance Paintings*. © Springer International Publishing AG 2017, M. SOLDATI AND M. MARCHETTI (eds.), *Landscapes and Landforms of Italy*, World Geomorphological Landscapes, DOI 10.1007/978-3-319-26194-2_22, 257-269.
- BORCHIA R., NESCI O. (2020), *Raffello. E luce sia sui fondali ritrovati nelle terre di Urbino*. Fabiano Castaldo Ed., 238 pp.
- BORCHIA R., NESCI O. (2021), *Montefeltro paesaggio rinascimentale/Montefeltro Renaissance Landscapes*, Ebook Project RECOLOR-INTERREG Italy-Croatia Edito da/Published by Argalia Editore - A.G.E. Ars Graphica Et Cetera © 2021 Regione Emilia- Romagna, Assessorato alla Cultura e Paesaggio.
- BENTIVENGA M., CAVALCANTE F., MASTRONUZZI G., PALLADINO G., PROSSER G. (2019), *Geoheritage: The Foundation for Sustainable Geotourism*. Geoheritage, 11:1367-1369. <https://doi.org/10.1007/s12371-019-00422-w>
- BRANDOLINI P., FARABOLLINI P., MOTTA M., PAMBIANCHI G., PELFINI M., PICCAZZO M., (2007), *La valutazione della pericolosità geomorfologica in aree turistiche*. In: PICCAZZO, BRANDOLINI & PELFINI, eds, *Clima e Rischio geomorfologico in aree turistiche*. Studi Regionali e Monografici n. 39, Patron Ed., 11-27.
- BRUSCHI V., CENDRERO A. (2005), *Geosite evaluation: can we measure intangible values?* Il Quaternario 18-1, 293-306.
- CORATZA P., GIUSTI C. (2005), *Methodological proposal for the assessment of the scientific quality of geomorphosites*. Il Quaternario 18-1, 307-313.
- CORATZA P., PANIZZA M. (eds) (2009), *Geomorphology and cultural heritage*, Mem Descr Carta Geol d'It 87, 189 pp, ISBN:978-88-240-2956-8, ISSN: 0536-0242.
- CORATZA P., BOLLATI IM, PANIZZA V., BRANDOLINI P., CASTALDINI D., CUCCHI F., DEIANA G., DEL MONTE M., FACCINI F., FINOCCHIARO F., GIOIA D., MELIS R., MINOPOLI C., NESCI O., PALIAGA G., PENNETTA M., PEROTTI L., PICA A., TOGNETTO F., TROCCIOLA A., VALENTINI L., GIARDINO M., PELFINI M. (2021), *Advances in Geoheritage Mapping: Application to Iconic Geomorphological Examples from the Italian Landscape*. Sustainability, 13(20):11538. <https://doi.org/10.3390/su132011538>.
- CORNAMUSINI G., CONTI P., BONCIANI F., CALLEGARI I., MARTELLI L. (2017), *Geology of the 'Coltre della Val Marecchia' (Romagna-Marche Northern Apennines, Italy)*, Journal of Maps, 13:2, 207-218 <http://dx.doi.org/10.1080/17445647.2017.1290555>.
- DILIGENTI A., NESCI O., SAVELLI D. (2005), *Geomorphosites in the landscape of Monti del Furlo (Northern Marche Apennines)*. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences, ISSN 0394-3356, Volume Speciale, 18 (1), 203-211.
- DIXON G. (1996), *Geoconservation, an international review and strategy in Tasmania*. Misc Rep Parks & Wildlife Serv, Tasmania, 101 pp.
- FARABOLLINI P., BENDIA F. (2022), *Assetto geologico e sismotettonico*. In: *La Microzonazione sismica delle Marche - 10 anni di attività*, a cura di ALBARELLO D. & TIBERI P. (Ancona, Regione Marche, Direzione Protezione Civile e Sicurezza del Territorio), 77-105.
- FARABOLLINI P., BENDIA F. (2022), *Frasassi Caves and Surroundings: A Special Vehicle for the Geoeducation and Dissemination of the Geological Heritage in Italy*. Geosciences 12, no. 11: 418. <https://doi.org/10.3390/geosciences12110418>.
- FARABOLLINI P., BENDIA F. & LUGERI F.R. (2023), *Revitalizing the wounded territory: the "geo-hikings" potential*. In: BHARAT DAHIYA, FRANCESCO DE PASCALE F., DE PIETRO O., FARABOLLINI P., LUGERI F.R. & MERCATANTI L., (Eds) (in press). *Disaster Resilience and Human Settlements: Emerging Perspectives in the Anthropocene*. Springer.
- FERRANDO, A., FACCINI, F., PALIAGA, G., CORATZA, P. (2021a), *A Quantitative GIS and AHP Based Analysis for Geodiversity Assessment and Mapping*, Sustainability, 13,10376. <https://doi.org/10.3390/su131810376>
- FERRANDO, A., FACCINI, F., POGGI, F., CORATZA, P. (2021b), *Geosites Inventory in Liguria Region (Northern Italy): A Tool for Regional Geoconservation and Environmental Management*. Sustainability, 13, 2346. <https://doi.org/10.3390/su13042346>.
- GRAY M. (2004), *Geodiversity, valuing and conserving abiotic nature*. Wiley & Sons, Chichester, 43, 434 pp.
- GRANDGIRARD, V. (1997), *Géomorphologie, Protection de la Nature et Gestion du Paysage*. Ph.D. Thesis, Université de Fribourg, Fribourg, Switzerland.
- GRANDGIRARD, V. (1999), *L'évaluation des géotopes*. Geol. Insubr., 4(1), pp. 66-69.
- MUCIVUNA V.C., REYNARD E., GARCIA M.G.M. (2019), *Geomorphosites Assessment, Methods: Comparative Analysis and Typology*, Geoheritage, 11:1799-1815.
- NESCI O., BORCHIA R. (2017), *Landscapes and Landforms of the Duchy of Urbino in Italian Renaissance Paintings*. © Springer International Publishing AG 2017, M. SOLDATI AND M. MARCHETTI (eds.), *Landscapes and Landforms of Italy*, World Geomorphological Landscapes, DOI 10.1007/978-3-319-26194-2_22, 257-269.
- NESCI O., VALENTINI L. (2019), *TerreRare. Le Marche: Scienza, Poesia, Musica*. Argalia Ed, Urbino (PU), 230 pp, ISBN 978-88-89731-20-8.
- NESCI O., VALENTINI L. (2020), *Science, poetry, and music for landscapes of the Marche Region, Italy: communicating the conservation of the natural heritage*. Geosci. Commun. 3, pp. 393-406. <https://doi.org/10.5194/gc-3-393-2020>.
- PANIZZA M. (2001), *Geomorphosites: Concepts, methods and examples of geomorphological survey*. Chin. Sci. Bull., 46, pp. 4-6.
- PANIZZA M., PIACENTE S. (2003), *Geomorfologia culturale*. Pitagora, Bologna.
- PANIZZA M., PIACENTE S. (2008), *La geodiversità e una sua applicazione nel territorio emiliano*, Il Geologo, 29, 35-37.
- PEREIRA, P., PEREIRA D. (2010), *Methodological guidelines for geomorphosite assessment*. Géomorphol. Relief Processus Environ., 16(2), pp.215-222. <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.7942>.
- PESCATORE E., BENTIVENGA M., GIANO S.I. (2023), *Geoheritage and Geoconservation: Some Remarks and Considerations*. Sustainability, 15, 5823. <https://doi.org/10.3390/su15075823>.
- REYNARD E. (2005), *Géomorphosites et paysages*. Géomorphologie: relief, processus, environnemente, 3: 181-188
- REYNARD E., FONTANA G., KOZLIK L., SCAPOZZA C. (2007), *A method for assessing scientific and additional values of geomorphosites*. Geogr. Helv. 62, 148-158.
- REYNARD E., PERRET A., BUSSARD J., GRANGIER L., MARTIN S. (2016), *Integrated approach for the inventory and management of geomorphological heritage at the regional scale*. Geoheritage 8, 43-60.
- SERRANO E., GONZALEZ-TRUEBA J. (2005), *Assessment of geomorphosites in natural protected areas: the Picos de Europa National Park (Spain)*. Géomorphologie: relief, processus, environnement 3, 197-208.
- SHARPLES C. (1995), *Geoconservation in forest management-principles and procedures*. Taskforest, Hobard, 7, 37-50.
- VALENTINI L., NESCI O. (2021), *A new approach to enhance the appeal of the Italian territory through art: three study cases from Marche Region*, Arabian Journal of Geosciences 14:144, <https://doi.org/10.1007/s12517-020-06415-2>.
- VALENTINI L., NESCI O., CARNEVALI L., BAIOCCHI S., BRIZIGOTTI M., TEODORI S., ARGALIA S. (2022), *Landscape as a resource: science, poetry, and ancient music for the enhancement of the Marche Region, central Italy*. In: *Recent Research on Geomorphology, Sedimentology, Marine Geosciences and Geochemistry*. Advances in Science, Technology and Innovation. Proceedings of the 2nd Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-2), Tunisia 2019, Ciner A. et al. Eds, Springer, pp. 107-9, https://doi.org/10.1007/978-3-030-72547-1_24.
- VALENTINI, L., GUERRA, V., LAZZARI, M. (2022), *Enhancement of Geoheritage and Development of Geotourism: Comparison and Inferences from Different Experiences of Communication through Art*. Geosciences 2022, 12, 264.
- WIMBLETON W.A.P. (1996), *Geosites a new conservation initiative*, Episodes, v.19, pp.87 88.

Gli acquiferi carsici in contesti di cambiamento climatico: il caso della Regione Puglia (Italia meridionale)

Isabella Serena Liso, Mario Parise
 Università degli Studi di Bari Aldo Moro,
 Dipartimento di Scienze della Terra e
 Geoambientali
 E-mail: i.serena.liso@gmail.com

Karst aquifers in the climate change scenario: the case of Apulia Region (Southern Italy)

Parole chiave: acque sotterranee, cambiamento climatico, risorsa idrica, carsismo, inquinamento

Key words: groundwater, climate change, freshwater resource, karst, pollution

ABSTRACT

Freshwater is among the most important resources to be protected nowadays, due to the current climate changes and the worldwide growing population. Karst aquifers require particular attention given their physical heterogeneity and extremely high vulnerability. Apulia Region, the heel of the Italian boot, represents the most significant karst area in Southern Italy thanks to the large area of territory covered by outcropping of soluble rocks, significantly affected by karst processes. They host huge quantity of freshwater that is threatened by both climate changes and human mismanagement actions. In particular, climate changes reduce the effective natural recharge because of variations in rain regime, and increase in the evapotranspiration rate. Furthermore, the global sea level rise intensified the seawater intrusion phenomena, reducing the volume of freshwater stored within carbonate rocks. In addition, human actions may contribute to degradation of the underground resource: in Apulia many illegal wells have been drilled along the whole region, especially at coastal zones, during the last decades, and the practice of stone clearing and crushing at the inland karst plateau, has determined intense development of soil erosion, and destruction of the epikarst. These factors are at the origin of significant contributions to depletion of freshwater resources, since they remove from the aquifer more water than the volume naturally recharging the system. The best way to protect the precious underground resources consists in a continuous monitoring of the water bodies, accompanied by a proper hydrogeological characterization and modeling. This can be considered the

scientific base on which Authorities should build a proper management, and design and develop actions to guarantee the availability of freshwater resources to the future generations.

1. INTRODUZIONE

Le caratteristiche peculiari dei territori carsici sono l'estrema anisotropia fisica del sottosuolo e la elevata vulnerabilità degli acquiferi ospitati negli ammassi rocciosi carbonatici. L'anisotropia è legata alla distribuzione non omogenea delle discontinuità nel sottosuolo e alla distribuzione differenziale della sua trasmissività idraulica, che varia considerevolmente da porzioni caratterizzate da fratture millimetriche a quelle dominate dai grandi condotti carsici.

In tali ambienti, l'acqua di superficie è molto scarsa, spesso assente, poiché tende ad infiltrarsi velocemente nelle fratture affioranti dell'epicarso (Fig. 1). Da qui, essa scorre prevalentemente in senso verticale guidata dalla forza di gravità attraverso la zona vadosa/insatura del sottosuolo (Williams, 1983, 2008; Klimchouk 2000; Aquilina *et al.*, 2006) fino a raggiungere la zona satura, sede della falda idrica, dove scorre essenzialmente in senso orizzontale, guidata dal gradiente idraulico (Mangin, 1973, 1975; Worthington e Ford, 2009).

L'infiltrazione dell'acqua di pioggia può avvenire in maniera diffusa attraverso le fratture e i giunti di strato, ovvero le discontinuità dell'ammasso roccioso, o in modo concentrato tramite gli

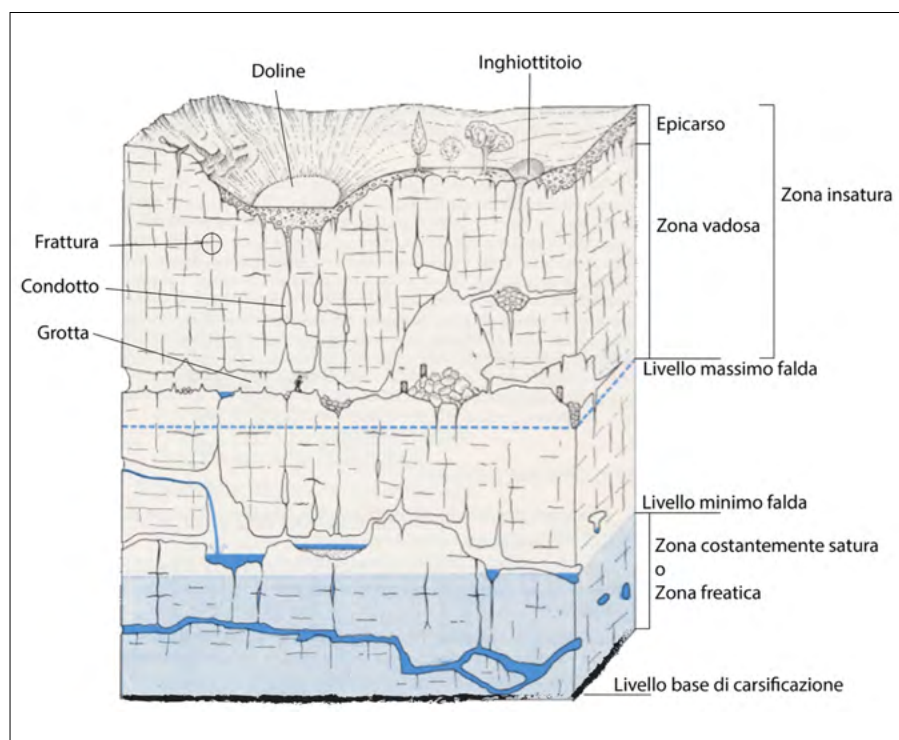


Figura 1. Schema ideale di un massiccio carsico

inghiottitoi, ovvero punti preferenziali di assorbimento, che sono elementi fisici di collegamento diretto tra la superficie e la falda sottostante. Insieme ad altre forme del paesaggio carsico, come doline e bacini endoreici, gli inghiottitoi sono formidabili attori nel processo di ricarica naturale dell'acquifero, poiché contribuiscono in modo estremamente efficace a veicolare l'acqua dalla superficie, fino alla falda idrica (White, 2002). Allo stesso tempo, però, essendo un collegamento diretto tra la superficie e la falda, essi rappresentano anche punti sensibili poiché espongono le riserve di acque dolci a potenziali fonti di inquinamento (Parise *et al.*, 2018), ad esempio sversamenti illeciti di scarichi fognari o industriali.

Oltre alla anisotropia spaziale, gli acquiferi carsici presentano anche una anisotropia temporale poiché si evolvono con l'avanzare dei processi di carsificazione (Bonacci, 1987; Dreybrodt, 1988; White, 1988; Klimchouk *et al.*,

2000; Ford and Williams, 2007). Questo avviene grazie all'effetto combinato dell'azione chimico-fisica dell'acqua che, dissolvendo la roccia, allarga le piccole discontinuità iniziali fino a farle diventare condotti carsici, e delle variazioni continue del livello di base del carsismo, generalmente corrispondente al livello del mare. Così modificati dal flusso idrico sotterraneo, gli ammassi rocciosi presentano una porosità tripla riferita alla matrice, alle fratture e ai condotti (Worthington *et al.*, 2000; Worthington e Smart, 2004; Palmer, 2010); all'interno delle fratture aperte qualche millimetro l'acqua si muove con regime laminare, mentre nelle fratture ad apertura maggiore e nei condotti il regime diviene turbolento, favorendo l'avanzare del processo e l'allargamento dei vuoti per l'azione di dissoluzione chimica ed erosione fisico-meccanica dell'acqua sulla roccia circostante.

La natura fortemente eterogenea di tali acquiferi rende estremamente

difficile l'implementazione di modelli numerici che simulino i processi idrogeologici in maniera sufficientemente adeguata. Generalmente si utilizzano i modelli EPM (*Equivalent Porous Media*) che non permettono, però, l'implementazione di quei processi che sono caratteristici di ammassi rocciosi fratturati e carsificati. Pertanto l'incertezza dei risultati delle simulazioni è decisamente maggiore negli acquiferi carsici rispetto a quelli porosi (Kovacs and Sauter, 2007; Fiorillo *et al.*, 2023).

Nonostante le difficoltà di costruzione del modello concettuale, e della successiva modellizzazione, gli acquiferi carsici e le acque ivi presenti spesso costituiscono la sola risorsa disponibile per le comunità che vivono in questi territori (Stevanovic, 2019).

È quindi necessario approfondire gli studi e avviare monitoraggi specifici e continui per sviluppare modelli previsionali affidabili sugli scenari futuri dello stato quali-quantitativo della

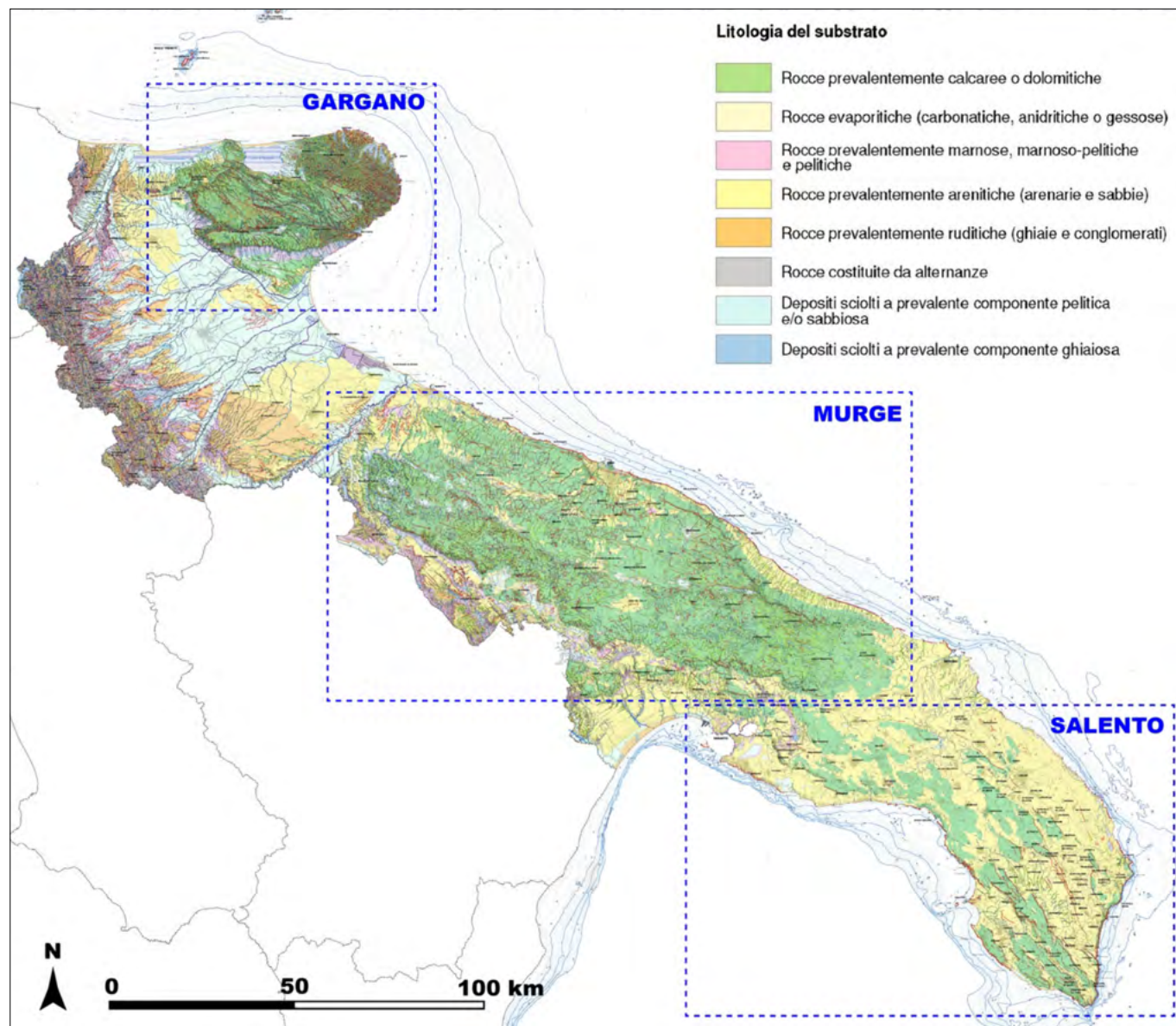


Figura 2. Carta geo-litologica della Puglia (Mod. da Regione Puglia, 2015)

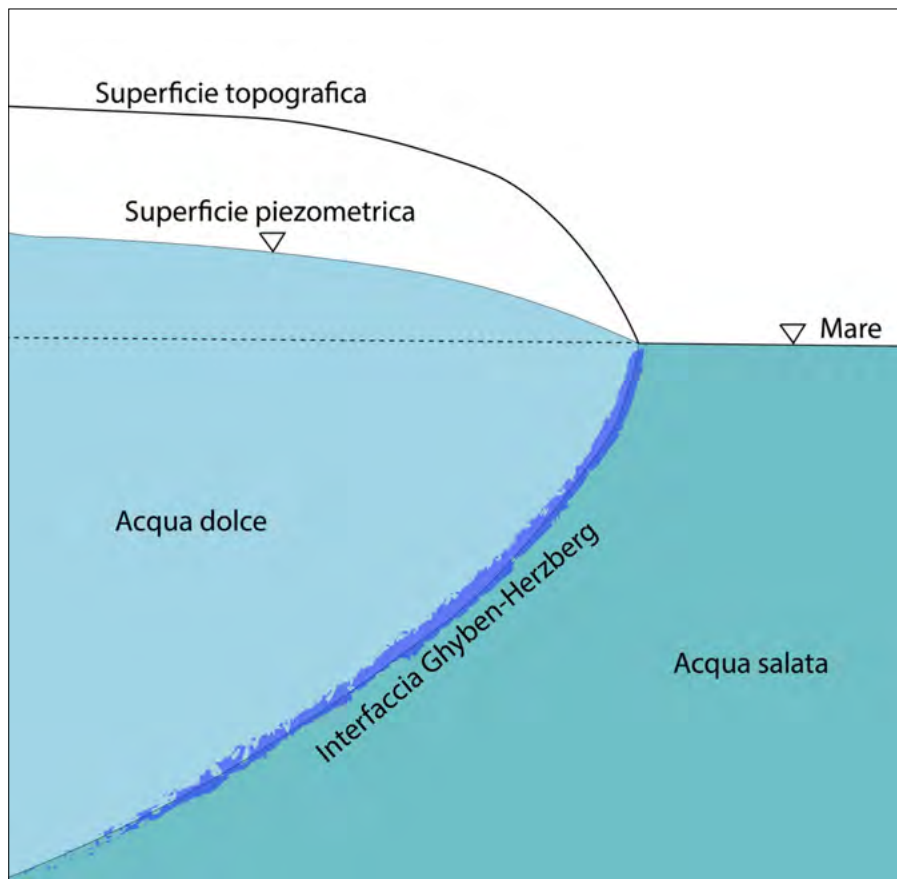


Figura 3. Rappresentazione schematica del fenomeno dell'intrusione marina e dell'interfaccia Ghyben-Herzberg (mod. da Eftimi et al., 2023)

risorsa idrica sotterranea, soprattutto nell'attuale situazione di cambiamento climatico. Quest'ultimo, infatti, ha svariate conseguenze sullo stato qualitativo delle risorse sotterranee. Esso ha determinato la variazione del regime pluviometrico, incrementando il numero di eventi meteorologici estremi; ciò ha aumentato considerevolmente il verificarsi di fenomeni di ruscellamento superficiale, erosione del suolo e dissesto idrogeologico (Gentile *et al.*, 2020; Pisano *et al.*, 2022; Parise *et al.*, 2023), riducendo pertanto il volume di acqua che si infiltra efficacemente nel substrato roccioso, ricaricando naturalmente gli acquiferi. Il cambiamento climatico, inoltre, è anche responsabile dell'aumento delle temperature medie annue, che a sua volta determina una maggiore evapotraspirazione da parte delle piante e del suolo. Ancora, l'incremento costante del livello del mare, a seguito dello scioglimento dei ghiacci, favorisce l'avanzamento dell'intrusione marina in acquiferi costieri. Questo naturale processo è favorito anche dalla sempre più crescente domanda di acqua per scopi agricoli, industriali e potabili, oltre a quelli derivanti dall'impatto del turismo estivo. Il prelievo di acqua dal sottosuolo dovrebbe essere sempre regolato dalle autorità, sulla base di studi di dettaglio sul bilancio idrico, ovvero

sui volumi di acqua che entrano nel sistema (infiltrazione efficace naturale o ricarica artificiale) e volumi di acqua in uscita (sorgenti e emungimenti). Se l'emungimento idrico da pozzi di approvvigionamento superasse il volume di acqua in entrata si assisterebbe alla progressiva riduzione della risorsa disponibile, la portata di efflusso a mare si ridurrebbe, determinando il progressivo avanzamento del cuneo salino verso l'entroterra causato dal fenomeno di intrusione marina negli acquiferi costieri. La popolazione mondiale cresce a tassi esponenziali e negli ultimi 50 anni è raddoppiata (Thatcher *et al.*, 2017); il problema dell'approvvigionamento idrico risulta, quindi, una delle più importanti sfide del futuro. Preservare le risorse idropotabili del nostro Pianeta e fornire alle autorità competenti strumenti e conoscenze utili per una buona gestione della risorsa idrica sotterranea, risulta estremamente importante al fine di garantire prosperità e sopravvivenza per il futuro dell'umanità.

2. LE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE DELLA PUGLIA: VULNERABILITÀ QUALI-QUANTITATIVA

La Regione Puglia può essere descritta come una penisola bordata da circa 900 km di costa, caratterizzata da

clima arido/semi-arido e da rocce solubili in affioramento che coprono circa l'80% del territorio (Fig. 2). Il basamento regionale è costituito dai Calcari del Cretaceo, appartenenti alla piattaforma carbonatica apula Mesozoica su cui poggiano le più giovani rocce calcarenitiche, di età compresa tra il Miocene e il Quaternario. Data questa specifica caratteristica geo-litologica, la Puglia è la regione carsica per eccellenza dell'Italia meridionale.

Il territorio pugliese è suddiviso in tre distretti carsici: il Promontorio del Gargano (a nord), l'Altopiano delle Murge (nella porzione centrale) e la Penisola Salentina (a sud). Il carsismo si è sviluppato in modo differente all'interno dei tre distretti, in funzione della storia geodinamica regionale che ha portato le aree settentrionale e centrale ad emergere definitivamente dalle acque marine in anticipo rispetto a quella meridionale; pertanto, le forme carsiche sono più sviluppate sul Gargano e nelle Murge rispetto al Salento (Parise, 2008).

Data la stretta correlazione tra rocce carbonatiche affioranti e corpi idrici che fluiscono in essi, i distretti carsici si specchiano nei tre distretti idrogeologico-carsici di Gargano, Murge e Salento (Maggiore e Pagliarulo, 2004; Parise, 2011; Cotecchia, 2014). Si stima che in alcuni settori costieri della Puglia, l'interfaccia Ghyben-Herzberg acqua dolce/acqua salata (Fig. 3) si collochi ad alcune decine di chilometri nell'entroterra (Regione Puglia, 2009) e che nella sola Penisola Salentina, il settore carsico a maggiore stress idrico in regione, ci sarà una riduzione del 16% della risorsa idrica attualmente presente entro il 2200 (Masciopinto e Liso, 2016); si sottolinea che tale stima considera come fattore determinante la perdita di risorsa solo l'incremento del livello del mare, senza tenere conto della riduzione di infiltrazione efficace e dell'aumento della domanda idrica.

Alla perdita di risorsa idrica per contaminazione salina dovuta all'innalzamento del livello del mare, si aggiungono fattori antropici esacerbanti, quali la diffusa presenza di pozzi abusivi di emungimento sull'intero territorio regionale. Il prelievo non regolamentato di volumi di acqua dal sottosuolo sta determinando il depauperamento della risorsa, poiché non permette all'acquifero di ricaricarsi a sufficienza per respingere il cuneo di intrusione salina, tanto che nell'area della Penisola Salentina le acque del Mar Adriatico e Mar Ionio si collegano a formare un corridoio di



Figura 4. In rosso l'area definita dal Piano Regionale Tutela Acque (PTA, 2015-2021; da Regione Puglia, 2009) come vulnerabile alla contaminazione salina

acqua salata nella parte centrale della penisola (Fig. 4).

Tra le cause antropiche di degrado del paesaggio carsico è doveroso annoverare le pratiche agricole di spietramento, finanziate dalla Comunità Europea negli anni 80-90 e molto diffuse fino al decennio scorso, soprattutto nel territorio dell'Altopiano delle Murge. Lo spietramento consiste nella distruzione di banchi/strati superficiali di calcare per generare suolo utile all'agricoltura. In occasione di piogge intense, però, lo strato esiguo di suolo, scarsamente fissato dagli apparati radicali delle colture, viene dilavato, innescando fenomeni di erosione e perdita del suolo anche su blande pendenze (Parise, 2012; Pisano *et al.*, 2022).

La pratica di spietramento ha quindi determinato una profonda trasformazione dell'originario paesaggio carsico, causando inoltre la distruzione dello strato protettivo del sottosuolo carsico, ovvero l'epicarso (Williams, 2008), che non assolve più alla sua funzione di assorbimento e trasferimento dell'acqua di pioggia, riducendo così l'infiltrazione efficace.

Nonostante questo contributo tratti principalmente di falde idriche carsiche, è doveroso fare un riferimento anche ai

corpi idrici contenuti in mezzi porosi, il più importante dei quali scorre nei depositi del Tavoliere delle Puglie, tra il distretto del Gargano e quello delle Murge. Nelle falde porose, la risorsa idrica risulta estremamente degradata da una forte componente di intrusione marina associata ad inquinamento antropico. Inoltre, la falda del Tavoliere risulta contaminata da acque saline anche sul bordo orientale (Cotecchia e Magri, 1966; Mongelli e Ricchetti, 1970; Maggiore e Mongelli, 1991; Grassi e Tadolini, 1992), a contatto con il Gargano tramite la faglia del Candelaro, che agisce come elemento di connessione idraulica tra le acque dolci garganiche e le acque connate, più profonde e salate (Masciale *et al.*, 2010).

Tutti i fattori sopraelencati, ovvero l'aumento delle temperature e della evapotraspirazione, l'aumento del livello del mare e l'avanzamento nell'entroterra dell'interfaccia Ghyben-Herzberg, insieme allo sfruttamento intensivo della risorsa idrica sotterranea legata all'aumento della domanda idrica e all'abusivismo legato alla perforazione illegale di pozzi di emungimento, stanno generando una riduzione progressiva dei volumi di acqua dolce presenti nelle falde idriche carsiche della Regione Puglia.

3. CONCLUSIONI

L'eterogeneità intrinseca dei territori carsici, in particolare delle caratteristiche fisiche del sottosuolo, necessita dell'utilizzo di approcci di indagine combinati, ovvero l'integrazione di dati bibliografici e di campo, di natura geologica, idrogeologica e speleologica che garantiscono l'acquisizione di dati diretti del sottosuolo (La Moreaux e Stevanovic, 2015), non solo derivati da metodiche di indagine indirette come quelle geofisiche. Particolare attenzione deve essere rivolta agli acquiferi carsici, poiché estremamente vulnerabili e difficili da bonificare (White, 1988; Ford and Williams, 2007; Parise and Gunn, 2007); le tecniche di bonifica, infatti, quando possibili risultano onerose e necessitano di tempi molto lunghi per l'ottenimento dei risultati pianificati. Pertanto, studi approfonditi sulla geo-chimica delle acque, sulle caratteristiche fisiche degli acquiferi e sul regime di portata delle sorgenti (sia subaeree che sottomarine), assieme al monitoraggio climatico e all'intensificazione dei controlli per l'individuazione dei pozzi di emungimento illegali, risultano azioni fondamentali per una caratterizzazione idrogeologica ed idraulica degli acquiferi carsici regionali, mirata ad ottenere

una adeguata quantificazione del bilancio idrico. La perdita di risorsa idrica in Puglia, soprattutto in contesti di cambiamento climatico, definisce la necessità e l'urgenza di costruire reti di monitoraggio specifiche che restituiscano dati in modo continuativo. I risultati di tali studi dovrebbero rappresentare la base scientifica indispensabile per consentire alle autorità locali di pianificare correttamente la gestione e garantire la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee, così assicurando anche alle generazioni future la disponibilità di risorsa idrica derivante dal sottosuolo, soprattutto in territori carsici come la Regione Puglia.

RINGRAZIAMENTI

Questo studio è stato parzialmente condotto nell'ambito del Partenariato Esteso RETURN, finanziato dall'Unione Europea – NextGenerationEU (Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza – PNRR, Missione 4 Componente 2, Investimento 1.3 - D.D. 1243 2/8/2022, PE0000005).

BIBLIOGRAFIA

- AQUILINA L., LADOUCE B., DOERFLIGER N. (2006), *Water storage and transfer in the epikarst of karstic systems during high flow periods*. *J. Hydrol.*, 327, 472–485.
- BONACCI O. (1987), *Karst hydrogeology with special reference to the Dinaric karst*. New York: Springer, 184 pp.
- COTECCHIA V. (2014), *Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa*. Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia, 92, 416 pp.
- COTECCHIA V., MAGRI G. (1966), *Idrogeologia del Gargano*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 1: 1-86.
- DREYBRODT W. (1988), *Processes in karst systems – physics, chemistry and geology*. Heidelberg, New York: Springer, 288 pp.
- EFTIMI R., LISO I.S., PARISE M. (2023), *Classification and hydro-geochemistry of karst springs along the southern coast of Albania*. Carbonates and Evaporites Journal (In stampa).
- FIORILLO F., PAGNOZZI M., ADDESSO R., CAFARO S., D'ANGELI I.M., ESPOSITO L., LEONE G., LISO I.S., PARISE M. (2023), *Uncertainties in understanding groundwater flow and spring functioning in karst*. In: CURRELL M., KATZ B.G. (Eds.) *Threats to Springs in a Changing World: Science and Policies for Protection*. John Wiley & Sons, Inc., American Geophysical Union, Geophysical Monograph 275, ISBN 978-1-119-81859-5, p. 131-142.
- FORD D.C., WILLIAMS P. (2007), *Karst hydrogeology and geomorphology*. Wiley, Chichester, 448 pp. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>.
- GENTILE P., IAIA C., LISO I.S., PARISE M. (2020), *Eventi alluvionali nell'ambiente carsico pugliese*. Geologia dell'Ambiente, suppl. n. 1/2020, ISSN 1591-5352, p. 56–63.
- GRASSI D., TADOLINI T. (1992), *Caratteristiche chimico-fisiche delle acque della falda carsica del Gargano*. CNR-GNDICI, pubbl. n. 538, Bari.
- KLIMCHOUK A.B. (2000), *The formation of epikarst and its role in vadose speleogenesis*. In: KLIMCHOUK A.B., FORD D.C., PALMER A.N., DREYBRODT W. (Eds.) *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. Huntsville, AL: National Speleological Society of America, 91–99.
- KLIMCHOUK A.B., FORD D.C., PALMER A.N., DREYBRODT W. (Eds.) (2000), *Speleogenesis, evolution of karst aquifers*. Huntsville, Alabama, USA: National Speleological Society, Inc., 527 pp.
- KOVÁČKS A., SAUTER M. (2007), *Modelling karst hydrodynamics*. In: GOLDSCHIEDER N., DREW D. (Eds.) *Methods in karst hydrogeology*. International contributions to hydrogeology, 26. Taylor and Francis. ISBN: 13:978-0-415-42873-6.
- LA MOREAUX J. W., STEVANOVIĆ Z. (2015), *Historical overview on karst research*. In: STEVANOVIĆ Z. (Eds.) *Karst aquifers: characterization and engineering*. Springer. DOI: 10.1007/978-3-319-12850-4.
- MAGGIORE M., MONGELLI F. (1991), *Hydro-geothermal model of ground-water supply to San Nazario spring (Gargano, Southern Italy)*. Proceedings of the International Conference on Environmental Changes in Karst Areas, Padova 27 sept, 1991; Quaderni del Dipartimento di Geografia n. 13, Università di Padova, 307-324.
- MAGGIORE M., PAGLIARULO P. (2004), *Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia*. Geologi e Territorio, 1, 13-35.
- MANGIN A. (1973), *Sur la dynamique des transferts en aquifère karstique*. Proc. 6th Int. Congress of Speleology, Olomouc, CSSR, 6, 157–62.
- MANGIN A. (1975), *Contribution a l'étude hydrodynamique des aquifères karstiques*. Univ. Dijon These Doct. es. Sci. Annales de Spéléologie, 29 (3), 283–332; 29 (4), 495–601; 30 (1), 21–124.
- MASCIALE R., BARCA E., PASSARELLA G. (2010), *A methodology for rapid assessment of the environmental status of the shallow aquifer of "Tavoliere di Puglia" (Southern Italy)*. Environ. Monit. Assess., 177, 245–261. DOI 10.1007/s10661-010-1631-0.
- MASCIOPINTO C., LISO I.S. (2016), *Assessment of the impact of sea-level rise due to climate change on coastal groundwater discharge*. Science of the Total Environment, 569–570, 672–680. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.183>.
- MONGELLI F., RICCHETTI G. (1970), *Heat flow along the Candalaro fault, Gargano headland (Italy)*. Geothermics, Special Issue, 2.
- PALMER A.N. (2010), *Understanding the hydrology of karst*. Geol. Croat., 63, 143–148.
- PARISE M. (2008), *Elementi di geomorfologia carsica della Puglia*. In: PARISE M., INGUSCIO S., MARANGELLA A. (Eds.) *Atti del 45° Corso CNSS-SSI di III livello di "Geomorfologia Carsica"*. Grottaglie, 2-3 febbraio 2008, 93-118.
- PARISE M. (2011), *Surface and subsurface karst geomorphology in the Murge (Apulia, southern Italy)*. Acta Carsologica, 40 (1), 79–93. <https://doi.org/10.3986/ac.v40i1.30>.
- PARISE M. (2012), *Management of water resources in karst environments, and negative effects of land use changes in the Murge area (Apulia)*. Karst Dev., 2, 16–20.
- PARISE M., GUNN J. (Eds.) (2007), *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis and mitigation*. Geological Society of London, special publication 279, London, 202 pp.
- PARISE M., GABROVSEK F., KAUFMANN G., RAVBAR N. (2018), *Recent advances in karst research: from theory to fieldwork and applications*. In: PARISE M., GABROVSEK F., KAUFMANN G., RAVBAR N. (Eds.) *Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications*. Geological Society, London, Special Publication 466, p. 1-24.
- PARISE M., D'ETTORRE U.S., LISO I.S. (2023), *Degradation of the karst environment*. Proceedings International Scientific Conference "Man and Karst 2022", September 12-17, Custonaci (Italy).
- PISANO L., ZUMPARO V., PEPE M., LISO I.S., PARISE M. (2022), *Assessing Karst Landscape Degradation: a case study in Southern Italy*. Land, vol. 11, 1842.
- REGIONE PUGLIA (2015), *Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR). Tavola 3.2.1 L'idrogeologia*. Bari, Italia.
- REGIONE PUGLIA (2009), *Piano di Tutela delle Acque (PTA)*. Bari, Italia.
- STEVANOVIĆ Z. (2019), *Karst water in potable water supply: A global scale overview*. Environ. Earth Sci., 78, 662.
- THATCHER A., WATERSON P., TODD A., MORAY N. (2017), *State of Science: ergonomics and global issues*. Ergonomics. <http://dx.doi.org/10.1080/00140139.2017.1398845>
- WHITE W.B. (1988), *Geomorphology and hydrology of karst terrains*. New York, Oxford Univ. Press, 464 pp.
- WHITE W.B. (2002), *Karst hydrology: recent developments and open questions*. Engng. Geol., 65, 85–105.
- WILLIAMS P.W. (1983), *The role of the subcutaneous zone in karst hydrology*. J. Hydrology, 61, 45–67.
- WILLIAMS P.W. (2008) *The role of the epikarst in karst and cave hydrogeology: A review*. Int. J. Speleol., 37, 1–10.
- WORTHINGTON S.R.H., SMART C.C. (2004), *Groundwater in karst: conceptual models*. In: *Encyclopedia of caves and karst science*, Fitzroy Dearborn, London & New York, 399–401.
- WORTHINGTON S.R.H., SMART C.C. (2009), *Self-organized permeability in carbonate aquifers*. Groundwater, 47 (3), 326-336.
- WORTHINGTON S.R.H., FORD D.C., BEDDOWS P.A. (2000) *Porosity and permeability enhancement in unconfined carbonate aquifers as a result of dissolution*. In: Klimchouk, AV, Ford, DC, Palmer, A. N., Dreybrodt, W. (Eds.) *Speleogenesis: Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society of America, Huntsville, Alabama, USA, 220-223.

Caratterizzazione chimico-fisica e biologica dell'area marina protetta Karaburun-Sazan ai fini della valutazione dei potenziali impatti dei cambiamenti climatici, nella baia di Valona, Albania

Chemical-physical and biological characterization of Karaburun-Sazan marine protected area to assess the potential impacts of climate change, in Vlora bay, Albania

Parole chiave: MPA, over-grazing, silting, I CARLIT, Marine Litter
Key words: MPA, overgrazing, silting, I CARLIT, Marine Litter

RIASSUNTO

Il Parco Marino del Karaburun-Sazan, "Karaburun-Sazan Parku Detar", è stata la prima Area Marina Protetta (AMP) ad essere istituita in Albania, per via dell'elevata presenza di biodiversità florofaunistica sia marina che terrestre, nonché della particolare conformazione geologica che la caratterizzano. Grazie agli importanti investimenti dell'Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS Tirana) e alla gestione logistica e progettuale di United Nations Development Programme operante in Albania (UNDP Albania), nel periodo compreso dal 2018 al 2022, sono stati condotti diversi studi scientifici finalizzati all'implementazione del livello di conoscenza sulla biodiversità marina locale, alla formulazione di una prima valutazione delle modificazioni chimico-fisiche e geomorfologiche dell'area, nonché a stimare preliminarmente i potenziali impatti influenzati dai cambiamenti climatici in atto nella baia di Valona sulla componente biotica. I dati ottenuti, grazie ai protocolli di monitoraggio applicati, hanno permesso di approfondire lo stato di conoscenza della biologia dell'area sommersa e semi-sommersa (sia delle zone A e B di parco, ma anche delle aree limitrofe, zona C) e, per di più, hanno consentito di quantificare i progressi raggiunti nella gestione complessiva dell'AMP e il suo reale stato di qualità ambienta-

le. Tali dati, pubblicati e disponibili nei numerosi Rapporti e Quaderni UNDP, sottolineano non solo il grande valore ambientale dell'AMP, ma soprattutto l'efficace gestione applicata a partire già dal 2009 da NAPA (*National Agency for Protected Areas*) e RAPA (*Regional Agency for Protected Areas*) di Valona, con il supporto di UNDP Albania. Nonostante questo, i dati e tutti i risultati finali hanno evidenziato al contempo i gravi impatti alle quali è soggetta tutta l'area, per via dei veloci cambiamenti climatici in atto, nonché a causa delle forti pressioni antropiche che già insistono da tempo, lungo tutta la costa della baia di Valona quali: un velocissimo sviluppo urbano costiero; un continuo aumento di centri di maricoltura non offshore; la presenza di grossi centri di raffinazione di idrocarburi; la presenza di un porto in crescita; la presenza di una base militare NATO attiva; lo sviluppo di un traffico marittimo commerciale intenso; la presenza di scarichi urbani e la crescente presenza di Marine Litter; ponendo solide basi conoscitive utili per la formulazione di future strategie di conservazione e tutela dell'AMP.

ABSTRACT

The Karaburun-Sazan Marine Park, "Karaburun-Sazan Parku Detar", was the first Marine Protected Area (MPA) to be established in Albania, thanks to the high presence of both marine and

Simone Modugno¹, Rachele Castro², Igli Pustina³, Nexhip Hysolako⁴, Lorela Lazaj⁵, Eno Dodbiba⁶, Violeta Zuna⁷

¹ Consulta Ambiente IRSSAT

² Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - CNR-IRIB

³ Federata Shqiptare e Zhytjes - Albanian Diving Federation - CMAS

⁴ Administrata Rajonale e Zonave të Mbrojtura, Vlora

⁵ Vlora Regional Agency of PAs/ Director

⁶ PCU/UNDP, Project Technical Expert

⁷ PCU/UNDP, Project Manager

¹ Corresponding author

E-mail: moder1976@gmail.com

terrestrial flora and fauna biodiversity as well as to the particular geological conformation that characterize it. Thanks to the important investments of the Italian Agency for Development Cooperation (AICS Tirana) and the logistics and project management of the United Nations Development Program operating in Albania (UNDP Albania), in the period from 2018 to 2022, several scientific studies were conducted aimed at implementing the knowledge level on local marine biodiversity, at formulating an initial assessment of the chemical-physical and geomorphological changes in the area as well as at carrying out an initial estimate of the potential impacts of the climate changes, taking place in the Bay of Vlora on the biotic components. The data obtained thanks to the monitoring protocols applied, have made possible to deep the knowledge of the biology of the submerged and semi-submerged area (both in A and B zones of the park, but also in the neighboring areas, zone C) and, moreover, they made possible to quantify the progress achieved in the overall management of the MPA and its real state of environmental quality. These data, published and available in the numerous UNDP Reports and Notebooks, underline and confirm not only the great environmental value of the MPA, but above all the effective good management applied since 2009 by NAPA (*National Agency for Protected*

Areas) and RAPA (*Regional Agency for Protected Areas*) of Vlora, with the support of UNDP Albania. Despite this, data and final results have highlighted, at the same time, the serious impacts to which the whole area is subject, due to the rapid climatic changes underway as well as due to the strong anthropic pressures that have already persisted for some time along the entire coast of the bay of Vlora such as: a very rapid coastal urban development; a continuous increase of no offshore mariculture farming centers; the presence of large hydrocarbon refining industry; the presence of a growing port; the presence of an active NATO military base; the development of heavy commercial maritime traffic; the presence of urban discharges and the growing Marine Litter; laying solid knowledge bases useful for the formulation of future conservation and protection strategies of the MPA.

INTRODUZIONE

Nella contea di Valona, il “Karaburun-Sazan Parku Detar”, ossia il Parco Marino del Karaburun-Sazan è stata la prima Area Marina Protetta (AMP) ad essere istituita in Albania il 28 aprile 2010 con atto del Consiglio dei Ministri (Decisione del Consiglio dei Ministri No.289 datata 28.04.2010 per la proclamazione del *Natural Park Karaburun peninsula - Sazan island*) dopo diversi studi e valutazioni preliminari effettuati da

UNDP e Università di Tirana e Valona (Tilot, 2009; Beqiraj et al., 2010; Kashta, 2010) (Fig. 1). Con una superficie di circa 12.500 ha e una lunghezza di circa 17 km (Rajkovic & Kromidha, 2015), grazie all'elevata biodiversità florofaunistica non esclusivamente marina che lo caratterizzano, può essere descritto come una “vera meraviglia vivente” della natura costiera albanese. Grazie agli importanti investimenti dell'Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS Tirana) e alla gestione logistica e progettuale di United Nations Development Programme operante in Albania (UNDP Albania), nel periodo compreso dal 2018 al 2022, sono stati condotti diversi studi scientifici, allo scopo sia di implementare il livello di conoscenza sulla biodiversità marina locale, sia di impostare una prima valutazione circa le modificazioni chimico-fisiche e geomorfologiche e una prima stima dei potenziali impatti influenzati dai cambiamenti climatici in atto nella baia di Valona sulla componente biologica.

MATERIALI E METODI

Le ricerche e l'esecuzione dei piani di monitoraggio sia chimico-fisico, sia biologici, sono state condotte da consulenti esperti e ricercatori scientifici subacquei italiani, in stretta collaborazione con NAPA (*National Agency of Protected Areas*), RAPA (*Regional Agency of Protected Areas*), Federata Shqiptare e

Zhytjes - Albanian Diving Federation - CMAS e lo staff di UNDP Albania, responsabile sia del coordinamento scientifico, sia della logistica locale. I consulenti UNDP avevano soprattutto il compito di formare e trasferire *know-how* ai tecnici RAPA e NAPA albanesi in merito a programmazione e applicazione dei protocolli di ricerca, allo scopo di renderli autonomi. Per questo motivo, tutte le attività di monitoraggio ambientale sono state ideate e svolte secondo le indicazioni della Direttiva Quadro sulla Strategia per l'ambiente Marino UE 2008/56/CE, (*MSFD, Marine Strategy Framework Directive*), nonché in conformità ai Protocolli Internazionali di Ricercatore Scientifico Subacqueo (*ESDP, European Scientific Diving Panel*). Negli ultimi 5 anni di lavoro sulla AMP, i biologi marini consulenti italiani (Modugno et al., 2022) hanno realizzato, applicando i protocolli internazionali al momento vigenti, ricerche e indagini e a attività per:

- valutare lo stato delle praterie a fanerogame marine (*Posidonia oceanica*) lungo le coste sabbiose della baia (in modo particolare all'interno dell'area di delimitazione della AMP);
- rinnovare il censimento delle specie di comunità bentoniche dei fondali sabbiosi e rocciosi (secondo una batimetrica dalla superficie ai -40 mt), attraverso valutazioni quali-quantitative effettuate in immersione;

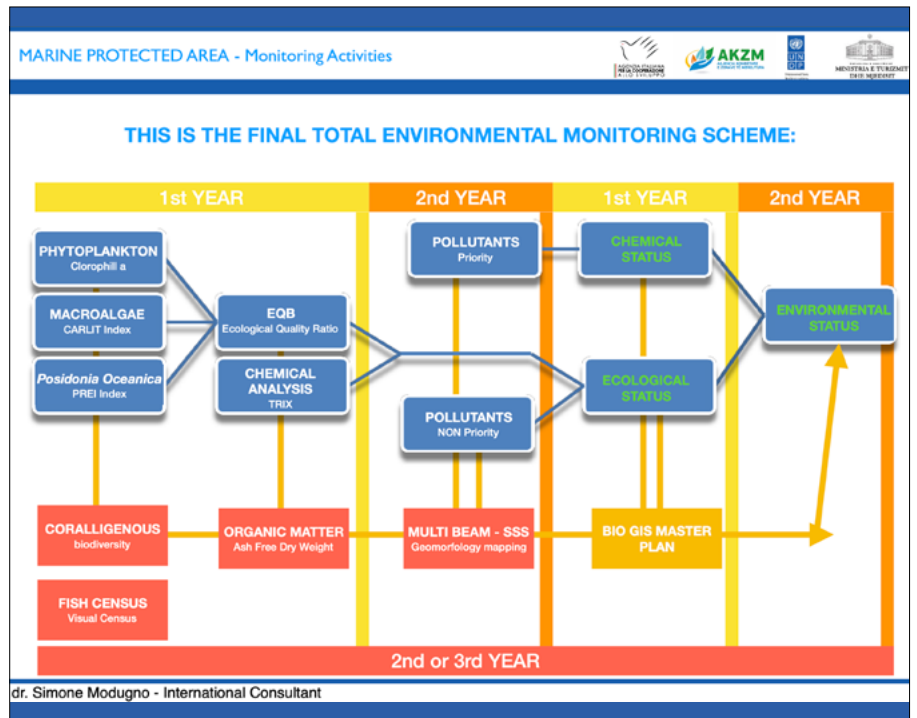


Figura 1. Mappa dell'Area Marina Protetta

- c) impostare ed effettuare un sistema di monitoraggio e analisi chimico-fisica della matrice acqua marina (superficie e colonna d'acqua) per tutta la AMP (zona A, B e C);
- d) aggiornare la valutazione dell'indice CARLIT (risalente al 2007) per le coste rocciose della AMP;
- e) aggiornare e impostare una valutazione della biodiversità marina, con stime preliminari di abbondanza della fauna ittica presenti nella AMP;
- f) verificare la presenza delle specie carismatiche e bandiera segnalate nell'area (*Monachus monachus*, *Caretta caretta* e *Tursiops truncatus*) per impostare programmi sia scientifici, sia divulgativi e di *Science Citizen*, per la loro tutela e salvaguardia.

RISULTATI

Al fine di seguire e comprendere i progressi nella gestione della AMP Ka-



dr. Simone Modugno - International Consultant
 Figura 2. Schema complessivo dei campionamenti effettuati durante l'esecuzione delle attività di monitoraggio svolte negli anni

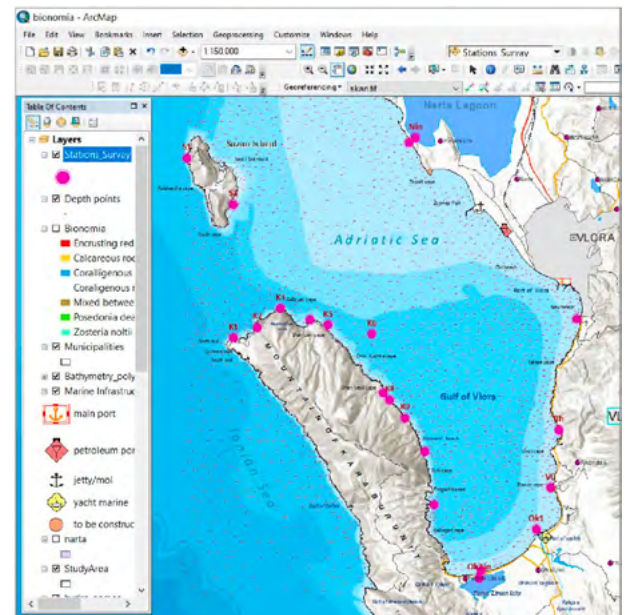
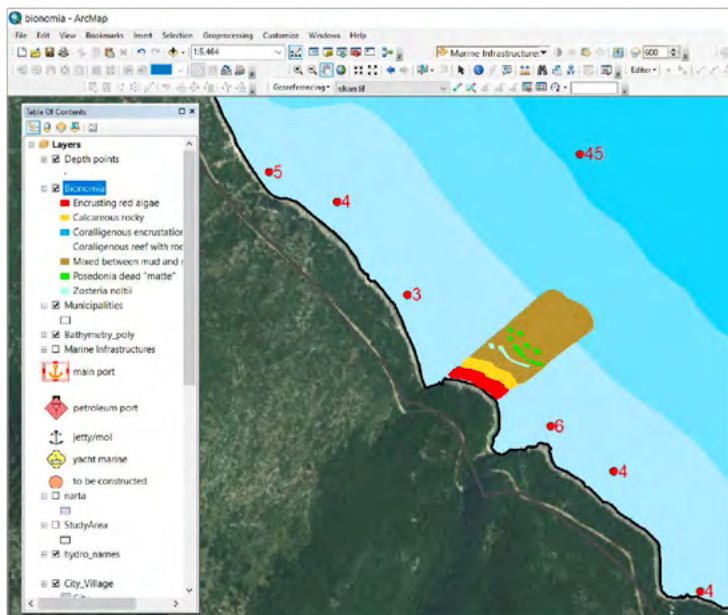
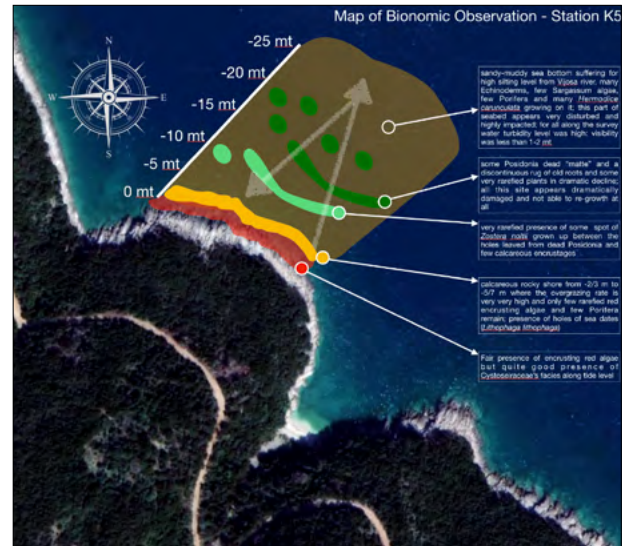
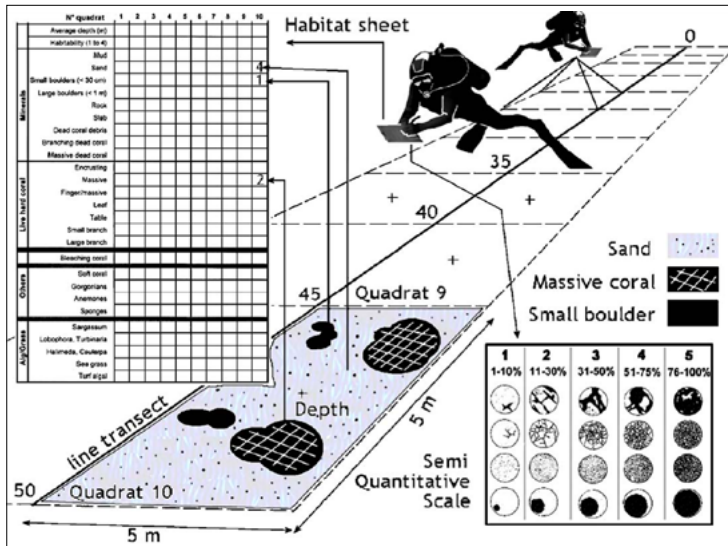


Figure 3-a-b-c-d. Esempio del flusso di lavoro che porta dai rilevamenti ottenuti tramite la tecnica Underwater Line Intercept Transect (LIT, Ricercatori Scientifici Subacquei) alla costruzione di un sistema georeferenziato (Bio-GIS-MasterPlan)

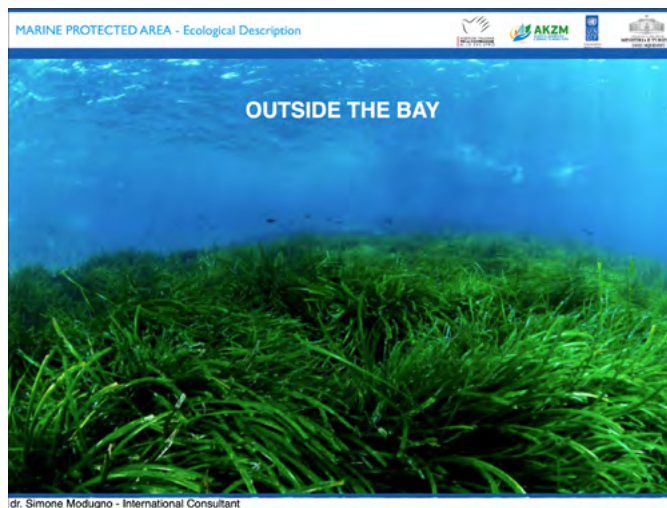
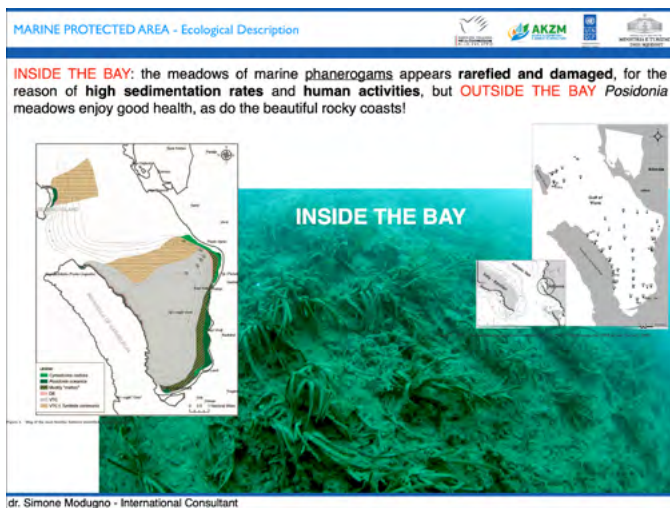


Figura 4a - 4b. Confronto dello stato della prateria di *Posidonia* all'interno della baia e all'esterno

raburun-Sazan e il reale stato ambientale della stessa, a seguito della sua istituzione, ma soprattutto per iniziare a porre le basi per una futura valutazione dei potenziali impatti apportati dai cambiamenti climatici in atto, in questi ultimi 5 anni sono stati raccolti dati che hanno consentito di costruire un archivio digitale su base webGIS estremamente utile per:

1. Realizzare il primo studio-censimento globale sulle biocenosi bentoniche marine, indagando dal piano mesolitorale al piano infralitorale/circolitorale sia di fondale sabbioso, sia di fondale roccioso, per creare le prime mappe bionomiche sintetiche dell'area di parco (aggiornamento liste tassonomiche, presenza/assenza di specie autoctone/alloctone, indice di percentuale di ricoprimento), associate alle principali caratteristiche geomorfologiche dei fondali marini limitrofi (*Atlante delle Mappe dell'Area Marina Protetta del Karaburun-Sazan, Simixhiu et al., 2021*). I censimenti sono stati effettuati da Ricercatori Scientifici in immersione, applicando la tecnica del *Line Intercept Transect* e della foto-interpretazione (Garrabou, 2014; NOAA, 2008; ISPRA, 2013).
2. Impostare campagne di analisi e monitoraggio subacqueo per la realizzazione della prima mappatura, quindi una cartografia biologica (ad oggi in fase di implementazione), delle praterie di *Posidonia oceanica*, *Cystoseira* spp. e delle altre fanerogame marine presenti nelle aree di pertinenza della AMP Karaburun-Sazan.
3. Implementare lo studio e la mappatura per l'applicazione dell'Indice CARLIT (*CARTography of LITtoral and upper-sublittoral benthic communities* o, in breve, cartografia litorale, Ballesteros et al., 2007), un metodo

cartografico, che sfrutta al meglio lo sviluppo lineare dei popolamenti superficiali in ambiente microtidale, in grado di restituire valori di sensibilità associati alle comunità caratteristiche delle scogliere superficiali e, quindi, di fungere da indice sintetico per lo stato di qualità ambientale per le scogliere e l'ambiente marino costiero in generale.

Albania, un sistema di monitoraggio autonomo e *real-time* (ancora oggi attivo nei punti di stazione decisi con UNDP) per il rilevamento della temperatura marina, mediante l'impiego di *data-loggers* miniaturizzati installati in 12 stazioni fisse a mare, posizionate lungo le coste della penisola del Karaburun, dell'isola di Sazan, nelle lagune di Narta e di

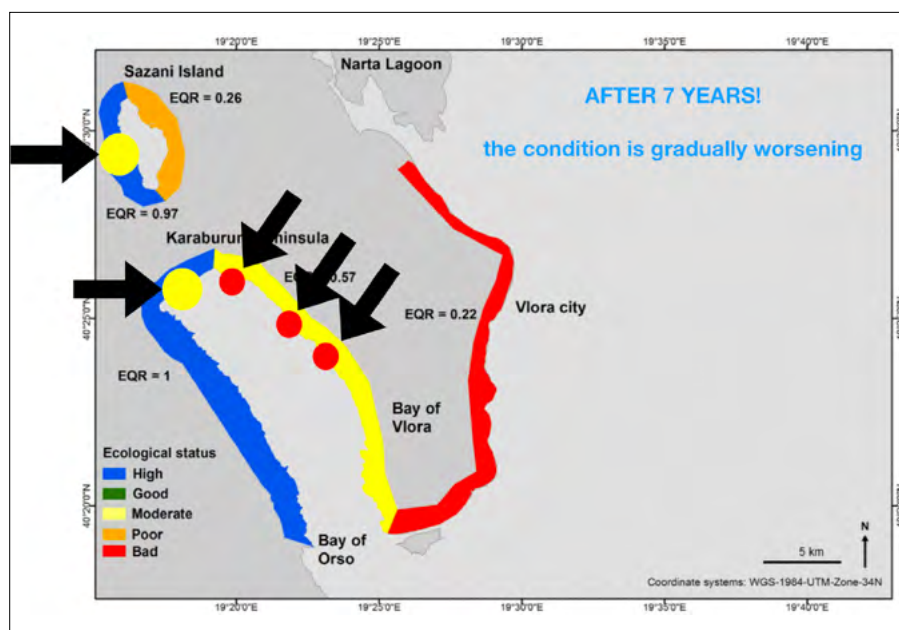
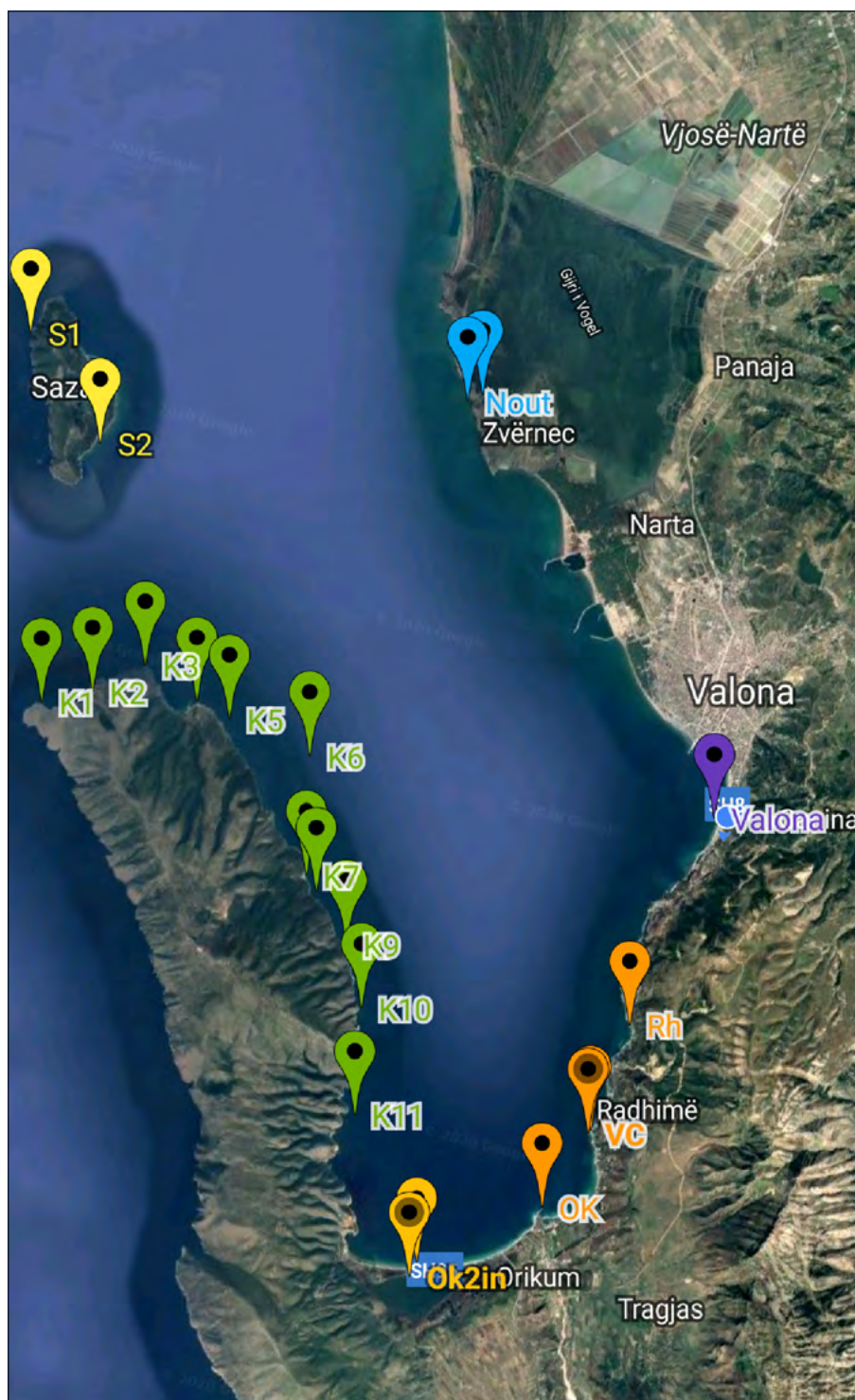


Figura 5. Rapporto di qualità ecologica (EQR) e stato ecologico dei diversi corpi idrici costieri dell'area di studio nel 2013, secondo Ballesteros et al. (2007) Metodo CARLIT. Le frecce nere indicano le nuove informazioni provenienti dall'indagine preliminare effettuata durante questa prima missione UNDP

4. Migliorare i piani di monitoraggio istituzionale per la determinazione della qualità delle acque marine (attraverso prelievi e campionamenti effettuati sia su stazioni mobili che fisse), rilevando tutti i principali parametri chimico-fisici nelle acque superficiali (da 0 a -5 m) e lungo la colonna d'acqua (fino ai -30 m). Grazie ad uno specifico finanziamento nel corso del 2021-2022 è stato realizzato, per la prima volta in

Orikum e lungo la costa di Valona e Radhima. Tale progetto ha consentito di ottenere un quadro conoscitivo preciso delle variazioni di temperatura nelle masse d'acqua internamente ed esternamente la baia di Valona: i risultati stanno portando ad avere un modello valutativo (che nel futuro diverrà previsionale) del riscaldamento delle acque della baia su base correntometrica (studio in corso di pubblicazione).



5. Studiare gli stock ittici attraverso le tecniche di *Visual census*, condotto in immersione da personale esperto (ricercatori scientifici subacquei e biologi marini italiani). I dati (Presenza/Assenza di specie ittiche con elaborazione di liste tassonomiche corredate da stime di abbondanza) derivanti dai censimenti visivi sono stati associati a quelli provenienti dal controllo ittico del pescato (condotto dai Ranger del Parco e dai biologi coinvolti) presso le marinerie, le peschierie, le maricoltura, i mercati ittici e le corporazioni di pescatori locali.
6. Implementare il sistema di monitoraggio delle specie carismatiche come la foca monaca *Monachus monachus* Hermann, 1779, tornata a popolare la zona con anche successo riproduttivo (attraverso l'organizzazione di indagini subacquee nelle aree costiere caratterizzate da grottigeno; monitoraggio prima random, poi mirato con fotograppole; organizzazione di sessioni di avvistamento fotografico da barca), le tartarughe marine (soprattutto *Caretta caretta* Linnaeus, 1758) e i Cetacei marini (principalmente tursiopi e stenelle), allo scopo di tutelarli e proteggerli. Grazie ad uno specifico finanziamento AICS e all'intervento di UNDP e NAPA, il Visitor Center dell'AMP Karaburun-Sazan è stato dotato di un Centro per il Recupero e il Salvamento delle Tartarughe Marine in difficoltà: centro che funziona regolarmente, in collaborazione con altre realtà che già da tempo operano come ONG ambientali sul territorio, come INCA Albania (Institute for Nature Conservation in Albania).

Station	Temp °C	sal [PSU]	pH	O ₂ %	O ₂ mg/L	TDS mg/L	Turb FNU
K1	15,20	39,56	8,01	90,00	8,90	29,50	1,65
K2	15,60	38,25	8,09	95,00	9,40	65,00	90,00
K3	15,50	41,00	8,16	92,00	9,16	56,00	95,00
K4	15,30	39,50	8,05	93,70	8,95	250,00	30,00
K5	15,65	38,90	8,05	92,35	8,76	230,00	5,00
K6	15,50	39,45	8,04	93,56	8,82	250,00	6,50
K7	14,50	39,68	7,89	90,00	8,50	405,00	89,00
K8	14,89	39,45	8,08	89,00	7,55	230,00	92,00
K9	15,35	40,70	7,96	70,55	6,80	48,00	67,00
K10	15,35	40,35	7,96	70,45	5,80	1068,00	69,00
K11	15,30	40,76	8,24	80,00	5,67	45,00	105,00
Ok	15,07	37,45	8,87	73,50	5,59	51,00	69,00
VC	15,30	38,61	8,86	73,50	5,90	1930,00	72,70
S1	15,80	40,00	7,95	70,60	5,55	30,41	2,00
S2	15,82	41,00	7,96	65,00	5,07	1282,00	65,00

Station	NH ₄ mg/L	NO ₂ mg/L	NO ₃ mg/L	PO ₄ mg/L	Ca mg/L	Cu mg/L
K1	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
K2	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	320	<0,05
K3	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	380	<0,05
K4	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
K5	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
K6	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	380	<0,05
K7	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
K8	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	330	<0,05
K9	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	380	<0,05
K10	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
K11	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	360	<0,05
Ok1	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	380	<0,05
S1	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	350	<0,05
S2	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	375	<0,05
VC	<0,05	<0,01	<0,5	<0,1	350	<0,05

Figure 6a - 6b - 6c. Stazioni di campionamento (6a) e valori chimico-fisici medi rilevati sia con sonda multiparametrica sia con analisi di laboratorio (6b, c)



Figura 7. Foto ritraente il primo avvistamento della foca monaca

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'AMP Karaburun-Sazan si configura come un laboratorio naturale che ha permesso e ancora sta consentendo di avviare le prime attività di ricerca in campo ambientale marino in Albania: rappresenta, così, un parco marino dove UNDP e Università albanesi, unitamente al supporto di consulenti internazionali e grazie al supporto finanziario di AICS Tirana, stanno approfondendo sempre più la conoscenza degli equilibri ecologici delle aree a mare albanesi, ma anche le grandi problematiche esistenti. I dati ottenuti grazie ai protocolli di monitoraggio applicati, hanno permesso di approfondire lo stato di conoscenza della bionomia dell'area sommersa e semi-sommersa (sia delle zone A e B di parco, ma anche delle aree limitrofe, zona C) e, per di più, hanno consentito di quantificare i progressi raggiunti nella gestione complessiva dell'AMP e il suo reale stato ambientale attuale, attraverso la realizzazione di un sistema GIS (creato sulla base dei dati medi ottenuti durante le campagne di monitoraggio marino - *Simixhiu, Modugno e Turricchia*, 2021) e la produzione di una serie di mappe bionomiche sintetiche, oltre alla conferma-modifica delle liste tassonomiche (presenza/assenza; abbondanza specifica; aggiornamento dell'archivio video-fotografico e realizzazione di un primo Virtual Tour Interattivo per la visualizzazione delle aree di parco e dei principali dati pubblicati). Tali dati, pubblicati e disponibili nei numerosi Rapporti e Quaderni UNDP (UNDP,

Modugno, 2020, sottolineano e confermano non solo il grande valore ambientale dell'AMP, ma soprattutto l'efficace buona gestione applicata a partire già dal 2009 da NAPA e RAPA di Valona, con il supporto di UNDP Albania.

Nonostante questo, i dati e i risultati finali (*Simixhiu, Modugno e Turricchia*, 2021) evidenziano al contempo le gravi pressioni alle quali è soggetta tutta l'area per via dei veloci cambiamenti climatici in atto, amplificati dall'effetto derivante dalle forti pressioni antropiche a cui tutta la costa è sottoposta (Modugno *et al.*, 2019, 2020, 2021, 2022). Ad esempio, i picchi di temperatura marina rilevati, spesso fuori scala (dati in fase di elaborazione per pubblicazione) e le grandi fluttuazioni della stessa, fanno ipotizzare un importante cambiamento in atto nel sistema correntometrico della baia (condizione riscontrabile anche a livello del Mar Jonio, del Mar Egeo e del Mar Adriatico meridionale, che si incrociano esattamente a livello dell'area di Valona), che si riflette in: un progressivo depauperamento delle risorse ittiche demersali; elevati fenomeni di *over-grazing*, molto evidenti su tutti i fondali rocciosi nelle batimetriche comprese tra gli 0 e i -25 metri, sia fuori che dentro la baia; importanti livelli di eutrofizzazione delle acque; elevati tassi di *silting* che stanno comportando un progressivo effetto di sedimentazione e insabbiamento dei fondali. Questi aspetti, incluso l'effetto termico dei cambiamenti climatici, vanno ad aggiungersi alle molte pressioni di tipo antropico che già insistono da tempo lungo tutta la costa della baia

di Valona quali: il velocissimo sviluppo urbano costiero; il continuo aumento di centri di maricoltura non *offshore*; la presenza di grossi centri di raffinazione di idrocarburi; la presenza di un porto commerciale e turistico in crescita; la presenza di una importante base militare NATO in stato attivo; lo sviluppo di un traffico marittimo commerciale intenso; la presenza di scarichi urbani e la crescente Marine Litter sia su spiagge e litorali, sia proveniente dai fiumi che sfociano in zona (Vjosa). Alla luce di tali risultati, si rende necessario suggerire il rafforzamento delle attività di monitoraggio e di strutturare nuove strategie di tutela e conservazione *climate-adaptive*, cercando di individuare azioni e misure utili e funzionali per la riduzione e minimizzazione degli impatti ambientali (cambiamenti climatici in primis) e antropici.

RINGRAZIAMENTI

Grazie ad AICS Tirana per il supporto economico e il grande lavoro logistico dell'UNDP con NAPA e il Ministero del Turismo e dell'Ambiente albanese.

BIBLIOGRAFIA

- BALLESTEROS, E., TORRAS, X., PINEDO, S., GARCÍA, M., MANGIALAJO, L., DE TORRES, M., (2007), *A new methodology based on littoral community cartography dominated by macroalgae for the implementation of the European Water Framework Directive*. Mar. Pollut. Bull. 55, 172-180.
- BEQIRAJ S., ZUNA V., DODBIBA E. (2010), *Plani Prioritar i Veprimet për ZMD "Sazan- Karaburun"*. GEF/UNDP. Tiranë, 74 faqe.
- DEDEJ Z. (2002), *National Report on Marine and Coastal Biodiversity*. Republic of Albania, Tirana.
- ANTOLOVIC, J., VASO A., KASHTA L., SHUTINA V., ANAGNOSTI S., BOGDANOVIC S., ADAMIC L., ANTOLOVIC N. (2005), *Protection of the Mediterranean Monk Seal (Monachus monachus) and its Habitats*. EURASLIC 11. 11th Biennial Conference of the European Association of Aquatic Sciences Libraries and Information Centres, 4-6th May 2005, Split, Croatia.
- BELMONTE G., COSTANTINI A., MOSCATELLO S., DENITTO F., SHKURTAJ, B. (2006), *Le grotte sommerse della penisola del Karaburun (Albania): primi dati*. Thalassia Salentina, vol. 29, suppl., pp. 15-28.
- BEQIRAJ S., ZUNA V., DODBIBA E. (2010), *Priority Action Plan for Sazani - Karaburuni Marine Protected Area*. GEF/UNDP. Tirana, 74 pp.
- FREMUTH W. (2000), *Albania - Guide to its Natural Treasures*. ECAT-Tirana & Euro-nature. Klemp. 1-80.
- GARRABOU J., KIPSON S., KALEB S., KRUZIC P., JAKLIN A., ZULJEVIC A., RAJKOVIC Z,

- RODIC P, JELIC K, ZUPAN D (2014), *Monitoring Protocol for Reefs - Coralligenous Community*, MedMPAnet Project
- GIZ/GOPA (2013), *Guideline on the approach and criteria for zoning of the territory within a protected area*. GIZ/GOPA, 21 pp.
- INCA (2013), *Strategic Plan for Marine and Coastal Protected Areas (SPMCPAs)*. GEF/UNDP. Tirana, 70 pp. + Annexes.
- ISPRA (2013), *Buone prassi per lo svolgimento in sicurezza delle attività subacquee di ISPRA e delle Agenzie Ambientali*. Manuali e linee guida - 94/2013. ISBN: 978-88-448-0625-5
- IUCN (2014), *The IUCN Red List of Threatened Species*, [Online], Available: <http://www.iucnredlist.org/> [31 December 2014].
- KASHTA L. (1992-93), *Rezultate të studimit të florës detare të brigjeve shqiptare të Adriatikut*. (Some results of the study of marine flora of the Albanian Adriatic shore) Buletini i Shkencave Natyrore, Tiranë, seria B, Kimi-Biologji, nr. 1-4.
- KASHTA L. (2010), *PA Gap Assessment, Marine Biodiversity, Legislation on PA and MPA*. GEF, UNDP. Tirana, 195 pp.
- KASHTA L., BEQIRAJ S., MATO XH., XHULAJ M., GAÇE A. & MULLAJ A. (2005), *The inventory of habitats with Posidonia oceanica and littoral habitats in Albania*. Technical Report, APAWA, Tirana, supported by Ministry of Environment (Unpublished report, in Albanian and Italian).
- MECOLLARI A. (2022), *Underwater naval history and cultural heritage in Vlora bay: resting area of 806 Italian sailors and soldiers*. CIP Katalogimi ne botim BK Tirane, UNDP Albania. - Tirane : Gent Grafik, 2022 72 f. : me foto ; 21x29.7cm. ISBN 978- 9928-294-69-2.
- MODUGNO S., A.J. DE GRISSAC & G. MYFTIU (2019), *Guidelines for MARINE SPATIAL PLANNING process in Albania - Marine Spacial Planning preliminary initial assessment report of Vlora area in Albania* funded by SPA/RAC, October 2019- February 2020.
- MODUGNO S. (2020), *K-S MPA Smart Monitoring Manual* pagg. 84. Pubblicazione realizzata durante lo svolgimento del progetto di studio e valorizzazione della baia di Valona (Albania) finanziato da Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS Tirana), Ministero del Turismo e Ministero dell'Ambiente Albanese, Agenzia Nazionale delle Aree Protette Albanese (AKZM) e United Nations Development Programme (UNDP Albania). Edizioni @2020 UNDP.
- MODUGNO S. (2020), *K-S MPA Smart Monitoring Manual* pagg. 34. Pubblicazione realizzata durante lo svolgimento del progetto di studio e valorizzazione della baia di Valona (Albania) finanziato da Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS Tirana), Ministero del Turismo e Ministero dell'Ambiente Albanese, Agenzia Nazionale delle Aree Protette Albanese (AKZM) e United Nations Development Programme (UNDP Albania). Edizioni @2020 UNDP.
- MODUGNO, A. J. DE GRISSAC, C. DEL GRANDE, M. PREVIATI, U. PANTALEO, G. MYFTIU, Z. DEDEJ & A. ZARROUK, (2021), *Results of the first IMAP marine survey in Patok-Rodoni Bay, Albania*. AJNTS No 53 / 2021 (XXVI), Albanian Journal of Natural and Technical Sciences - Published by The Academy of Sciences of Albania. Pagg. 63-87. ISBN: 2074-0867.
- MODUGNO S., A.J. DE GRISSAC, G. MYFTIU, Z. DEDEJ & A. ZARROUK, (2021), *Preliminary results of the Marine Spatial Planning process in Vlora Bay*. AJNTS No 53 / 2021 (XXVI), Albanian Journal of Natural and Technical Sciences - Published by The Academy of Sciences of Albania. Pagg. 47-62. ISBN: 2074-0867.
- MODUGNO, PUSTINA I., KROMIDHA G. (2022), *Results of the first assessment of posidonia oceanica meadows in Palase area, Albania* (2022) - Results of the first IMAP Marine Survey N Patok Rodoni Bay (Albania) - p.133-134 - UNEP/MAP - SPA/RAC, 2022. Proceedings of the 7th Mediterranean Symposium on Marine Vegetation (Genova, Italy, 19-20 September 2022). BOUAFIF C., OUERGI A., edits, SPA/RAC publi., Tunis, 152 p.
- MODUGNO, DE GRISSAC A. J., DEL GRANDE C., PREVIATI M., PANTALEO U., MYFTIU G., DEDEJ Z., ZARROUK A. (2022), *Results of the first IMAP Marine Survey in Patok Rodoni Bay (Albania)* - p.161-162 - 4UNEP/MAP - SPA/RAC, 2022. Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous & other Calcareous Bio-Concretions (Genova, Italy, 20-21 September 2022). BOUAFIF C., OUERGI A., edits, SPA/RAC publi., Tunis, 184 p.
- MODUGNO S., PUSTINA I., ZUNA V., DODIBA E., FICARA S. (2022), *Results of the last 5 years of work for the scientific evaluation and management of Karaburun- Sazan: The First Marine Protected Area (Vlora Bay, Albania)*. - p.163-164 - 4UNEP/MAP - SPA/RAC, 2022. Proceedings of the 4th Mediterranean Symposium on the conservation of Coralligenous & other Calcareous Bio-Concretions (Genova, Italy, 20-21 September 2022). BOUAFIF C., OUERGI A., edits, SPA/RAC publi., Tunis, 184 p.
- NEA (1999), *Biodiversity strategy and action Plan - Albania (NBSAP)*. NEA (Ministry of Environment).
- NOAA (2008), *Coral Reef Ecosystem Division Standard Operating Procedures: Data Collection for Rapid Ecological Assessment Fish Surveys* Paula Ayotte Kaylyn McCoy Ivor Williams Jill Zamzow December 2011 Administrative Report H-11-08.
- PERGENT G., BELLAN-SANTINI D., BELLAN G., BITAR G., HARMELIN J-G. (2002), *Handbook for interpreting types of marine habitat for the selection of sites to be included in the national inventories of natural sites of conservation interest*. UNEP, Action Plan for the Mediterranean. RAC/ SPA, 208 pp. + Annexes.
- PUKA M. (2012), *Socio-Economic Study of MCPA Karaburun-Sazani*. GEF/UNDP. Tirana, 32 pp.
- Qiriazzi P., Sala S. (2006), *Monumentet e Natyrës së Shqipërisë*. Ministria e Mjedisit, Pyjeve dhe Administrimit të Ujërave. Ed. IDEART. Tirana, 1-160.
- RAJKOVIC Z., KROMIDHA G. (2015), *Management plan for National Marine Park Karaburun-Sazan*. UNDP, 100 PP. + ANNEXES
- SALA S., KRUTAJ F., MEÇAJ N. (2006), *Gjeomorfologjia e Bregdetit Jonian*. Ak. Shk. Shqipërisë, Qendra e Studimeve Gjeografike. Tirana, 1-146.
- SIMIXHIU V., MODUGNO S., TURRICCHIA E. (2021), *Karaburun-Sazan Marine Protected Area Atlas of Maps*. Pubblicazione realizzata durante lo svolgimento del progetto di studio e valorizzazione della baia di Valona (Albania) finanziato da Agenzia Italiana per la Cooperazione allo Sviluppo (AICS Tirana), Ministero del Turismo e Ministero dell'Ambiente Albanese, Agenzia Nazionale delle Aree Protette Albanese (AKZM) e United Nations Development Programme (UNDP Albania). Edizioni @2021 UNDP
- STOLTON S., HOCKINGS M., DUDLEY N., KACKINNON K., WHITTEN T., LEVERINGTON F. (2007), *Management Effectiveness Tracking Tool*. WWF International: Gland, Switzerland, 22 pp.
- TILOT V. (2009), *Proposal for a Marine Protected Area in Albania*. GEF, UNDP. Tirana, 93 pp.
- TILOT V., JEUDY DE GRISSAC A. (1994), *Diagnostic of the marine and coastal environment of northern and southern Albania*. Dobbin Milus International and The priority Actions Programme of United Nations Environmental Plan/Mediterranean Action Plan (UNEP-MAP), 105 pp.
- UNDP/GEF AND MINISTRY OF ENVIRONMENT (2005a), *Management Plan. Complex: LLogora-Rreza e Kanalit-Dukat-Orikum-Tragjas-Radhimë-Karaburun*. GEF UNDP Conservation of Wetland and Coastal Ecosystems in Mediterranean Region Project. Ed. Albania. Final Draft. Ed. MedWetCoast (in English and Albanian), 144 pp.
- UNDP/GEF AND MINISTRY OF ENVIRONMENT (2005b), *Management Plan. of Vjose Narta Wetland Complex*. MedWetCoast, 148 pp.
- UNDP/GEF AND MINISTRY OF ENVIRONMENT (2005c), *Karaburun, Llogora, Rreza e Kanalit, Orikum and Narta Ecosystems. Ecological values, natural, historical and cultural monument*. GEF UNDP Conservation of Wetland and coastal Ecosystems in Mediterranean Region project. Ed. Albania, 47 pp.
- UPTON M. (2006), *A diving survey of the Albanian coast between Saranda and Vlora to assess the potential for Diving Tourism*. Government of Albania and World Bank Pilot Fishery Development project, marine eco-tourism planning and development (Phase 1), 69pp.
- VANGELUWE D., BEUDELS M-O., LAMANI F. (1994), *Conservation Status of Albanian Coastal Wetlands and their Colonial Waterbird Populations (Pelecaniformes and Ciconiiformes)*. Colonial Waterbirds 19 (Special Publication 1): 81-90, 1996.

Applicazione della prima campagna IMAP nell'area di Patok-Rodoni, Albania

First IMAP survey application in Patok-Rodoni area, Albania

Parole chiave: Integrated Monitoring Assessment Programme, SPA/RAC, UNEP/MAP, Obiettivo Ecologico, Indicatore Comune
Key words: Integrated Monitoring Assessment Programme, SPA/RAC, UNEP/MAP, Ecological Objective, Common Indicator

Simone Modugno¹, Alain Jeudy De Grissac², Carlo Del Grande³, Monica Prevati⁴, Ubaldo Pantaleo⁵, Rachele Castro⁶, Genc Myftiu⁷, Zamir Dedej⁸, Anis Zarrouk⁹

¹ Consulta Ambiente IRSSAT

² Senior Expert
^{3,4,5} UBICA srl

⁶ Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - CNR-IRIB

⁷ Team leader Genc Myftiu Company

⁸ The National Agency of Protected Areas (NAPA)

⁹ UNEP/MAP-SPA/RAC Specially Protected Areas Regional Activity Centre

¹ Corresponding author

E-mail: moder1976@gmail.com

RIASSUNTO

Capo Rodoni (Albania), situato 30 km a nord di Durazzo e 30 km a sud del confine con il Montenegro, divide la baia di Lalzit in due parti. La parte settentrionale, la baia di Patok-Rodoni, è interessata dagli effluenti dei fiumi Ishmi e Mati e, nonostante la sua rilevante biodiversità e la presenza di zone umide, lamenta l'effetto di sedimentazione sulle praterie di *Posidonia oceanica* nonché il disturbo sia geo-fisico, sia chimico dovuto a varie attività antropiche interne e all'accumulo di contaminanti e rifiuti marini. Nel mese di ottobre 2020 è stata condotta la prima indagine marina IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*) da parte di un gruppo di ricerca italo-albanese all'interno del Progetto GEF Adriatic. Tutte le attività si sono svolte nel rispetto dei protocolli IMAP e GIZC (*Gestione Integrata della Zona Costiera*). L'indagine è stata finanziata da UNEP/MAP, SPA/RAC, MEDPOL e NAPA con il contributo di PAP/RAC. Durante le fasi sul campo, sono stati studiati diversi obiettivi ecologici IMAP e sono stati raccolti dati ambientali in coerenza a tutti gli indicatori comuni ai due protocolli. Sono state monitorate 8 stazioni distribuite lungo 3 transesti: a) off-shore, b) all'interno della baia di Patok e c) in prossimità di Capo Rodoni nella baia di Lalzit, al fine di valutare il Buono Stato Ambientale dell'area e identificare le principali minacce. L'indagine ha fornito informazioni scientifiche pertinenti su vari obiettivi ecologici, nello specifico: EO1 Biodiversità, Habitat e specie, EO2 Specie non indigene, EO5 Eutrofizzazione, EO7 Idrografia, EO9 Contaminanti, EO10 Rifiuti marini e ha fornito dati preliminari utili per le attività di gestione della pesca. Durante lo studio sono state utilizzate importanti apparecchiature oceanografiche (ana-

lizzatori e sonde multi-parametriche, campionatori di acqua e sedimenti, SSS *Side Scan Sonar*, SBES *Single Beam Echo Sounder*, ROV *Remote Operated Vehicle*). Inoltre, sono stati coinvolti *scientific divers* e video reporter per realizzare sia transesti subacquei bionomici LIT (*Line Intercept Transect*), sia un video-documentario oltre che un innovativo Tour Virtuale Interattivo a 360 gradi, quest'ultimo prodotto ha avuto anche il pregio di configurarsi come nuovo strumento di divulgazione scientifica. Tutti i dati sono stati inseriti sulla piattaforma IMAP InfoSystem e sono stati presentati realizzando mappe tematiche georiferite basate su GIS che mostrano sia le aree sensibili, sia quelle esposte ad alta pressione antropica.

ABSTRACT

Cape Rodoni (Albania), located 30 km north of Durres and 30 km south of the border with Montenegro, divides the Lalzit Bay into two parts. The northern part, the Patok-Rodoni bay, is affected by the effluents of the Ishmi and Mati rivers and, despite its significant biodiversity and the presence of wetlands, complains of the sedimentation effect on the *Posidonia meadows* as well as both the geophysical and chemical disturbance due to various inland anthropic activities, and the accumulation of contaminants and marine litter. In October 2020, the first IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*) marine survey was conducted by an Italian-Albanian research group within the GEF Adriatic Project. All activities were carried out in compliance with the IMAP and ICZM (*Integrated Coastal Zone Management*) protocols. The survey was funded by UNEP/MAP, SPA/RAC, MEDPOL and NAPA with contributions from PAP/RAC. During the field phases, various IMAP ecologi-

cal objectives were studied and environmental data was collected in line with all the indicators common to the two protocols. 8 stations distributed along 3 transects were monitored: a) off-shore, b) inside Patok bay and c) near Cape Rodoni in Lalzit bay, in order to assess the Good Environmental Status of the area and identify the main threats. The survey provided relevant scientific information on various ecological objectives, namely: EO1 Biodiversity, Habitats and species, EO2 Non-indigenous species, EO5 Eutrophication, EO7 Hydrography, EO9 Contaminants, EO10 Marine litter and provided preliminary data useful for fisheries management. Important oceanographic equipment (multi-probe analyzers, water/sediment samplers, SSS *Side Scan Sonar*, SBES *Single Beam Echo Sounder*, ROV *Remote Operated Vehicle*) were used during the study. In addition, Scientific Divers and video reporters were involved in the creation of both LIT (*Line Intercept Transect*) bionomic underwater transects and a video documentary as well as an innovative 360-degree Interactive Virtual Tour, the latter product also having the advantage of being a new scientific dissemination tool. All the data was entered on the IMAP InfoSystem platform and disseminated by creating geo-referenced thematic maps based on GIS which show both sensitive areas and those exposed to high anthropic pressure.

INTRODUZIONE

Il GEF Adriatic Project mira a sostenere la pianificazione territoriale marittima (*MSP, Marine Spatial Planning*) in tutta la regione adriatica e si configura come strumento utile per il raggiungimento degli obiettivi per uno sviluppo sostenibile. È stata una delle prime iniziative di questo tipo e ha avuto, tra gli

obiettivi prioritari, quello di incorporare i risultati dei monitoraggi IMAP nazionali, sviluppati nell'ambito della Convenzione di Barcellona, con gli obiettivi della Pianificazione Spaziale Marina, in modo da raggiungere il "buono" stato ambientale del Mar Mediterraneo. Il progetto è condotto e realizzato sia in Albania, sia in Montenegro, dall'Unità di coordinamento UNEP/MAP, unitamente a PAP/RAC e SPA/RAC. L'intero progetto è stato condotto in stretta collaborazione con il team SPA/RAC e l'Agenzia Nazionale per le Aree Protette (NAPA) afferente al Ministero Albanese del Turismo e dell'Ambiente. Lo studio svolto si è concentrato in particolare su alcuni indicatori (CI, *Common Indicator*) degli Obiettivi Ecologici (EO, *Ecological Objective*) IMAP relativi a: biodiversità, idrologia, contaminanti e rifiuti marini. Gli esperti nazionali e internazionali (una squadra mista italiana e albanese), ingaggiati per organizzare ed effettuare tale indagine dalla società "Genc Myftiu Consulting on Development", grazie ai fondi SPA/RAC, hanno utilizzato ed applicato diverse

tecniche oceanografiche e di ricerca in biologia marina subacquea. I risultati finali dell'analisi dei dati e del lavoro di laboratorio sono stati presentati e divulgati attraverso la realizzazione di numerosi prodotti, nello specifico: 1 rapporto finale in lingua sia inglese che albanese; 20 file di allegati al progetto; 1 riepilogo esecutivo in lingua sia inglese che albanese; 1 sessione di formazione sul lavoro (*On the Job Training* organizzato in collaborazione con NAPA direttamente sul posto: San Giovanni Medua); 1 archivio cartografico completo basato su GIS; 1 database di monitoraggio allineato e standardizzato per le tabelle IMAP, poi anche predisposto quindi per il suo caricamento sulla piattaforma *IMAP Info Pilot System*; 1 reportage fotografico di alta qualità; 5 video quale risultante delle attività di indagini mediante ROV e squadre di *scientific divers*; un breve videoclip promozionale; una versione corto metraggio di video realizzato come film-documentario e un tour virtuale interattivo sperimentale basato su immagini e video VR360 8K, registrati durante le attività sul campo del progetto.

I risultati di tale studio e le principali raccomandazioni sono stati presentati e configurati come strumenti utili per valutare i livelli di pressione antropica sull'ambiente e per identificare le aree più fragili della baia di Patok-Rodoni, per affinare finalmente il Programma di Monitoraggio Integrato albanese (IMP) all'interno dell'area, nonché per proporre nuove misure che possano nel tempo consentire la conservazione delle aree marine fragili e lo sviluppo di attività economiche sostenibili in zona.

AREA DI STUDIO

L'area indagata, facente parte della baia di Patok-Rodoni, copre circa 90 km² e comprende Capo Rodoni e la Baia di Rodoni. Il sito di indagine è noto per la sua rilevante biodiversità e comprende un'area protetta di 50 km² nella fascia costiera. Oltre a essere caratterizzato da elementi di grande pregio naturalistico, il sito accoglie diverse attività antropiche ed è fortemente influenzato dagli scambi idrici con la Laguna costiera di Patok e dagli afflussi provenienti dai fiumi Ishmi e Mati. Capo Rodoni

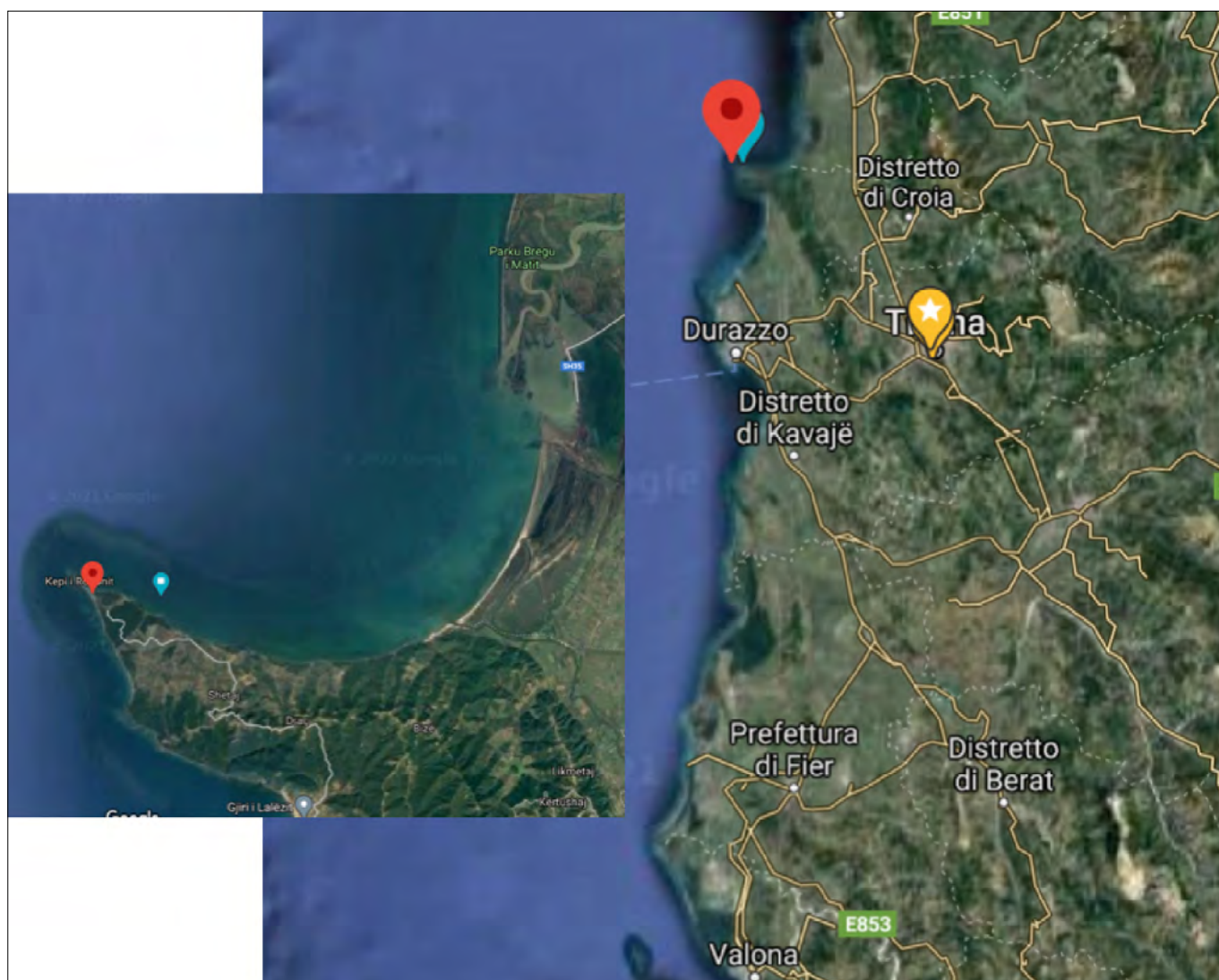


Figura 1

(Fig. 1) è situato a circa 30 km a Nord di Durazzo e 30 km a Sud del confine tra Albania e Montenegro e separa la baia di Lalzit in due parti. La parte settentrionale, chiamata anche Rodoni Bay, comprende la laguna di Patok e il fiume Mati a Nord della laguna. La parte meridionale, solitamente denominata baia di Lalzi, è una lunga spiaggia sabbiosa di circa 18 km. Questa parte della costa albanese è caratterizzata da un litorale sabbioso. La profondità massima della

baia è di circa -30 m. A partire dalla costa la profondità degrada dolcemente e con regolarità verso il mare aperto. La parte meridionale della baia risulta più profonda della parte orientale. Questi fondali tendono ad avvicinarsi tra loro e la costa nella regione della foce del fiume Mati. Il fondale all'interno della baia è completamente limoso e sabbioso, caratterizzato da una grande omogeneità e senza la presenza di particolari *habitat* pre-coralligeni o coralligeni. I

due fiumi e le lagune hanno influenzato fortemente la morfologia della costa e del fondale, in quanto le foci dei fiumi cambiano spesso posizione e possono alimentare alternativamente il mare o la laguna situata tra di loro. La variabilità dell'idrodinamismo delle foci dei fiumi crea un'instabilità della costa nell'ambito della quale si alternano periodi di erosione con periodi di accumulo e accrescimento, rendendo l'area costiera poco sicura per la navigazione o l'ormeggio

Tabella 1. Elenco delle attrezzature e dei metodi utilizzati per ciascun Obiettivo Ecologico (OE) e Indicatore Comune (CI)

EO/CI	EQUIPAGGIAMENTO	METODO DI ANALISI
EO1 Posizionamento, Batimetria Idrografia Geomorfologia Mappatura	<ul style="list-style-type: none"> - Sonar a scansione laterale – SSS - Apparato di navigazione e posizionamento Sistema DGPS STONEX S990A con correzione centimetrica satellitare ATLAS <ul style="list-style-type: none"> - Ecoscandaglio a raggio singolo SBES per registratore ecoscandaglio (ODOM Hydrotrac idrografico) con sensore inerziale Motion Reference Unit (MRU) per correzioni angolari e di prua (modello Teledyne MARHS) - Il rilievo geomorfologico del fondale è stato eseguito con Tritech SeaKing Towfish (frequenza 325 KHz) - Modello ROV Gladius Mini di CHASING dotato di una fotocamera UltraHD 4k / 12MP, due luci anteriori da 1200 lumen, con sistema di posizionamento USBL (<i>Ultra Short Baseline System</i>) modello LinkQuest Inc. TrackLink 1500MA 	<i>Hypack 2019 software</i> <i>PC acquisition PC and management by the Hypack 2019 software</i> <i>Bathymetric data acquired simultaneously using "Nettuno 2", software produced by Geocoste Snc,</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>
Mappatura degli habitat bentonici	Tutta l'attrezzatura precedente più l'attrezzatura subacquea con impiego di NITROX – transetti LIT, transetto punto intercetta PIT, quadrati, foto, video Operatori Scientifici Subacquei (OSS) con Certificazione Advanced European Scientific Diver da AIOSS (Associazione Italiana Subacquei Scientifici)	<i>Peres Picard classification of Mediterranean biocenosis</i> <i>Standard IMAP methodology</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>
Campionamento del sedimento	Benna Van Veen di 25 litri di capacità	<i>Laboratory standard analysis following IMAP recommendations</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>
Specie marine come mammiferi, rettili e uccelli	Rassegna della letteratura, interviste ai pescatori e osservazioni sul campo	<i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>
EO2 Specie non indigene	ROV, rilievi subacquei, foto e video Campioni di sedimenti	<i>Laboratory standards recognition of species following IMAP recommendations</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>
EO3 Fisheries	Osservazione e visualizzazione subacquea con telecamere, subacquei scientifici e ROV; Articoli di letteratura Dati del mercato ittico Intervista a pescatori locali e venditori acquirenti professionisti	<i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Biodiversity and Fisheries): UNEP(DEPI)/MED WG.444/6/Rev.1</i>

segue

seguito

Tabella 1. Elenco delle attrezzature e dei metodi utilizzati per ciascun Obiettivo Ecologico (OE) e Indicatore Comune (CI)

EO/CI	EQUIPAGGIAMENTO	METODO DI ANALISI
EO5 Eutrofizzazione e altri parametri: temperatura, densità, conducibilità, trasparenza, torbidità, ossigeno disciolto, fosfati, fosforo totale, nitrati, nitriti, ammoniacale, azoto totale, ortosilicati e clorofilla <i>a</i> CI 13 CI 14	Misurazione del campionamento tramite Multimetro WTW 340 I Disco Sechi per trasparenza WTW Turbo 430i Sonda Bottiglia per campionatore d'acqua: Kemmerer e Niskin I campioni di clorofilla "a" sono stati conservati in flaconi di PTFE neri non trasparenti Van Veen campionatore a benna per sedimenti CTD Sonda multiparametrica modello YSI 6600 V2 Probe	<i>ISO standards 5667 for water analysis Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23th edition, 2017 of the American Public Health Association (APHA/AWWA, 2017) WTW Photolab 7600 UV-VIS Spectrophotometer Laboratory standard analysis following IMAP recommendations</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Guidance fact sheets UNEP/MED WG.467/5 Monitoring Guidelines/Protocols for sampling and sample preservation of seawater for the analysis of CI13 and CI14: concentration of key nutrients and chlorophyll a: UNEP/MED WG.482/5 Monitoring Guidelines/Protocols for Determination of Concentration of Key nutrients in Seawater – Nitrogen Compounds: UNEP/MED WG.482/8 Monitoring Guidelines/Protocols for Determination of Concentration of Key Nutrients in Seawater – Phosphorous and Silica Compounds: UNEP/MED WG.482/9 Monitoring Guidelines/Protocols for Determination of Chlorophyll a in Seawater: UNEP/MED WG.482/10</i>
EO7 idrografia CI 15	Cfr. EO1	<i>Ref:</i> <i>IMAP Common Indicator Guidance Facts Sheets (Coast and Hydrography): UNEP(DEPI)/MED WG.444/7 Monitoring Guidelines/Protocols for Determination of Hydrographic Physical Parameters: UNEP/MED WG.482/6 Monitoring Guidelines/Protocols for Determination of Hydrographic Chemical Parameters: UNEP/MED WG.482/7</i>
EO9 contaminanti CI 17 CI 18	BIOTA E SEDIMENTI: - Tracce/Metalli pesanti (TM): Mercurio totale (Hg tot), Cadmio (Cd) e Piombo (Pb) - Composti organoclorurati (PCB, esaclorobenzene, lindano e ΣDDT) - Idrocarburi policiclici aromatici (US EPA 16 PAHs Compounds) SPECIFICO PER IL BIOTA Contenuto lipidico, rapporto peso polpa fresca/secca ai fini della normalizzazione SPECIFICO PER SEDIMENTI: - Alluminio (Al), carbonio organico totale (TOC) nella frazione di dimensione delle particelle <2 mm ai fini della normalizzazione rispettivamente per TM e OC. Il <63µm si raccomanda che la frazione sedimentaria sia complementare per i metalli - Rapporto di liofilizzazione (rapporto sedimenti secchi/umidi)	<i>To fully comply with IMAP requirements, contaminants should be selected in accordance with UNEP (DEPI)/MED WG.444/5, Directive 2000/60/EC, EC Regulation 853/2004 and 1881/2006.</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Guidance fact sheets UNEP/MED WG.467/5 Monitoring Guidelines/Protocols for Sampling and Sample Preservation of Sediment for IMAP Common Indicator 17: Heavy and Trace Elements and Organic Contaminant: UNEP/MED WG.482/11 Monitoring Guidelines/Protocols for Sample Preparation and Analysis of Sediment for IMAP Common Indicator 17: Heavy and Trace Elements and Organic Contaminants: UNEP/MED WG.482/11 Monitoring Guidelines/Protocols for Sample Preparation and Analysis of Marine Biota for IMAP Common Indicator 17: Heavy and Trace Elements and Organic Contaminants: UNEP/MED WG.482/14 Monitoring Guidelines/Protocols for Sampling and Sample Preservation of Seawater for IMAP Common Indicator 17: Heavy and Trace Elements and Organic Contaminants: UNEP/MED WG.482/15 Monitoring Guidelines/Protocols for Sample Preparation and Analysis of Seawater for IMAP Common Indicator 17: Heavy and Trace Elements and Organic Contaminants: UNEP/MED WG.482/16</i>
EO10 Marine litter	Transetto di intercettazione di linee, rilievi costieri e rilievi subacquei Indagini ROV Rete a strascico Manta	<i>IMAP standards</i> <i>Ref:</i> <i>IMAP Guidance fact sheets UNEP/MED WG.467/5</i>

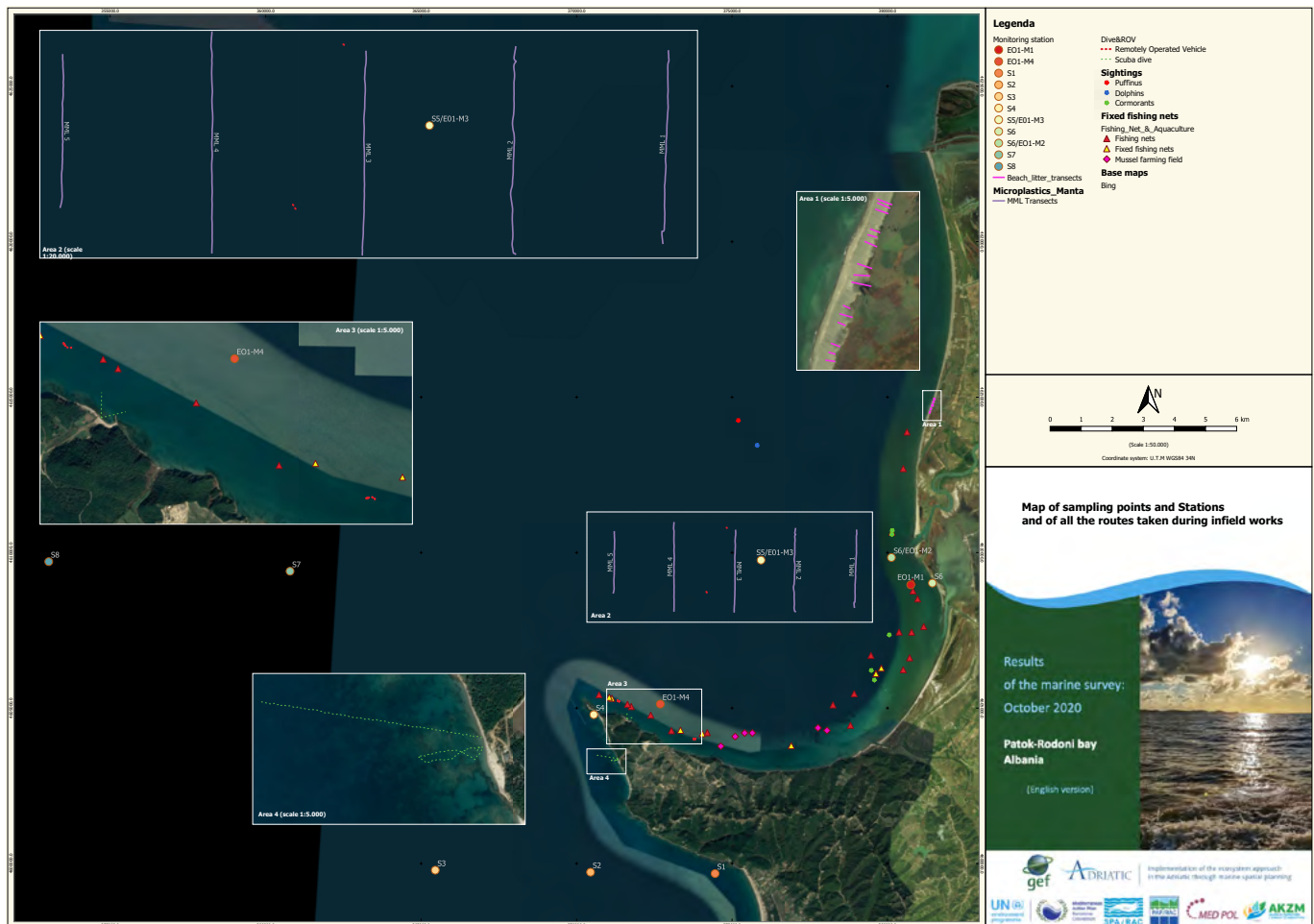


Figura 2

delle imbarcazioni. Capo dei Rodoni è uno spettacolare lembo di terra che si affaccia sul mare Adriatico e rappresenta la penisola più esterna dell'Albania a nord di Durazzo. Il promontorio è una formazione geologica di banchi di arenarie-argille mioceniche, fortemente erosi e generalmente brulli. L'area costiera comprende una vegetazione molto scarsa dominata da *Critimum maritimum*, *Elymus pycnanthus*, ecc. che cresce in alcuni anfratti.

L'area, man mano che si procede dalla costa verso l'entroterra è caratterizzata da altre formazioni vegetali, nello specifico, a partire dai 3-4 m sul livello del mare, ha inizio la formazione vegetale dominata dalla macchia mediterranea e in qualche punto da *Quercus pubescens*. Le specie più comuni di questo tipo di formazione sono: corbezzolo (*Arbutus unedo*), erica arborea (*Erica arborea*), ginestra (*Spartium junceum*), mirto (*Myrtus communis*), lentisco (*Pistacia lentiscus*), fillirea (*Phyllirea angustifolia*), alloro (*Laurus nobilis*), cisto (*Cistus incanus* e *C. salvifolius*), ginepro coccolone (*Juniperus oxycedrus*), rovo (*Rubus fruticosus*) e leccio (*Quercus ilex*). In prossimità del mare, su un substrato tipicamente sabbioso o ghiaioso, crescono altre tipologie di specie vegetali quali la salicornia

spinosa (*Salsola kali*), il papavero giallo (*Glaucium flavum*), la lavanda marina comune (*Limonium vulgare*), il finocchio marino (*Limbaria crithmoides*), la pianta del cotone (*Otanthus maritimo*), ecc.

MATERIALI E METODI

Tutte le attività di ricerca richieste nella pianificazione del lavoro del progetto (SPA/RAC *Term of Reference*) come il campionamento, la conservazione dei campioni, le analisi e le classificazioni tassonomiche e la caratterizzazione dei rifiuti marini e delle tipologie di inquinanti, sono state realizzate nel pieno rispetto delle indicazioni SPA/RAC e UNEP/MAP. Tutto il lavoro eseguito e tutti i dati ottenuti sono, pertanto, perfettamente in linea con la metodologia IMAP, concordata dalle parti contraenti della Convenzione di Barcellona. In questa sezione, viene brevemente descritta l'attrezzatura utilizzata per il supporto della missione di indagine sul campo (Tab. 1), le metodologie e i protocolli specifici relativi a ciascun Obiettivo Ecologico (EO), disponibili anche nel rapporto completo SPA/RAC pubblicato sul relativo sito istituzionale (www.rac-spa.org). Le stazioni di campionamento sono raffigurate nella Fig. 2.

RISULTATI E DISCUSSIONE

In merito a quanto sopra riportato, tutte le attività del progetto si sono sviluppate in tre fasi principali, rispettivamente: Fase I - Preparazione dell'*Inception Report*, Fase II - Indagine marina e Fase III - restituzione dei risultati. Di seguito verranno forniti alcuni dettagli in merito a ciascun momento.

Fase I: Preparazione dell'*Inception Report* che ha incluso la raccolta e l'analisi di tutti gli studi precedenti disponibili relativi ad aree selezionate di Patok-Rodoni Bay, in particolare quelli relativi alle biodiversità e agli habitat, all'inquinamento, alla pesca e all'idrografia, sulla base delle relazioni di valutazione del GAP dei dati nazionali e dei programmi di monitoraggio nazionale integrato elaborati dal team di esperti nazionali e internazionali del GEF Adriatico selezionati dagli enti SPA/RAC e PAP/RAC.

Fase II: Indagine marina, che ha incluso la raccolta di nuovi dati ambientali a integrazione di quelli preesistenti. Durante questa prima indagine marina IMAP albanese, attraverso il campionamento in stazioni selezionate e test di laboratorio, in piena coerenza agli indicatori comuni IMAP identificati e agli Obiettivi Ecologici specifici. Durante le

attività sul campo il Team di esperti ha lavorato per raccogliere dati scientifici e informazioni ambientali nel pieno rispetto di tutte le richieste del progetto formulate dagli enti SPA-RAC, PAP-RAC, MEDPOL, UNEP- MAP e NA-PA. I dati ottenuti hanno permesso di:

- valutare il GES dell'area di studio (Buono Stato Ambientale);
- fornire report e realizzare cartografie tematiche georeferite realizzate con sistemi GIS a partire dai dati raccolti;
- fornire immagini ad alta risoluzione e resoconti video dell'indagine sul campo;
- realizzare incontri formativi sulle tecniche di monitoraggio utilizzate, destinati agli esperti locali e ai rappresentanti delle Istituzioni Nazionali in Albania;
- sostenere il Programma di Monitoraggio Nazionale Integrato in Albania;
- fornire dati per implementare la banca dati ambientale a livello nazionale e regionale.

Fase III: Organizzazione e realizzazione del *Validation Meeting*, consegna formale del *Final Report* e presentazione dei *Deliverable* con i relativi file allegati nonché consegna del set di Raccomandazioni specifiche.

Di seguito vengono riportati i prodotti cartografici più rilevanti dello studio (Figg. 3,4,5,6,7,8).

I **principali risultati** sull'indagine marina, ovvero sugli Obiettivi Ecologici IMAP (EO) e sui relativi Indicatori Comuni (CI), sono descritte nei seguenti paragrafi.

EO1 BIODIVERSITÀ (HABITAT E SPECIE) - INDICATORI COMUNI 1, 2, 3

Nonostante il crescente interesse di questi ultimi anni sulla distribuzione degli habitat marini, i dati rimangono scarsi e limitati, soprattutto nel nord dell'Albania, nonché limitati ai dati sulla macrofauna bentonica nelle praterie di *Posidonia oceanica* nelle baie di Patok e Lazit. L'area è sotto l'influenza degli apporti fluviali, per tale motivo è caratterizzata principalmente dalla presenza di biocenosi delle sabbie fangose superficiali in acque riparate (codice di identificazione III.2.3) nel settore costiero e dalla biocenosi dei fanghi terrigeni costieri (codice di identificazione IV.1.1) nelle aree più profonde. In prossimità della parte meridionale della costa, dal fondale molle, emergono piccoli affioramenti rocciosi caratterizzati dalla presenza dominante di Ulvaceae

e del polichete *Sabellaria alveolata*. Le colonie di questo polichete formano biocostruzioni fino a 50 cm di diametro che emergono dal fondo. Le biocenosi delle sabbie fangose superficiali in acque riparate sono sempre state caratterizzate dalla presenza discontinua di *Cymodocea nodosa* sulle sabbie fangose superficiali in acque riparate (codice di identificazione III.2.3.4). La *P. oceanica* è presente all'interno dell'area di studio solo come piccole macchie di prateria relitta isolate e in fase di arretramento, quindi non come prateria continua come invece osservato a Sud di Capo Rodoni. Inoltre, all'interno dell'area di studio, a causa dell'importante afflusso di acqua dolce e sedimenti provenienti dai fiumi costieri, gran parte di *P. oceanica* è sostituita da altre fanerogame marine come *C. nodosa*, specie considerata più tollerante, ma che non cresce mai formando praterie fitte, e da altre specie tipiche di ambienti soggetti a disturbo ecologico quali, in particolare, alghe come Ulvaceae e Caulerpacae. I fondali molli presentano qui, popolamenti eterogenei sia in termini di struttura comunitaria, sia in termini di diversità di specie. Il numero di specie per campione varia secondo un intervallo molto ampio. I fondali duri, invece, ospitano densi popolamenti algali fotofili, principalmente rappresentati da *Ulva* sp., mentre la componente faunistica è dominata principalmente dal polychaete *S. alveolata*. L'alga bruna *Cystoseira* spp. mostra una distribuzione intermittente con conseguenti bassi valori di copertura dei substrati duri. La presenza irregolare di *P. oceanica*, distribuita spazialmente sotto forma di chiazze sparse, è molto probabilmente dovuta ai cambiamenti di salinità e scarsa trasparenza delle acque, all'abbondanza di *C. nodosa* e alla dominanza di *Ulva* sp. tutti aspetti strettamente legati agli apporti fluviali, in particolare il Drin, e alle attività antropiche nella zona costiera e a monte dei fiumi, che contribuiscono all'alterazione della sedimentazione e alla presenza di nutrienti e inquinanti nelle acque. Secondo il presente studio, lo stato di conservazione della prateria di *P. oceanica*, nell'area di Capo Rodoni, non è del tutto soddisfacente e le numerose specie chiave osservate (*P. lividus*, *Chondrilla nucula*, *Caulerpa cylindracea*), hanno suggerito la necessità di realizzare una carta bionomica digitale dettagliata dei fondali, con particolare attenzione all'areale di distribuzione di *P. oceanica*. I risultati degli avvistamenti hanno permesso di identificare una

popolazione stazionaria di cormorani (*Phalacrocorax carbo*) in prossimità del settore costiero orientale dell'area di indagine. L'avvistamento di un singolo esemplare di quota (*Puffinus* sp.) indica la presenza di questa specie nell'area. Diversi avvistamenti di piccoli gruppi di *Tursiops truncatus* suggeriscono una presenza di mammiferi marini nelle acque oggetto di studio. Durante l'indagine non sono stati registrati avvistamenti di esemplari di tartarughe marine e/o squali, anche se la loro presenza nell'area sembra essere accertata da precedenti osservazioni effettuate da pescatori e scienziati albanesi.

EO2 SPECIE NON INDIGENE (NIS) - INDICATORE COMUNE 6

Le specie invasive rilevate nell'area di Rodoni, durante l'indagine, sono: l'alga *C. cylindracea* e il granchio azzurro *Callinectes sapidus*, che sono stati successivamente e recentemente segnalati in gran parte della costa albanese. *C. cylindracea* è ampiamente distribuita in tutta l'area, sia su fondi molli che su affioramenti rocciosi, dove forma estesi tappeti. La sua presenza si osserva anche in concomitanza con popolazioni algali fotofile e/o con le fanerogame *P. oceanica* e *C. nodosa*.

EO3 PESCA

Nell'ambito delle indagini dedicate a questo Obiettivo Ecologico, è stata valutata solo la variabilità delle associazioni ittiche. In tutti i siti indagati, il censimento della fauna ittica mostra un'abbondanza molto bassa sia in termini di numero di specie sia di esemplari. La causa risiede probabilmente nell'intensa pressione di pesca esercitata lungo tutta la costa e l'area in esame. A supporto di tale supposizione vi è stato il ritrovamento di un'enorme quantità di attrezzi da pesca sparsi in tutta l'area (sia costa che mare) tra Capo Rodoni e Laguna di Patok. La taglia degli esemplari osservati varia da media a piccola e costituisce un'ulteriore testimonianza dell'elevata pressione antropica a cui è sottoposta quest'area costiera. L'attuazione di misure di riduzione della pressione di pesca nell'area di studio e in quelle attigue, potrebbe indurre un aumento degli stock ittici sia in termini di numero di specie, sia di dimensione specie specifica.

EO5 EUTROFIZZAZIONE - INDICATORE COMUNE 13 - INDICATORE COMUNE 14

Le indagini effettuate mostrano, seguendo un transetto da costa a mare

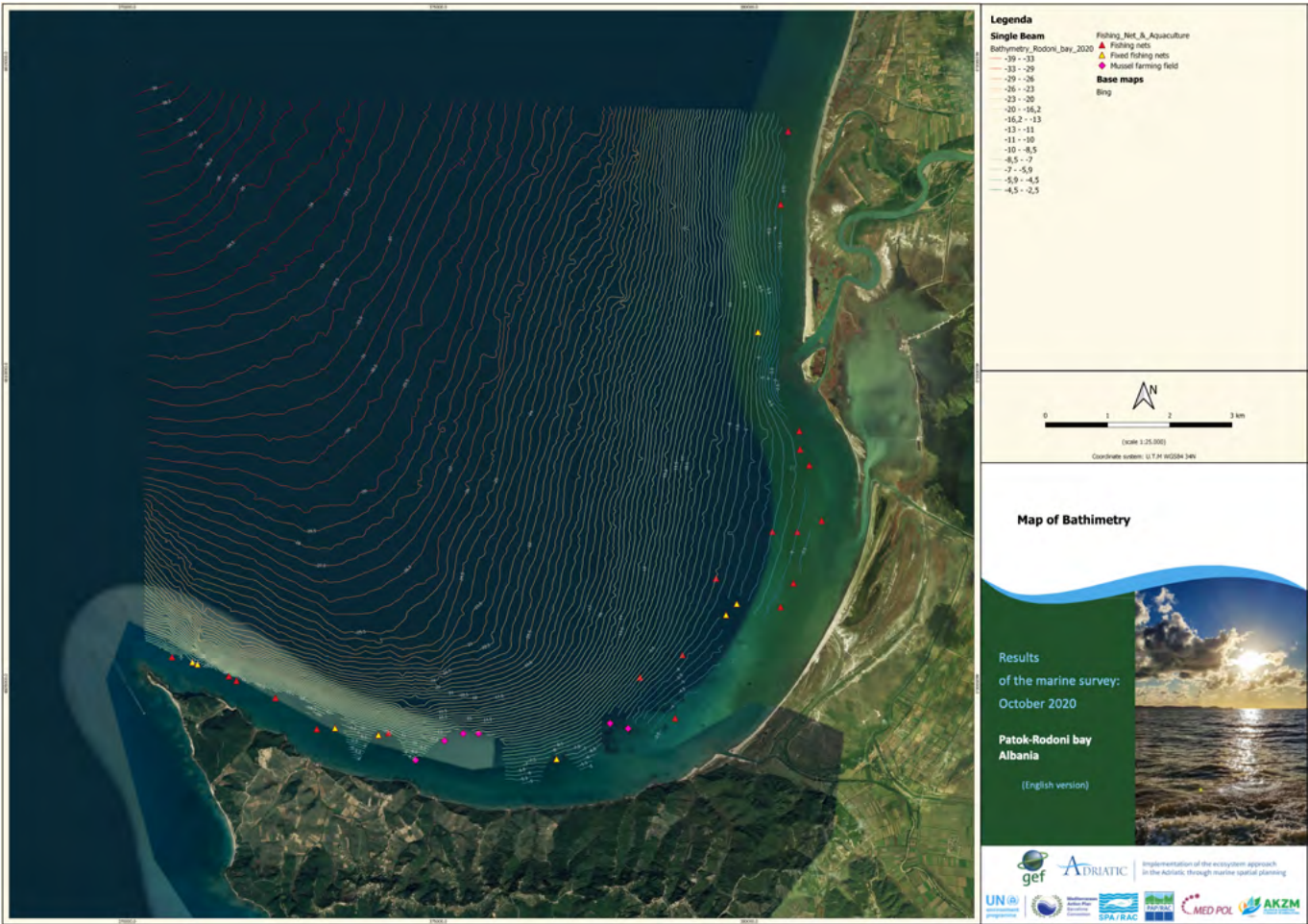


Figura 3

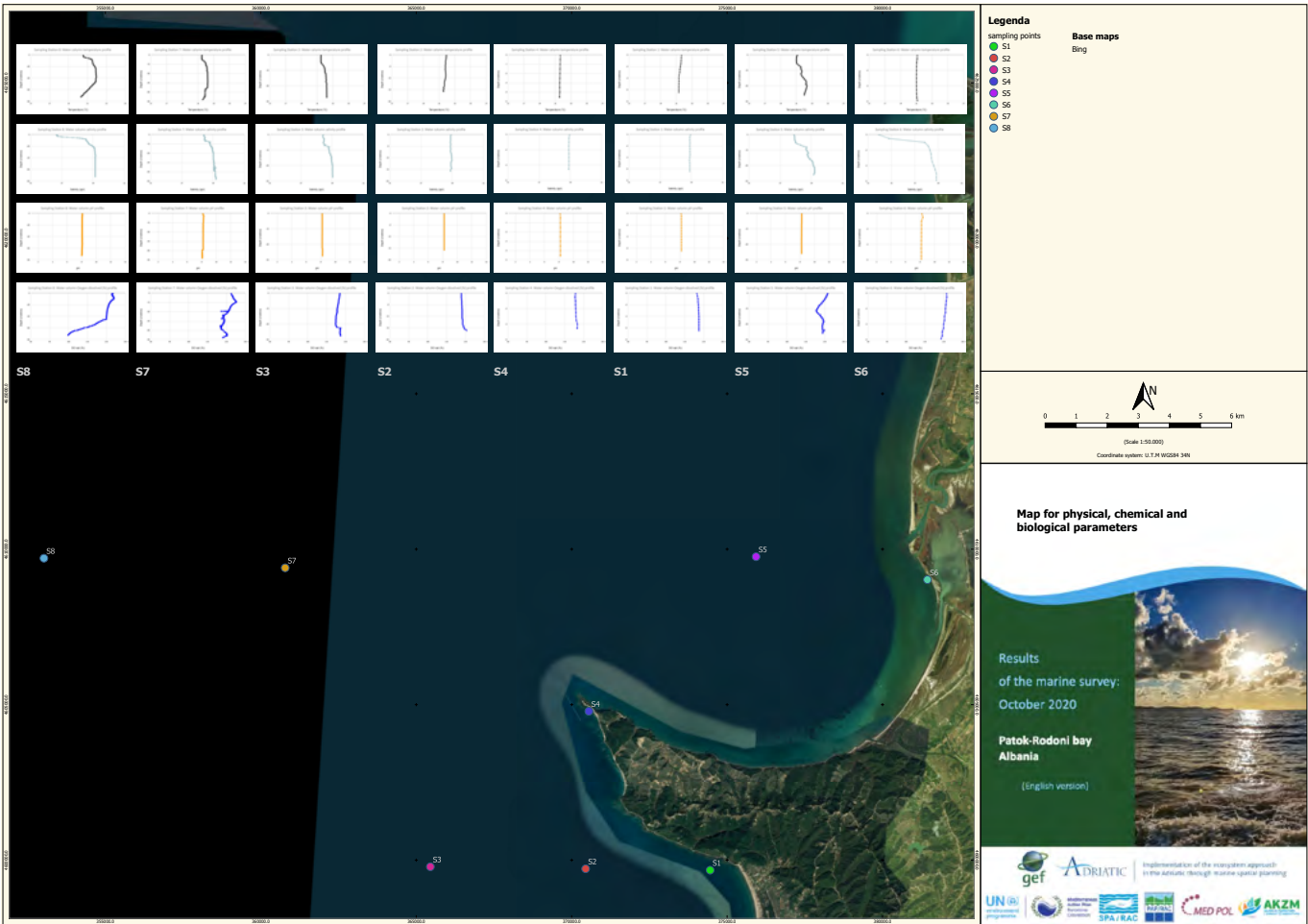


Figura 4

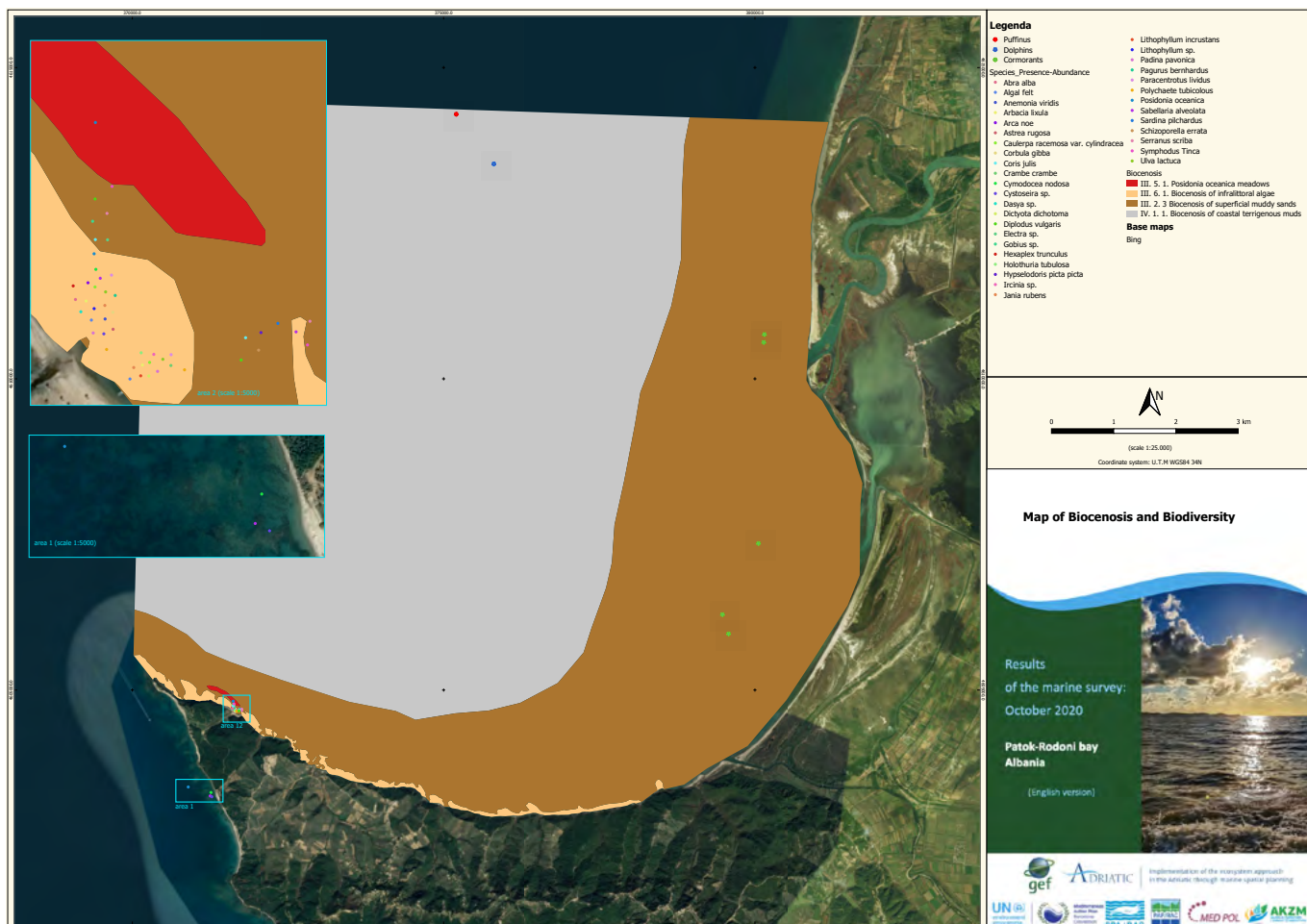


Figura 5

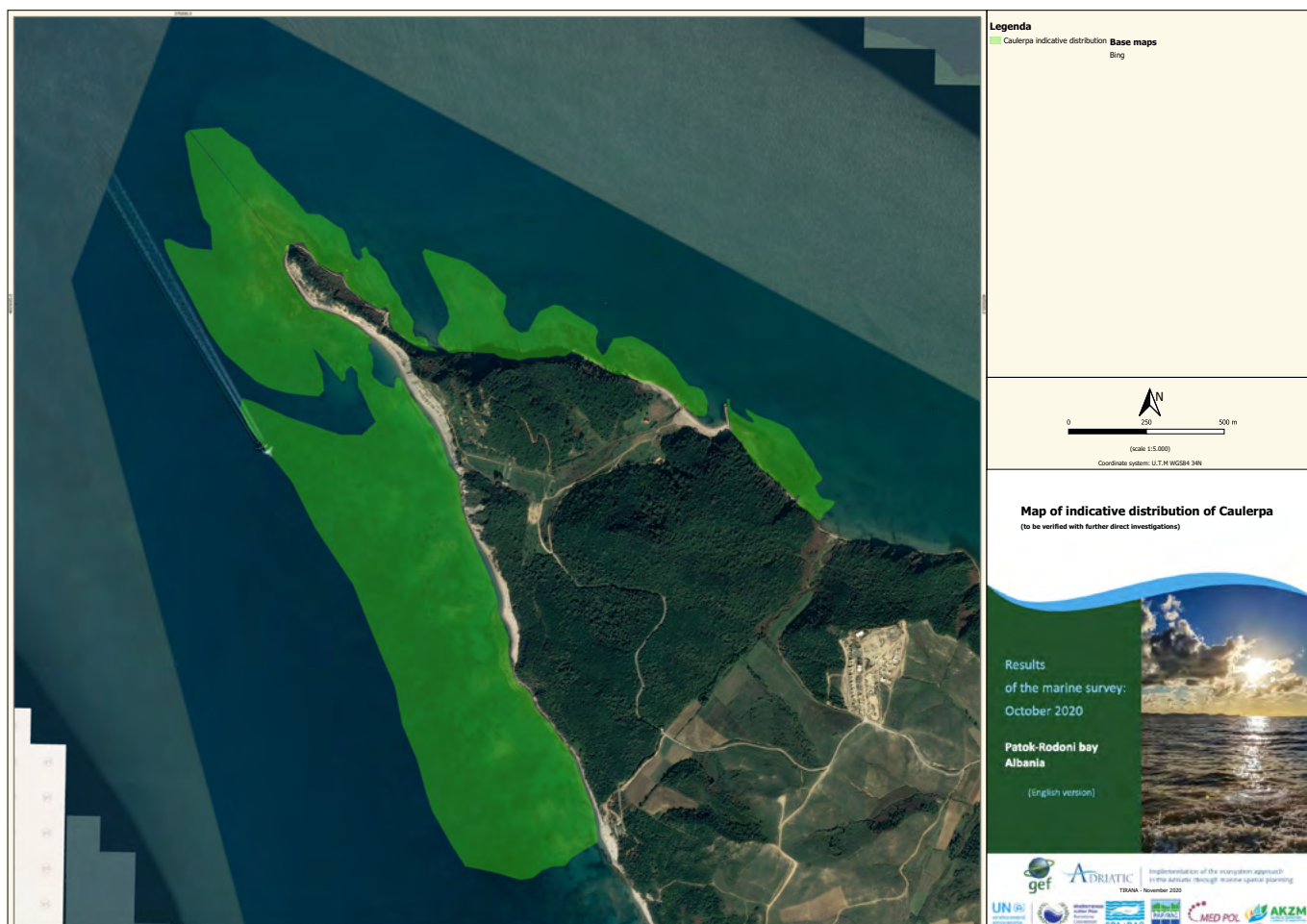


Figura 6

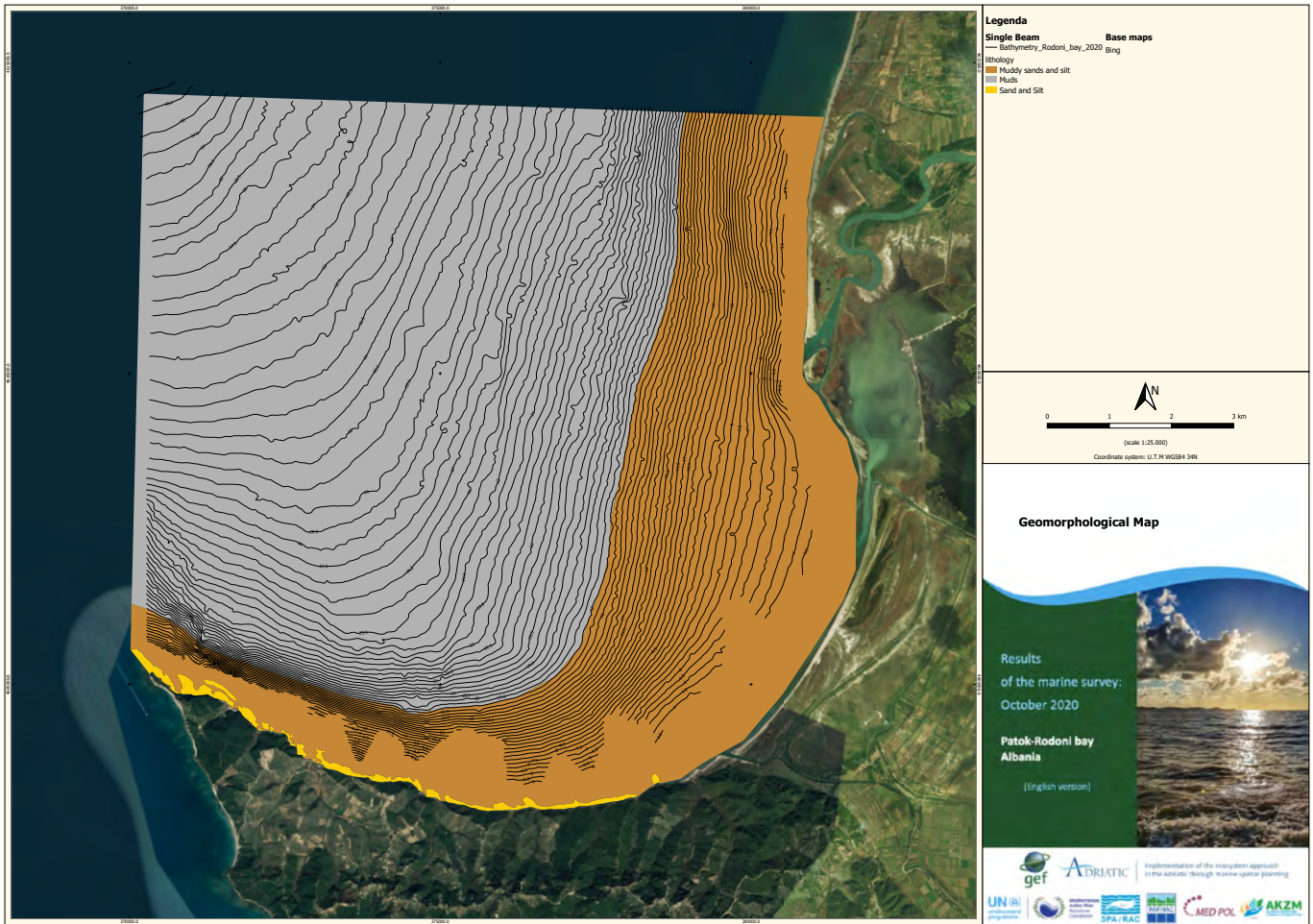


Figura 7

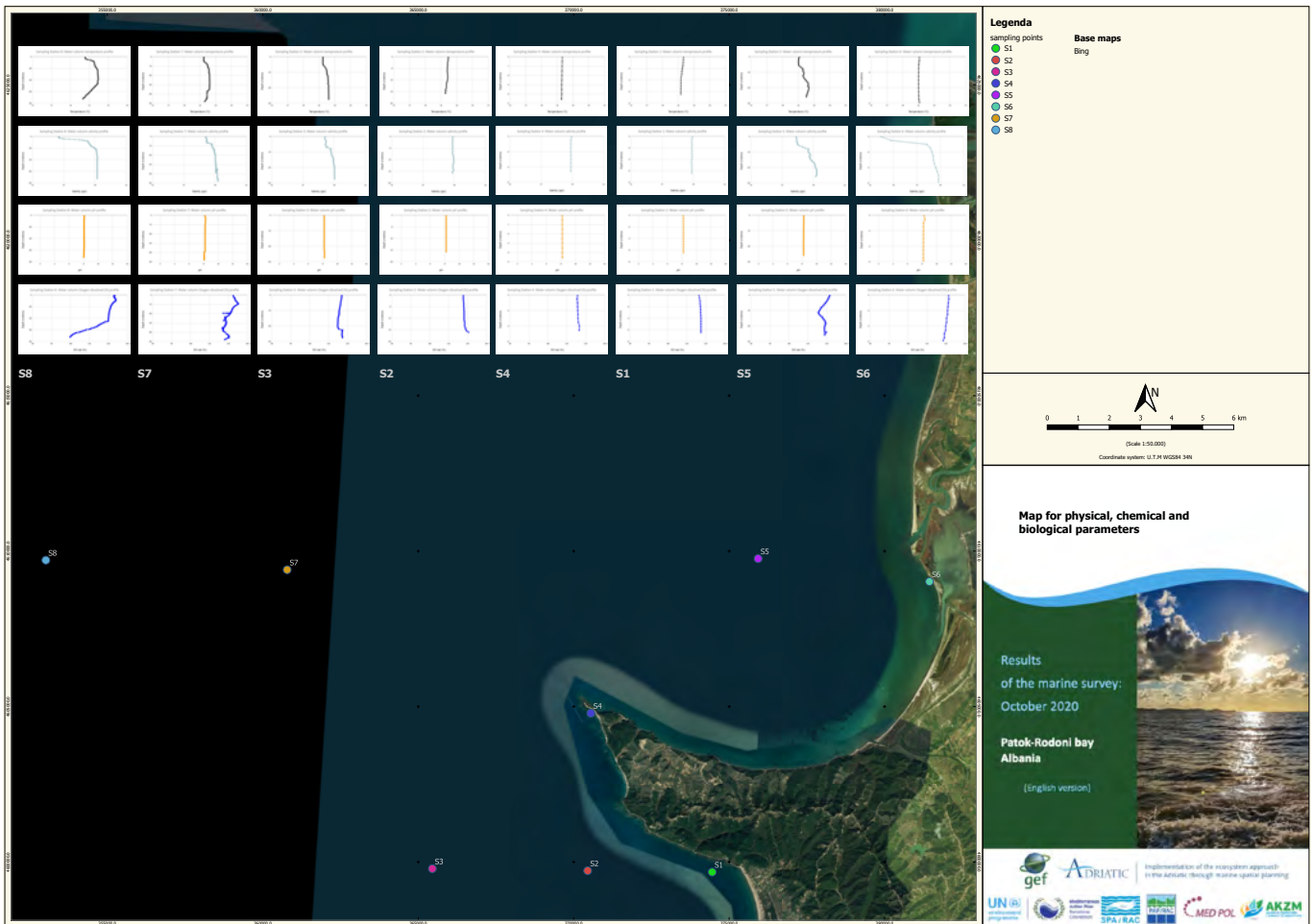


Figura 8

aperto, un progressivo aumento della presenza di limo e fango sia nella colonna d'acqua, sia nei sedimenti. Durante il periodo di campionamento è stata osservata una costante ed elevata torbidità sia delle acque superficiali, sia anche dell'intera colonna d'acqua. I livelli totali di azoto, fosforo e altri elementi (eutrofizzazione), oltre a tutti i consueti parametri chimico-fisici presi in considerazione durante le indagini scientifiche, mostrano un graduale aumento dell'ipertrofia verso il centro della baia di Patok e lungo tutte le coste, dove sono presenti i delta fluviali e gli sbocchi delle lagune. I valori di clorofilla-*a* e della densità del popolamento di fitoplancton, mostrano lo stesso modello in aumento e valori elevati. Patok bay appare come una vasta area di mare e costa caratterizzate da una forte influenza delle conseguenze derivanti da importanti apporti sedimentari, nonché di materiale organico e inorganico, proveniente dai fiumi e dalle lagune. Con il mancato controllo degli scarichi idrici (piovani e fognari) in fiume e in mare e la mancanza di un monitoraggio istituzionale permanente dell'ambiente marino, la situazione di trofia e ipertrofia potrebbe aumentare notevolmente a seconda della stagione, delle precipitazioni e della temperatura, portando con sé numerosi futuri problemi di possibili crisi distrofiche e conseguenti anossie dei fondali.

EO7 IDROGRAFIA - INDICATORE COMUNE 15

L'analisi dei dati batimetrici, unitamente a quelli relativi alla trasparenza, temperatura, salinità e livelli di marea, non sembrano evidenziare particolari anomalie all'interno dell'area di studio. La presenza di fiumi e le abbondanti emissioni fluviali condizionano profondamente l'area valutata, compresa dunque tra Patok Lagoon e Capo Rodoni, sia per quanto riguarda gli apporti dei sedimenti, sia per i parametri chimico-fisici nella colonna d'acqua. I sedimenti trasportati dai fiumi si distribuiscono nella baia di Patok andando a costruire un fondale piatto, con graduale aumento batimetrico dalla riva al largo. L'analisi della tessitura dei sedimenti evidenzia una preponderanza di componente limosa e argillosa rispetto ad una limitata percentuale di classi granulometriche dimensionalmente maggiori. Ciò suggerisce che gli apporti fluviali siano costituiti principalmente da materiale fine, facilmente trasportato da fiumi e lagune, poi altrettanto facilmente risospeso, da

onde e correnti marine, anche a grande distanza dalla costa.

CONTAMINANTI EO9 - INDICATORE COMUNE 17, 18

L'indagine ha mostrato un livello di inquinamento relativamente basso nel 2020, trattandosi della prima indagine dettagliata realizzata nell'area di Patok Rodoni, non ci sono precedenti serie storiche di dati utili per poter effettuare un confronto tra tali risultati e i dati precedenti. Nuove mappa correntometrica generale, delle micro correnti e delle correnti di marea, potrebbero aiutare ad individuare le aree di dispersione e le aree di concentrazione degli inquinanti provenienti dai fiumi e/o dalle lagune. Gli esiti del monitoraggio hanno messo in luce il fatto che le soglie di tutti i valori registrati rientrano nei limiti nazionali. Più nello specifico, i valori di PCB, PCA e metalli pesanti ricercati sul biota, nonché tutte le analisi relative alla valutazione degli effetti genotossici effettuate su organismi filtratori e neotonici campionati nell'area, rientrano nei range di "presenza molto limitata" o "negativi-non rilevanti". Tutti i test sulla stabilità della membrana lisosomiale (LMS), sul dosaggio dell'acetilcolina eterasi (AChE) e sul dosaggio del micronucleo degli emociti, sono risultati completamente negativi. Questi dati suggeriscono che la qualità delle acque e, quindi, il relativo livello di inquinamento, potrebbero essere ancora controllabili se si avviasse qualche programma di gestione, conservazione e protezione nell'area.

EO10 RIFIUTI MARINI - INDICATORE COMUNE 22, 23

L'area di studio è fortemente impattata dalle attività antropiche, svolte non solo direttamente *in situ*, ma anche nelle aree interne e costiere a nord dell'areale indagato, i cui rifiuti poi vengono trasportati dalle correnti che risultano essere predominanti da nord a sud. I principali impatti antropici in atto sull'ecosistema appaiono legati ai rifiuti marini convogliati/trasportati dai fiumi Drin, Mat e Ishmi, i quali sfociano lungo costa, o occasionalmente nelle due lagune costiere (Tale e Patok): tali rifiuti si accumulano nella parte meridionale della baia di Patok a partire da Capo Rodoni fino al porto di San Giovanni Medua. Le evidenze dei monitoraggi sono state restituite realizzando una mappa del rilevamento dei rifiuti marini di spiaggia (*Beach Marine Litter*), sulla base di 5 transetti della lunghezza di 100 m

ciascuno. Il protocollo di monitoraggio ha previsto che ogni transetto dovesse essere perpendicolare alla costa. Sono stati realizzati anche n 5 percorsi lineari di monitoraggio e prelievo della microplastica sulla superficie marina in corrispondenza di 5 stazioni poste rispettivamente a 2 km, 4 km, 6 km, 8 km e 10 km dalla costa: la distanza percorsa è stata pari a un totale di 12.652 m. Complessivamente sono stati campionati 506 m di spiaggia. I risultati delle analisi dei campioni raccolti per la determinazione delle microplastiche e delle osservazioni relative alle macro plastiche galleggianti sono riportati nelle rispettive tabelle unitamente ai dettagli sulla distanza percorsa da ciascun percorso lineare e sul volume di acqua filtrata. La concentrazione di microplastiche nei campioni, per forma e per colore, viene espressa come numero di elementi per transetto. Mentre la concentrazione delle microplastiche in ogni transetto è espressa come numero di elementi per m² di acqua di mare campionata. I risultati mostrano che all'interno dell'area di studio, il livello di contaminazione da microplastica è molto più basso rispetto a quello medio rilevato da letteratura in Mediterraneo.

RACCOMANDAZIONI CONCLUSIVE

I prossimi paragrafi forniscono alcuni spunti sulla progettazione, sulla possibile gestione futura e sugli interventi che, nel lungo periodo, potrebbero garantire un miglioramento sia degli habitat presenti, sia degli organismi che vivono nell'area. Allo stesso tempo, sono un mezzo per monitorare gli impatti legati allo sviluppo urbano dell'area ai fini di una pianificazione territoriale ecologicamente sostenibile, nonché per il controllo delle attività socio-economiche (turismo, pesca, sport nautici) e la protezione dell'ambiente nell'area di Patok Rodoni Bay (aree costiere e marine protette).

RACCOMANDAZIONE PER IL MONITORAGGIO DELL'AREA

I lavori di ricerca scientifica e monitoraggio precedentemente svolti nell'area sono risultati inesistenti o insufficienti. Non è stato possibile convalidare dati preesistenti a causa della mancanza di informazioni sulle eventuali campagne di monitoraggio svolte, nonché sulla relativa metodologia di analisi adottata. Questo primo *IMAP Marine Survey*, che costituisce una vera e propria *baseline* per il processo IMAP, ha permesso di comprendere alcune caratteristiche eco-

logiche, ma tali informazioni non sono state sufficienti per una piena comprensione degli equilibri e delle dinamiche ecologiche dell'area. È importante che le future campagne di monitoraggio tengano in considerazione le stesse stazioni e cerchino gli stessi elementi, adottando lo stesso protocollo, strutturando così piani di monitoraggio a ciclo stagionale e/o annuale, integrando ulteriori misurazioni periodiche o permanenti, riguardanti ad esempio i dati meteorologici (vento, pioggia, temperatura), i dati idrologici in diverse stazioni (temperatura dell'acqua di mare, correnti, moto ondoso, portata del fiume, torbidità, ecc.). È molto importante che le Istituzioni locali comincino a calcolare il budget annuale necessario per la realizzazione di tali attività di monitoraggio marino, al fine di garantire sia la sostenibilità economica, sia una continuità nelle attività di analisi e valutazione dell'area nel prossimo futuro.

RACCOMANDAZIONE

SULL'INCLUSIONE DELLE STAZIONI DI RILEVAMENTO LOCALI NELLA RETE DI MONITORAGGIO NAZIONALE

Il capitale naturale ecosistemico presente su entrambi i lati di Capo Rodoni si configura come un'opportunità di crescita dirompente, con un potenziale di reddito significativo per tutti coloro che traggono profitto dalle relative risorse ecosistemiche presenti, in un contesto estremamente dinamico, nell'ambito del quale l'approvvigionamento fluviale e le dinamiche di gestione delle lagune costiere hanno un grande effetto soprattutto sul lato nord del promontorio. Sebbene il livello di inquinamento appaia oggi limitato, gli apporti organici ed inorganici restano i principali parametri per i quali è necessario garantire un livello di monitoraggio, gestione e controllo adeguati e per tale ragione è necessario immaginare un piano di azioni e di investimenti dedicati di qui al prossimo futuro. Tutte le stazioni di campionamento selezionate devono essere inserite nella Rete di Monitoraggio Nazionale Albanese, per il monitoraggio della qualità dell'ambiente marino, rispondendo alla partecipazione del Paese al processo IMAP ad eccezione della *P. oceanica* a causa della sua scarsa presenza. Altre stazioni dovrebbero essere aggiunte in futuro sulla base delle evidenze e risultati dei vari monitoraggi.

Raccomandazione per lo sviluppo di un MCPA. Gli organi competenti in materia ambientale in Albania hanno individuato, lungo la costa di tutto il

Paese, diversi siti sui quali poter avviare nuove future AMP e Capo Rodoni è uno di questi. Come evidenziato dal rilievo della parte settentrionale, la baia di Patok presenta un numero limitato di punti di interesse a causa dell'uniformità dei fondali (sabbiosi, fangosi) e della limitata varietà di biocenosi. Inoltre, altri punti di interesse presenti nelle prossimità si configurano come siti idonei per lo sviluppo di attività di ecoturismo, volte a valorizzare il capitale ecologico e culturale delle lagune di Tale e Patok, caratterizzate da una commistione equilibrata di attività di pesca tradizionale e la concomitante presenza di numerosi uccelli selvatici rivieraschi e lagunari.

Raccomandazione sulla PSM e collegamento alla GIZC. Gli studi dedicati all'analisi delle evoluzioni della linea di costa albanese mostrano che la gestione dell'erosione costiera mediante opere di difesa non sono la preoccupazione principale, ma lo sono le attività antropiche. Gli indicatori ambientali all'interno dei budget economici e i vincoli ecologici a livello macroeconomico sono un mezzo per affrontare gli impatti negativi. Di primaria importanza sono le indagini multidisciplinari su larga scala, per le valutazioni di impatto ambientale dei progetti di sviluppo, sia a terra che in mare.

Raccomandazione per ulteriori studi idrografici e sedimentologici marini. La pianificazione e la gestione dell'area costiera richiedono ulteriori approfondimenti per comprendere meglio la dinamica e l'evoluzione geomorfologica delle coste. Sarà quindi necessario affiancare ai dati morfologici già acquisiti (rilevamento batimetrico e side scan sonar) nuovi dati e studi specifici.

Raccomandazioni per studi ecologici innovativi. I dati preliminari ottenuti sui contaminanti e sui possibili impatti degli inquinanti mostrano che sono necessarie ulteriori indagini sulla loro circolazione, il loro stoccaggio e accumulo nelle acque e nei sedimenti. Dall'analisi dei dati ricavati dalle attività di indagine è emerso che i metalli pesanti sono uno degli inquinanti esistenti nell'area, la loro distribuzione e origine non sono ancora molto chiare, ma è plausibile che vengano trasportate dalle piene dei fiumi e riversate nella baia e, quindi, sul litorale sabbioso e sui fondali fangosi antistanti. Tali contaminanti, una volta giunti in mare, vengono trasportati e depositati in base alle correnti. Un'indagine dettagliata sulle correnti e sull'idrografia, associata ai dati ottenuti dallo studio geomorfologico

nell'ambito di questo progetto, aiuterebbe a comprendere e prevedere meglio la distribuzione dei metalli pesanti, permettendo di elaborare proposte per il miglioramento e la protezione dell'area e delle coste.

Raccomandazione sui siti di valore storico e culturale subacqueo. Nell'area di indagine sono presenti numerosi relitti sommersi appartenenti ad epoche diverse. Uno studio dedicato alla colonizzazione e conservazione di questi relitti potrebbe essere molto importante, non solo per il loro valore storico e culturale, ma anche per il loro ruolo ecologico all'interno di questi habitat, oltre che al loro potenziale ruolo nel turismo ecologico.

BIBLIOGRAFIA

- AGUILAR A, LOWRY L. (IUCN SSC PINNIPED SPECIALIST GROUP) (2010), *Monachus monachus*. The IUCN Red List of Threatened Species.
- ALMPANIDOU V, COSTESCU J, SCHOFIELD G, TÜRKÖZAN O, HAYS GC, MAZARIS AD (2016), *Using climatic suitability thresholds to identify past, present and future population viability*. Ecological Indicators 71: 551-556.
- ARCADIS (2014), *Marine litter study to support the establishment of an initial headline reduction target- SFRA0025?* European commission/DG EnV, project number BE0113.000668, 127 p.
- ARCANGELI, A. MARINI, L. CROSTI, R. (2013), *Changes in cetacean presence, relative abundance and distribution over 20 years along a trans-regional fixed line transect in the Central Tyrrhenian Sea*. Marine Ecology 34, 112-121. doi:10.1111/maec.12006.
- ARCOS JM, BÉCARES, J, CAMA A, RODRÍGUEZ B (2012), *Estrategias marinas, grupo aves: evaluación inicial y bienestar ambiental*. MAGRAMA, IEO & SEO/BirdLife.
- BARROWS A, NEUMANN C, BERGER M, SHAW S (2017), *Grab vs. neuston tow net: a microplastic sampling performance comparison and possible advances in the field*. Analytical Methods. 9: 1446-1453.
- BENTIVEGNA F, CIAMPA M, HOCHSCHEID S (2011), *The Presence of the green turtle, Chelonia mydas, in Italian coastal waters during the last two decades*. Marine Turtle Newsletter 131: 41-46.
- BRODERICK AC, GODLEY BJ, HAYS GC (2000), *Trophic status drives interannual variability in nesting numbers of marine turtles*. Proc. R. Soc. Lond. B 268, 1481-1487.
- BIANCHI, CN, MORRI C (2000), *Marine Biodiversity of the Mediterranean Sea: Situation, Problems and Prospects for Future Research*. Marine Pollution Bulletin 40: 365-376.
- BIANCHI CN, MORRI C (1999), *Indicatori biologici ed ecologici nell'ambiente marino* (pdf).

- BIANCHI CN, NAVONE A (1991), *Carta Biologica dei Fondi Marini*. AMP Tavolara Capo Coda Cavallo.
- BIANCHI CN, COCITO S, MORRI C, SGORBINI S (1991), *Rilevamento biologico subacqueo*. In: ABBIATI M. (ed), *Lezioni del corso formativo per ricercatore scientifico subacqueo*. International School for Scientific Diving, Pisa: 67-83.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2013), IUCN Red List for birds. Downloaded from <http://www.birdlife.org>.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2014), *Important Bird Areas factsheet: Malta-Gozo Channel*. Available at <http://www.birdlife.org>.
- BIRDLIFE INTERNATIONAL (2016), IUCN Red List for birds. Downloaded from <http://www.birdlife.org>.
- BORCHERS D, BUCKLAND S, ZUCCHINI W (2002), *Estimating Animal Abundance: Closed Populations*. 10.1007/978-1-4471-3708-5.
- BOUDOURESQUE CF, MEINESZ A (1982), *Découverte de l'herbier de Posidonie*. Parc Natl. Port-Cros Cah. 4, 1e80.
- BUA MC, GAMBI MC, DAPPIANO M (2003), *I sistemi a fanerogame marine*. In: GAMBI M.C., DAPPIANO M. (Editors). *Manuale di Metodologie di campionamento e studio del bentos marino mediterraneo*. Biol. Mar. Med, 19 (Suppl.): 145-198.
- COLL M, PIRODDI C, STEENBEEK J *et al.* (2011), *The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats* PLoS ONE, 5, e11842.
- COLLM., PIRODDI C., STEENBEEK J., KASCHNER K., BEN RAIS LASRAM F., *et al.* (2010), *The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats*. PLoS ONE 5(8): e11842. doi:10.1371/journal.pone.0011842.
- CUNNINGHAM PN, HAWKINS SJ, JONES HD, BURROWS MT (1984), *The geographical distribution of Sabellaria alveolata (L.) in England, Wales and Scotland, with investigations into the community structure of, and the effects of trampling on Sabellaria alveolata colonies*. Report to the Nature Conservancy Council from the Department of Zoology, Manchester University, Manchester.
- DEUDERO S, ALOMAR C (2014), *Revising interactions of plastics with marine biota: evidence from the Mediterranean in CIESM 2014*. Marine litter in the Mediterranean and Black Seas. CIESM Workshop Monograph n 46 [F. Briand, ed.], 180 p., CIESM Publisher, Monaco.
- DEUDERO S, ALOMAR C (2015), *Mediterranean marine biodiversity under threat: Reviewing influence of marine litter on species*. Mar. Poll. Bull., 98: 1-2, 58-68.
- DULVY NK, SADOVY Y, REYNOLDS JD (2003), *Extinction vulnerability in marine populations*, Fish and Fisheries 4: 25-64.
- ENGLISH S, WILKINSON C, BAKER V. (eds.) (1994), *Survey manual for tropical* AJNTS No 53/2021 (XXVI) marine resources. AIMS, Townsville: 368 p.
- EUROPEAN COMMISSION (2014), *Article 12 Technical Assessments of the MSFD 2012 obligations - Mediterranean Sea* (together with separate reports for or Cyprus, France, Greece, Italy, Slovenia and Spain
- FRASCHETTI S, BIANCHI CN, TERLIZZI A, FANELLI G, MORRI C, BOERO F (2001), *Spatial variability and human disturbance in shallow subtidal hard substrate assemblages: a regional approach*. Mar. Ecol. Prog. Ser., 212: 1-12.
- GALL S, THOMPSON R (2015), *The impact of debris on marine life*. Mar. Poll. Bull., V92, 12, 170-179.
- GAMBI MC, DAPPIANO M. (Editors), *Manuale di Metodologie di campionamento e studio del bentos marino mediterraneo*. Biol. Mar. Med, 19 (Suppl.): 145-198.
- GIOVANNETTI E, LASAGNA R, MONTEFALCONE M, BIANCHI CN, ALBERTELLI G, MORRI C (2008), *Inconsistent responses to substratum nature in Posidonia oceanica meadows: An integration through complexity levels?* Chemistry and Ecology, 24(S1), 83-91.
- GIRAUD G (1979), *Sur une méthode de mesure et de comptage des structures foliaires de Posidonie oceanica (Linnaeus) Delile*. Bulletin du Muséum d'Historie Naturelle de Marseille 39, 33-39.
- GJIKURI L (1995), *The Albanian sea-coast: problems and perspectives*. - In: *Les mers tributaires de Méditerranée*, F. BRIAND ed., CIESM Science Series n°1, Bulletin de l'Institut océanographique, n° sp. 15: 187-201.
- GREGORY M (2009), *Environmental implications of plastic debris in marine settings-entanglement, ingestion, smothering, hangers-on, hitch-hiking and alien invasions*. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 364(1526), 2013-2025. doi: 10.1098/rstb.2008.0265.
- GRUET Y (1982), *Recherchessur "l'écologie des récif d'Hermelles dicé spar"* Annélie de Polychète Sabellaria alveolata (Linné), Université des Sciences et Techniques, Nantes, France. PhD.
- GUTIÉRREZ R, FIGUEROLA, J (1995), *Wintering distribution of the Balearic Shearwater (Puffinus yelkouan mauretanicus) off the northeastern coast of Spain*. Ardeola 42(2): 161-166.
- HAXHIU M, TEKKE R (1993), *The Albanian coast; unknown and undeveloped but for how long?* - Coastline, 2: 5-9.
- PERKINS, E.J., ABBOTT, O.J., NOTTAGE, A.S., REID, D.M., LAMPARD, D.J., (1980), *Sixth annual report to the Cumbria Sea-Fisheries Committee*. Solway Firth survey - 1st April 1979 to 31st March 1980. University of Strathclyde, Department of Biology.
- INGROSSO G, ABBIATI M, BADALAMENTI F, *et al.* (2018), *Mediterranean Bioconstructions Along the Italian Coast*. Advances in Marine Biology, Vol:79. Interference with Hydrological Processes. 2013, Malta. Retrieved from <http://rod.eionet.europa.eu>, on 22 February, 2017.
- ISPRA (2006), *Linee Guida per la predisposizione del Progetto di Monitoraggio Ambientale (PMA) delle opere soggette a procedure di VIA (D.Lgs. 152/2006 e s.m.i.; D.Lgs.163/2006 e s.m.i.)*. Indirizzi metodologici specifici: Biodiversità (Vegetazione, Flora, Fauna) (Cap. 6.4).
- ISPRA (2013), *Buone prassi per lo svolgimento in sicurezza delle attività subacquee di ISPRA e delle Agenzie Ambientali*.
- KATSANEVAKIS S, TEMPERA F, TEIXEIRA H. (2016), *Mapping the impact of alien species on marine ecosystems: the Mediterranean Sea case study*. Diversity and Distributions 22: 694-707.
- LAURIANO G, PIERANTONIO N, DONOVAN G, PANIGADA S (2014), *Abundance and distribution of Tursiops truncatus in the Western Mediterranean Sea: An assessment towards the Marine Strategy Framework Directive requirements*. Marine Environmental Research, Large marine vertebrates as sentinels of GES in the European MSFD 100, 86-93. doi: 10.1016/j.marenvres.2014.04.001.
- LOUZAO M, BECARES J, RODRIGUEZ B, HYRENBACH K, RUIZ A, ARCOS J (2009), *Combining vessel-based surveys and tracking data to identify key marine areas for seabirds*. Marine Ecology Progress Series, 391.
- MAI L, LIAN-JUN B, LEI SH, WONG CH, ZENG E (2018), *A review of methods for measuring microplastics in aquatic environments*. Environmental Science and Pollution Research. 25. 10.1007/s11356-018-1692-0.
- MAIORANO P, MASTROTOTARO F, BEQIRAJ S, COSTANTINO G, KASHTAL, GHERARDI M, SION L, D'AMBROSIO P, TURSI A (2011), *Bioecological study of the benthic communities on soft bottom of the Vlora gulf (Albania)*. In: TURSI, A. AND CORSELLI, C. (eds.), *Coastal Research in Albania: Vlora Gulf*. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 58, pp. 95-105. West Palm Beach (Florida), ISSN 0749-0208.
- MANSUI J, MOLCARD A, OURMIERES Y (2015), *Modeling the transport and accumulation of floating marine debris in the Mediterranean basin*. Mar. Poll. Bull. ,91, 249-257.
- MARCHAND, Y, CAZOULAT R (2003), *Biological reef survey using spot satellite data classification by cellular automata method - Bay of Mont Saint-Michel (France)*. Computers & Geosciences. 29: p413-421.
- METTAM, C., CONNEELY, M.E., WHITE, S.J., (1994), *Benthic macrofauna and sediments in the Severn Estuary*. Biological Journal of the Linnean Society. 51: p71-81.
- MIETHE T, DOBBY H, MCLAY A (2016), *The Use of Indicators for Shellfish Stocks and Fisheries: A Literature Review*. Scottish Mar. and Freshw. Sci., 7: 2043-7722.
- MOLINIER, R., PICARD, J. (1952), *Recherches sur les herbiers de phanerogames marines du littoral Méditerranéen français*. Ann. l'Institut. Oceanog. Paris 27 (3): 157e234.
- MONTEFALCONE M, PARRAVICINI V, VACCHI M, ALBERTELLI G, FERRARI M, MORRI C, BIANCHI CN (2009), *Human influence on seagrass habitat fragmentation in NW Mediterranean Sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science.
- MORENO D, AGUILERA P, CASTRO H (2001), *Assessment of the conservation status of seagrass (Posidonia oceanica) meadows: implications for monitoring strategy and the decision-making process*. Biological Con-

- servation 102: 325 - 332.
- PERGENT G, PERGENT-MARTINI C, BOUTEROSQUE CF (1995), *Utilisation de l'herbier a Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances*. *Mésogée*, 54: 3-27.
- PERGENT G, BAZAIRI H, BIANCHI, *et al.* (2012), *Les herbiers de Magnoliophytes marines de Méditerranée. Résilience et contribution a l'atténuation des changements climatiques*. IUCN, Gland, Switzerland and Malaga, Spain, p. 80.
- PERGENT G, PERGENT-MARTINI C, BOUTEROSQUE CF (1995), *Utilisation de l'herbier a Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances*. *Mésogée*, 54: 3-27.
- PHAM C, RAMIREZ-LLODRA E, CLAUDIA H, AMARO T, BERGMANN M, CANALS M, COMPANY J, DAVIES J, UNEP/MAP (2015a), *Litter Assessment in the Mediterranean*, UNEP/MAP, Athens. 86 p.
- PIATT JF, SYDEMAN, WJ, WIESE F (2007), *Introduction: a modern role for seabirds as indicators*. *Marine Ecology Progress Series* 352: 199-204.
- PITITTO F, VENTRICE A, GRENCI S, DEDEJ Z, KASHTA L., *et al.* (2009), *Cartografia e protezione delle praterie di Posidonia oceanica lungo la costa albanese*. - *Biol. Mar. Mediterr.*, 16 (1): 324-325.
- REGIONE LIGURIA (2003), *Criteri per la valutazione degli impatti diretti e indiretti sugli Habitat naturali marini* - art. 16 l.r. 38/98. *Bollettino Ufficiale della Regione Liguria*, Anno XXXIV, N° 31, parte II: 2161- 2169.
- RENNER G, SCHMIDT T, SCHRAM J (2018), *Analytical methodologies for monitoring micro(nano)plastics: Which are fit for purpose?*. *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 1: 55-61. 10.1016/j.cosh.2017.11.001.
- RYBAK A (2018), *Species of Ulva (Ulvo-phyceae, Chlorophyta) as indicators of salinity*. *Ecol. Indic.* 85, 253-261.
- SCHOFIELD G, DIMADI A, FOSSETTE S, KATSELIDIS KA, KOUTSOUBAS D, *et al.* (2013b), *Satellite tracking large numbers of individuals to infer population level dispersal and core areas for the protection of an endangered species*, *Diversity and Distributions* - doi: 10.1111/ddi12077.
- SCOTT R, MARCH R, HAYS GC (2011), *Life in the really slow lane: loggerhead sea turtles mature late relative to other reptiles*, *Functional Ecology*. 26, 227-235.
- SIMEONI U (1992), *I litorali tra Manfredonia e Barletta (Basso Adriatico): dissesti, sedimenti, problematiche ambientali*. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 111: 367-398.
- SIMEONI U, CALDERONI G, SETTI M, CIAVOLA P, ZAMARIOLO A (1996), *The coastline of Durres bay (Albania): geomorphology, sediment dynamics and coastal management issues*. In: *Coastal Zone Management*, J. TAUSSIK AND J. MITCHELL eds, Samara Publishing Limited, Cardigan, UK: 309-316.
- SIMEONI U, CIAVOLA P (1997), *The coastline of Albania: morphology, evolution and coastal management issues*. 7:391.
- SCIENTIFIC, TECHNICAL AND ECONOMIC COMMITTEE FOR FISHERIES (STECF) (2016), *Mediterranean assessments part 1 (STECF-16-22)*; Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- UNEP (1996), *Implications of Climate Change for the Albanian Coast*. MAP Technical Reports Series No. 98, UNEP, Athens, 1996.
- UNEP(DEPI)/MED (2011), *Satellite Tracking of Marine Turtles in the Mediterranean Current Knowledge and Conservation Implications* UNEP(DEPI)/MED WG359/inf8 Rev1.
- UNEP/MAP (2016a), *Decision IG.22/7 - Integrated Monitoring and Assessment Programme (IMAP) of the Mediterranean Sea and Coast and Related Assessment Criteria*. COP19, Athens, Greece. United Nations Environment Programme, Mediterranean Action Plan, Athens.
- UNEP/MAP (2016b), *Draft Integrated Monitoring and Assessment Guidance*. UNEP(DEPI)/MED IG.22/Inf.7.
- UNEP/MAP (2015), *Strategic Action Programme to Address Pollution from Land Based Activities in the Mediterranean region (SAP-MED) and National Action Plans (NAP) implementation 2000 - UNEP/MAP (2015b), Regional survey on abandoned, lost or discarded fishing gear & ghost nets in the Mediterranean Sea - A contribution to the implementation of the UNEP/MAP Regional Plan on marine litter management in the Mediterranean*, UNEP/MAP, Athens, 2015, 41 p. UNEP/MAP, Athens, 2015.
- UNEP/MAP (2016), *Mediterranean Strategy for Sustainable Development* AJNTS No 53 / 2021 (XXVI) 2016-2025. Valbonne. Plan Bleu, Regional Activity Centre.
- UNEP/MAP/PAP (1999), *Protocol Concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean*.
- UNEP/MAP/PAP (2017), *PAP/RAC Meeting of the Ecosystem Approach Correspondence Group on Monitoring (CORMON) on Coast and Hydrography-Working Document*. UNEP(DEPI)/MED WG.433/1.
- UNEP/MAP/PAP (2015), *Guidance document on how to reflect changes in hydrographical conditions in relevant assessment (prepared by Spiteri, C.)*. Priority Actions Programme. Split, 2015.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2007), *Action Plan for the conservation of Mediterranean marine turtles*. Ed. RAC/SPA, Tunis 40pp.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2013), *Status of implementation of the action plans for conservation of marine turtles, birds and cartilaginous fishes*, UNEP(DEPI)/MED WG.382/Inf.11. UNEP/MAP/PAP (2008), *Protocol on the ICZM in the Mediterranean*, Split, Priority Actions Programme, 2008. http://www.pap-the-coastcentre.org/pdfs/Protocol_publicacija_May09.pdf.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2010), *Report presenting a georeferenced compilation on bird important areas in the Mediterranean open seas*. By Requena, S. and Carboneras, C. Ed. RAC/SPA, Tunis: 39pp.
- UNEP-MAP-RAC/SPA, IUCN (1988), *Report of the joint expert consultation on the conservation of the Mediterranean monk seal*. Athens, 11- 12 January 1988. IUCN/ UNEP/MEDU/MM-IC/5. 8 p.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2014), *Status of Seabirds in the Alboran Sea*. By J.M. ARCOS. Draft internal report for the purposes of the Mediterranean Regional Workshop to Facilitate the Description of Ecologically or Biologically Significant Marine Areas, Malaga, Spain, 7-11 April 2014.
- UNEP/MAP/SPA/RAC (2017), *Draft updated Action Plan for the Conservation of Marine and Coastal Bird Species listed in Annex II of the Protocol concerning Specially Protected Areas and Biological Diversity in the Mediterranean*, UNEP(DEPI)/MED WG.431/5.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2003), *Action Plan for the management of the Mediterranean monk seal (Monachus monachus)*. Reprinted, RAC/SPA, Tunis. 12 p.
- UNEP-MAP-RAC/SPA (2013), *Regional Strategy for the Conservation of Monk Seals in the Mediterranean (2014-2019)* http://www.rac-spa.org/nfp11/nfpdocs/working/wg_382_9_eng_2106.pdf.
- WHITE M, BOURA L, VENIZELOS L (2013), *Population structure for sea turtles at Drini Bay: an important nearshore foraging and developmental habitat in Albania*. *Chelonian Conservation and Biology*, 12:283-292.
- WILSON DP (1971), *Sabellaria colonies at Duckpool, North Cornwall, 1961- 1970*. *Journal of the Marine Biological Association of the UK*. 51, p509-580.
- YOCOZ NG, NICHOLS JD, BOULINIER T (2001), *Monitoring of biological diversity in space and time*. *Trends Ecol. Evol.* 16: 446-453.
- ZENETOS A, GOFAS, S, MORRI C, ROSSO A, VIOLANTI, D, *et al.* (2012), *Alien species in the Mediterranean Sea by 2012*. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways. *Mediterranean Marine Science*, 13/2: 328- 352.
- ZENETOS A, GOFAS S, VERLAQUE M, CINAR ME, GARCÍA RASO, E., *et al.* (2010), *Alien species in the Mediterranean Sea by 2010*. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part I. Spatial distribution. *Mediterranean Marine Science*, 11 (2): 381-493.
- ZOTIER R, BRETAGNOLLE V, THIBAUT JC (1999), *Biogeography of the marine birds of a confined sea, the Mediterranean*. *Journal of Biogeography*, 26: 297- 313.
- VAN DER HAL N., ASAF A, DROR A (2017), *Exceptionally high abundances of microplastics in the oligotrophic israeli Mediterranean coastal waters*. *Mar. Poll. Bull.*, in press.
- WERNER S, BUDZIAK A, VAN FRANKEK J, GALGANI F, HANKE G, MAES T, MATIDDI M, NILSSON P, BOCI S (1994), *Evoluzione e problematiche ambientali del litorale albanese*. *Bollettino Società Geologica Italiana*, 113: 7-14.

Primi studi di valutazione dello stato delle praterie di *Posidonia oceanica* nell'area di Palasë, Albania

First evaluation studies about the ecological condition of *Posidonia oceanica* meadows in Palasë area, Albania

Simone Modugno¹, Rachele Castro², Igli Pustina³, Genty Khromida⁴, Zamir Dedej⁵

¹ Consulta Ambiente IRSSAT

² Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - CNR-IRIB

³ Federata Shqiptare e Zhytjes -

Albanian Diving Federation - CMAS

⁴ INCA Albania

⁵ The National Agency of Protected Areas (NAPA)

¹ Corresponding author

E-mail: moder1976@gmail.com

Parole chiave: Posidonia, prateria, WFD, IMAP, Ricercatore Scientifico Subacqueo
Key words: Posidonia, meadow, WFD, IMAP, Underwater Scientific Diver

SOMMARIO

La *Posidonia oceanica* è una pianta marina endemica del Mar Mediterraneo e riveste un ruolo ecologico delicato ed importantissimo nell'ambiente marino costiero, dal mesolitorale ai limiti dell'infra-litorale. Per le sue peculiarità è ampiamente utilizzata come bioindicatore per la valutazione sia della qualità delle acque, in conformità alla WFD (*Water Framework Directive*, 2000/60/EC) e all'IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*) della CBD (*Convention on Biological Diversity*). Il posidonieto è considerato dalla Comunità Europea un ecosistema prioritario e riconosciuto come tale dalla Direttiva n°43/92 CEE relativa alla "conservazione degli habitat naturali e semi-naturali e della flora e della fauna selvatiche", recepita nell'ordinamento italiano dal D.P.R. n°357 del 08/09/1997. La *P. oceanica* è, infatti, una specie protetta in quanto inclusa nell'Allegato II (pubblicato sul supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale S.G. n°146 in data 24/06/99) della Convenzione di Berna del 19/11/1979 relativa alla "Conservazione della vita selvatica dell'ambiente naturale in Europa" ratificata in Italia con la Legge n°503 del 05/08/1981 (pubblicata nella gazzetta ufficiale n°250 dell'11/9/1981). La *P. oceanica* è anche inserita nell'Annesso II della Convenzione di Barcellona del 1995 per la protezione del Mediterraneo dall'inquinamento, ratificata in Italia con legge n°175 del 27/05/99. Per queste ragioni, lo studio e la valutazione a lungo termine della *P. oceanica* e delle cosiddette "praterie o posidonieti", che questa specie è in grado di formare, sono fondamentali per la valutazione dello stato ecologico nell'area marino-costiera mediterranea. L'obiettivo principale di questo lavoro è stato quello di fornire una prima valutazione delle condizioni geomorfologi-

che, chimico-fisiche ed ecologiche del posidonieto presente lungo la costa di Palasë alle pendici del passo del Llogorà (Contea di Valona, Albania, Mar Adriatico Meridionale), nell'espletamento dei compiti e delle responsabilità richieste per la "Valutazione di prati di *P. oceanica* lungo la costa di Palasë". Nell'estate 2021 è stata realizzata una prima valutazione e mappatura della prateria lungo la costa di Palasë, nell'ambito del progetto "Assessment of *P. oceanica* meadows in Palasë area" finanziato dal *Global Environment Facility* - Programma finanziato RAC-SPA.

ABSTRACT

Posidonia oceanica is a marine plant endemic to the Mediterranean Sea and plays a delicate and very important ecological role in the coastal marine environment, from the mesolittoral to the infra-littoral limits. Due to its peculiarities it is widely used as a bioindicator for the evaluation of both water quality, in compliance with the WFD (*Water Framework Directive*, 2000/60/EC) and the IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*) of the CBD (*Convention on Biological Diversity*). The *Posidonia* meadow is considered a priority ecosystem by the European Community and recognized as such by Directive No. 43/92 EEC relating to the "conservation of natural and semi-natural habitats and wild flora and fauna", transposed into Italian law by Presidential Decree n°357 dated 08/09/1997. *P. oceanica* is, in fact, a protected species as it is included in Annex II (published in the ordinary supplement to the Official Gazette S.G. n°146 dated 06/24/99) of the Bern Convention of 11/19/1979 relating to the "Conservation of the wild life of the natural environment in Europe" ratified in Italy with the Law n°503 of 08/05/1981 (published in the official

gazette n°250 of 11/9/1981). *P. oceanica* is also included in Annex II of the 1995 Barcelona Convention for the protection of the Mediterranean from pollution, ratified in Italy with law No. 175 of 05/27/99. For these reasons, the study and long-term evaluation of *P. oceanica* and of the so-called "grasslands or posidonia beds", which this species is able to form, are fundamental for the evaluation of the ecological status in the Mediterranean marine-coastal area. The main objective of this work was to provide a first evaluation of the geomorphological, chemical-physical and ecological conditions of the *Posidonia* meadow present along the Palasë coast on the slopes of the Llogorà pass (Vlora County, Albania, Southern Adriatic Sea), in carrying out the tasks and responsibilities required for the "Evaluation of *P. oceanica* meadows along the coast of Palasë". In summer 2021, a first evaluation and mapping of the prairie along the coast of Palasë was carried out, as part of the project "Assessment of *P. oceanica* meadows in Palasë area" funded by the *Global Environment Facility* - RAC-SPA funded programme.

INTRODUZIONE

Tra le fanerogame marine si annoverano una sessantina di specie distribuite in tutto il mondo, almeno cinque di queste vivono proprio nel Mediterraneo e sono: *Cymodocea nodosa*, *Halophila stipulacea*, *Posidonia oceanica*, *Zostera marina* e *Z. noltii*. Tutte le fanerogame marine sono in grado di formare, su fondali sabbiosi ben illuminati ed ossigenati, estesi tratti di praterie sottomarine, ad una profondità generalmente compresa tra 0 e i circa -50 m. Il cosiddetto "limite inferiore" di una prateria sommersa (corrispondente alla massima batimetria ove si ritrovano ancora piante non isolate della prateria), generalmente, si

trova lungo un gradiente con direzione costa-mare aperto e parallelo alla costa. L'isobata che identifica il "limite inferiore" risulta molto variabile e la sua variabilità dipende strettamente da alcuni fattori: a) trasparenza dell'acqua e livello di torbidità, generalmente correlate ai livelli di produzione fitoplanctonica, quindi ai fenomeni di eutrofizzazione; b) la vicinanza di aree lagunari, estuarine o deltizie; c) l'efficienza fotosintetica, legata alla penetrazione della luce solare nella colonna d'acqua; d) gli eventuali livelli inquinamento presenti nelle acque; e) il livello degli impatti antropici legati alla pesca professionale (reti a strascico) e alla nautica diportistica (ancoraggio); f) la tipologia granulometrica del fondo e le caratteristiche geomorfologiche della linea di costa.

P. oceanica rappresenta la fanerogama marina più diffusa in Mediterraneo, andando a coprire circa 25.000/50.000 km² degli interi litorali (Fig. 1a+b), corrispondente a circa il 25% del fondale marino del *Mare Nostrum*. Più della metà dell'ossigeno totale prodotto a livello mediterraneo proviene dal mare: in gran parte, appunto, proprio dalle praterie di Posidonia. Per questi motivi *P. oceanica* è stata definita "il polmone verde del Mediterraneo", perché è una delle più importanti fonti di ossigeno, e non solo, fornite alle coste e poi all'atmosfera costiera.

Uno studio del *Mediterranean Advanced Research Institute* (IMEDEA) e della Fondazione BBVA, afferma che la popolazione mediterranea di Posidonia produce, in media, da un minimo di 14 a una media di 20 litri di ossigeno per metro quadrato, ogni singolo giorno. Il valore ecologico dei posidonieti, ossia delle praterie sommerse che vengono formate nel tempo da parte della *Posidonia oceanica* (L. Delile, 1813) è universalmente riconosciuto, a titolo di esempio si menziona il UNEP-MAP-Blue Plan, 2009.

Le praterie a *P. oceanica* rivestono un importante ruolo in quanto aree di elevata produzione primaria (con un valore di produzione media annua di carbonio pari a circa 400 gr per m² (Buia *et al.*, 1991, 2004; Duarte *et al.*, 1999; Pergent *et al.*, 1994). Inoltre, svolgono un ruolo di aree elettive per la riproduzione di molte specie marine e, in particolare, di *nursery* per il novellame di specie ittiche. Un altro ruolo significativo rivestito da questa peculiare formazione vegetale è quello di tipo regolatorio, nell'ambito dei processi sedimentari, in quanto partecipa direttamente alla fissazione dei nutrienti (nel ciclo del fosforo, del carbonio e dell'azoto), ma soprattutto essendo direttamente interessate nei sistemi di consolidamento dei sedimenti, grazie agli estesi impianti radicali, fungendo così anche da elemento di protezione del litorale, grazie all'effetto di smorzamento del moto ondoso (Pergent, 2006). Pertanto, diventa fondamentale acquisire dati al fine di comprendere le continue modificazioni insistenti sullo stato di conservazione delle praterie (ad esempio i processi gradualmente di avanzamento, arretramento e interruzione dei limiti suddetti), intimamente correlate all'uso del litorale e alle condizioni della linea di costa.

Il monitoraggio e la mappatura delle praterie delle fanerogame marine sono, perciò, attività indispensabili per la gestione delle stesse in ottica di tutela e protezione degli ambienti marino costieri. Per quanto a livello internazionale sia riconosciuto il ruolo delle praterie a Posidonia, ad oggi le informazioni disponibili sulla loro distribuzione geografica in Mar Mediterraneo sono ancora frammentarie, se non addirittura totalmente assenti a livello regionale in alcune aree e, certamente, per tutte le coste albanesi (UNEP-MAP-RAC/SPA, 2009). Le motivazioni alla base dell'assenza o frammentarietà di dati per quanto attiene la distribuzione

delle praterie di Posidonia sul territorio albanese, possono essere principalmente allo scarso investimento dedicato al suo monitoraggio, all'assenza o carenza di mezzi tecnici specifici, alle lacune di competenze a livello di *expertise* locali. Il presente lavoro fa parte degli interventi previsti nella proposta progettuale "Mappatura delle praterie di Posidonia oceanica lungo la parte alta della costa ionica in Albania" effettuati nell'area prospiciente il litorale di Palasë, *Green Coast Resort and Residence*. Tali indagini, effettuate nel mese di agosto 2021, hanno avuto lo scopo di individuare la presenza di Posidonia lungo il tratto di costa antistante Palasë, sulla base dei dati ottenuti in una prima ricognizione (2020) di implementare il livello di conoscenza sulla sua distribuzione, nonché di verificare lo stato attuale di vitalità della prateria nel suo complesso. Nell'ambito del presente lavoro è stata realizzata una cartografia tematica relativa alla fanerogama marina *P. oceanica* (GIS ready). Tale prodotto si configura come una prima e fondamentale base di partenza funzionale per tutte le attività di analisi, pianificazione, salvaguardia e protezione dell'area di Palasë (Fig. 1) che dovranno essere programmate e portate a termine nel prossimo futuro.

AREA DI STUDIO

Palasë è un villaggio del comune di Himarë, nella contea di Valona, posto alle pendici del passo del Llogara (Parco Nazionale), nella parte meridionale dell'Albania lungo la costa ionica sulla riviera albanese (Fig. 2a+b). Questa località è, infatti, un tratto di costa caratterizzato da una grande pregio naturalistico, che però risente della recente antropizzazione per via della crescente pressione urbanistica e turistica, e dei relativi effetti e impatti in termini di variazioni ambientali. Di seguito una immagine panoramica della costa di Palasë e Dhermi.

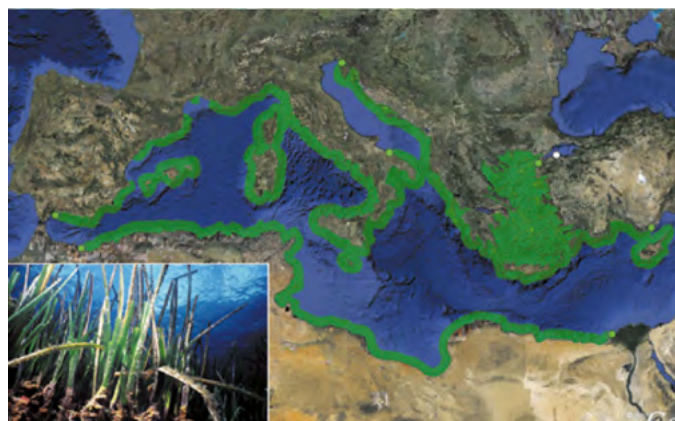


Figura 1 a + b - Posidonia oceanica nel bacino del Mediterraneo (IUCN)



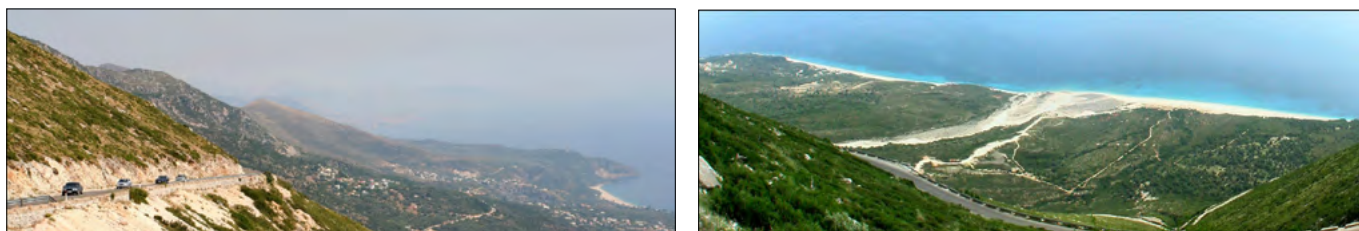


Figura 2 a-b. Costa di Palasë e Dhërmi, prese dall'alto del passo del Llogorà

MATERIALI E METODI

Le attività di rilevamento e campionamento funzionali al monitoraggio sono state condotte nel corso del mese di Agosto 2021. Per eseguire lo studio dei parametri strutturali della prateria di *P. oceanica*, ovvero le analisi dei campioni fenologici e lepidocronologici, sono state effettuate analisi fisiche su campioni d'acqua, prelevati durante le immersioni scientifiche (sulla base di metodologie di riferimento standard internazionali, ISPRA, 2010, 2014a, 2014b). Sono state individuate 5 stazioni e sono state posizionati, quindi, 5 *balise* lungo il limite superiore, tra loro a distanza nota (Fig. 3) (periodo di posizionamento: Maggio-Agosto 2020 per le stazioni St1, St2, St3, St4 e St5).

RISULTATI

Tutti i risultati hanno consentito di indicare come mediamente “buone” le condizioni dello stato ecologico dell'ambiente marino costiero e “buone” le condizioni della prateria di Posidonia sulla base delle classi di densità calcolate (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2015), come sintetizzato nella Tab. 1.

DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

Sebbene si tratti ancora di dati a carattere preliminare, si possono considerare come una prima linea di riferimento per quanto riguarda l'ecosistema a Posidonia antistante la costa di Palasë. Il suggerimento prioritario, che incarna anche la principale raccomandazione

cune stazioni che hanno mostrato uno scostamento dai valori ottimali. Il popolamento macrobentonico è risultato piuttosto scarso e caratteristico di quei sedimenti marini a matrice mista fangosabbiosa, i quali possono suggerire un certo livello di impatto sul sedimento (*silting* e sedimentazione), per cui un caratteristico popolamento di fondali con relativa scarsità di ossigenazione e soggetti a grande impatto e disturbo idrodinamico.

Nella zona indagata, infatti, anche durante il periodo estivo, è stata riscontrata una non ottimale trasparenza delle acque e una forte idrodinamicità, legata sia ai cicli di marea, ma soprattutto alle correnti e al moto ondoso, spesso forte e violento.

La struttura geomorfologica del fondale indagato restituisce a pieno gli impatti e disturbi fisici causati da una forte e costante idrodinamica, nonché dal disturbo antropico stagionale, quale ad esempio il periodo estivo durante il quale l'ancoraggio e l'ormeggio di numerosi mezzi nautici del complesso residenziale di Palasë, utilizzati per attività sportive e di intrattenimento, contribuiscono ad aumentare la discontinuità sia dei fondali, sia della vegetazione sommersa. In termini di caratteristiche strutturali, la grande maggioranza dell'area, infatti, a partire dalla profondità media di 10 m, appare caratterizzata da ampie aree sabbiose, povere in termini di biodiversità e di ricchezza floristica e faunistica (presenza di forte rarefazione del limite superiore della prateria, fino alla battigia), che terminano verso i primi 5 m lineari in prossimità della battigia, dove si accumulano massi, ciottoli e sedimenti più grossolani, depositati dal forte moto ondoso e dalle correnti che dal mare aperto spingono verso la costa.

I risultati delle analisi indicano la presenza di una prateria comunque in buone condizioni generali, configurandosi al contempo come uno dei tratti più in salute di tutte le coste albanesi, in modo particolare rispetto alle coste settentrionali (oggetto di studio di un monitoraggio (UNEP-MAP, Modugno *et al.*, 2021a, b, c, d). Desta preoccupazione l'arretramento del limite superiore, do-



Figura 3. Mappa delle stazioni di campionamento concordate con INCA e la Federazione Subacquea Albanese

La prateria di Palasë è stata studiata e mappata sulla base delle linee guida UNEP/MAP-RAC/SPA (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2015). Durante l'indagine in campo, effettuate in cinque stazioni (St, Tab.1) lungo 5 transetti, sono stati indagati e calcolati i seguenti descrittori:

- profondità-batimetria media dei limiti superiore e inferiore (m) della prateria,
- tipologia di geo-morfologia del substrato,
- natura del fondale,
- copertura % di *P. oceanica* viva e in salute
- densità di presenza delle radici.

degli autori, è di sviluppare un nuovo piano di monitoraggio, al fine di riuscire a seguire l'evoluzione temporale dello stato ecologico della prateria, anche in riferimento alle pressioni antropiche sempre più intense attualmente presenti lungo la costa di Palasë, Dhërmi fino a Saranda (sud dell'Albania) e ai cambiamenti climatici che sono già ben presenti.

Tutti i risultati ottenuti grazie alle analisi chimico-fisiche, unitamente alle osservazioni effettuate dai ricercatori scientifici subacquei, suggeriscono che si è in presenza di un ambiente caratterizzato da buoni valori ecologici, coerenti alle medie stagionali, a parte al-

Tabella 1. Sintesi dei principali descrittori (valori medi) per le stazioni indagate

St	Limite superiore (-m)	Limite inferiore (-m)	Tipo di substrato	Natura del fondale	% di copertura di P. oceanica viva	Densità delle radici	Valutazione basata sulla densità e profondità delle radici (UNEP/MAP-RAC/SPA, 2015)
1	-12,4	-27,4	sabbioso	un primo filone di costa costituito da ciottoli grossolani e massi rocciosi lisci; un breve accumulo di ghiaia al primo salto batimetrico; da -4/4,5 m fino al limite superiore (-12,4 m), lunghissima distesa di sabbia bianca con fango e particelle in sospensione; presenza iniziale di fasce, strisce, isola e molti vecchi canali e macchie di Posidonia semimorta fino al prato vero e proprio (-15/16 m)	50	450±12,75	Buono-moderato
2	-15,1	-29,3	sabbioso	un primo filone di costa costituito da ciottoli grossolani e massi rocciosi lisci; un breve accumulo di ghiaia al primo salto batimetrico; da -4/4,5 m fino al limite superiore (-15,1 m), lunghissima distesa di sabbia bianca con fango e particelle in sospensione; presenza iniziale di fasce, strisce, isola e molti vecchi canali e macchie di Posidonia semimorta fino al prato vero e proprio (-15/16 m)	46	522±25,88	Buono
3	-14,4	-32,2	sabbioso	un primo filone di costa costituito da ciottoli grossolani e massi rocciosi lisci; un breve accumulo di ghiaia al primo salto batimetrico; da -4/4,5 m fino al limite superiore (-14,4 m), lunga distesa di sabbia grossolana; presenza iniziale di fasce, strisce e macchie di Posidonia fino al prato vero e proprio (-15/16 m)	40	477±17,89	Buono
4	-12,6	-27,6	sabbioso	un primo filone di costa costituito da ciottoli grossolani e massi rocciosi lisci; un breve accumulo di ghiaia al primo salto batimetrico; da -4/4,5 m fino al limite superiore (-12,6 m), lunga distesa di sabbia grossolana; presenza iniziale di fasce, strisce, isole, canali e macchie di Posidonia fino al prato vero e proprio (-13,2/14,5 m)	37	470±15,81	Buono
5	-12,5	-24,3	roccioso, fango-sabbioso	un primo tratto di costa rocciosa costituito da falesie calcaree e granitiche e lastroni con ciottoli grossolani e massi accumulati fino a -7/9 m; un breve accumulo di ghiaia tra le rocce; da circa -7,5/8,5 m fino al limite superiore (-12,5 m), una distesa di sabbia e fango leggero; presenza iniziale di fasce, strisce e macchie con corridoi scavati di Posidonia fino al prato vero e proprio -12,4/13,5 m)	25	470±38,08	Buono

vuto sia a fenomeni idrodinamici, sia ad impatti antropici, riscontrato grazie al confronto con i dati preliminari ottenuti nell'ambito delle indagini preliminari e conoscitive effettuate nel 2019.

La densità della prateria in prossimità del limite superiore, dopo una prima parte caratterizzata da *matte* morte, canali *inter-matte* e *isole* relitte di Posidonia, raggiunge valori ecologici abbastanza buoni (Tab. 1) e questo nonostante il periodo di monitoraggio effettuato in estate (come richiesto da INCA, committente del lavoro), non certo il momento migliore per valutare lo stato di una prateria, pertanto sarebbe auspica-

bile in futuro un ulteriore confronto nel periodo primaverile o autunnale, al fine di validare alcune considerazioni finali sui dati fin qui ottenuti. E' evidente l'inizio di un fenomeno di rarefazione, probabilmente dovuto agli ormeggi di barche e ad una pesca a strascico effettuata sconsideratamente nel periodo non turistico, troppo sotto costa, fuori della stagione estiva. Il limite inferiore raggiunge buone profondità, ma tutta la prateria profonda tende a diventare molto rada all'aumentare della profondità: questo è tendenzialmente normale, ma sicuramente ci si aspettavano valori migliori.

In sintesi, il limite superiore, nonostante il buono stato, mostra segni di un iniziale fenomeno di erosione e cambiamento, per le cause sopra descritte, lo stato della prateria migliora lontano dal delta (asciutto) e dalle spiagge, il centro della prateria è buono, mentre il limite inferiore è in rarefazione: queste sono tutte informazioni che suggeriscono una degradazione complessiva della prateria considerata come un intero sistema.

Come indicato nelle raccomandazioni finali, la prateria di Posidonia di Palasè potrebbe essere considerata un possibile sito per avviare attività sperimentali di trapianto di piante di Posi-

donia e l'innesto di un tappeto sintetico (eventualmente), finalizzati alla creazione di un sistema vegetale strutturato per la difesa dell'erosione costiera in atto e con il serio pericolo di aumento significativo in concomitanza - e proporzionalmente - alla rarefazione della prateria e all'arretramento del limite superiore.

BIBLIOGRAFIA

- ARNAUD-HAOND, S., M. MIGLIACCIO, E. DIAZ-ALMELA, S. TEIXEIRA, M. S. VAN DE VLIET, F. ALBERTO, G. PROCACCINI, C.M. DUARTE AND E.A. SERRAO (2007), *Vicariance patterns in the Mediterranean Sea: east-west cleavage and low dispersal in the endemic seagrass Posidonia oceanica*. Journal of biogeography 34(6): 963-976.
- ASTIER J.M. (1984), *Impact des aménagements littoraux de la rade de Toulon, liés aux techniques d'endiguage, sur les herbiers à Posidonia oceanica*. In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRISSAC A., OLIVIER J. (Eds). First International Workshop on *Posidonia oceanica* beds, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 1: 255-259.
- AUGIER, H. (1985), *L'herbier à Posidonia oceanica, son importance pour le littoral méditerranéen, sa valeur comme indicateur biologique de l'état de santé de la mer, son utilisation dans la surveillance du milieu, les bilans écologiques et les études d'impact*. Vie marine 7: 85-113.
- BALATA, D., U. NESTI, L. PIAZZI AND F. CINELLI (2007), *Patterns of spatial variability of seagrass epiphytes in the north-west Mediterranean Sea*. Marine Biology 151(6): 2025-2035.
- BASSET A., SANGIORGIO F., PINNA M. (2004), *Monitoring with benthic macroinvertebrates: advantages and disadvantages of body size related descriptors*. Aquatic Conservation, Marine and Freshwater Ecosystems 14: 43-58.
- BAYYANA, SHARAD & PAWAR, SATISH & GOLE, SWAPNALI & DUDHAT, SOHINI & PANDE, ANANT & MITRA, DEBASHIS & JOHNSON, JEYARAJ & KUPPUSAMY, SIVAKUMAR. (2020), *Detection and mapping of seagrass meadows at Ritchie's archipelago using Sentinel 2A satellite imagery*. Current science. 118. 1275-1282.
- BELL, J. AND M. HARMELIN-VIVIEN (1983), *Fish fauna of French Mediterranean Posidonia oceanica seagrass meadows. II: feeding habits*. Tethys 11(1): 1-14.
- BLANC J.J., JEUDY DE GRISSAC A. (1989), *Réflexion géologique sur la régression des herbiers à Posidonies (départements du Var et des Bouches-du-Rhône)*. In: BOUDOURESQUE C.F., MEINESZ A., FRESI E., GRAVEZ V. (Eds). Second International Workshop on *Posidonia* beds, GIS Posidonie Publisher, Marseille, Fr., 2: 273-285.
- BORJA A, J. FRANCO, PÉREZ V. (2000), *A marine biotic index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments*. Marine Pollution Bulletin 40(12): 1100-1114.
- BOUDOURESQUE C.F. (1968), *Contribution à l'étude du peuplement épiphyte des rhizomes de Posidonies* (Posidonia oceanica Delile). Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, 43 (59): 45-64.
- BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. (2006), *Préservation et Conservation des herbiers à Posidonia oceanica*. RAMOGE pub.: 1-202.
- BOUDOURESQUE, C.F., G. BERNARD, P. BONHOMME, E. CHARBONNEL, G. DIVIACCO, A. MEINESZ, G. PERGENT, C. PERGENT-MARTINI, S. RUITTON AND L. TUNESI (2012), *Protection and conservation of Posidonia oceanica meadows*, RAMOGE and RAC/SPA.
- BOUDOURESQUE, C.F. (2013), *De Port-Cros à Port-Cros, en passant par Bruxelles: l'histoire d'un écosystème-miracle, l'herbier à Posidonia oceanica*. GIS Posidonie: plus de 30 ans au service de la protection et de la gestion du milieu marin. D. L. and B. C.F. Marseille, GIS Posidonie publi.: 31 - 35.
- BOUDOURESQUE, C.F. AND A. MEINESZ (1982), *Découverte de l'herbier de Posidonie*, Parc national du Port-Cros.
- BUIA, M.C., M. GAMBI AND M. DAPPIANO (2004), *Seagrass systems*. Biologia marina mediterranea 10(suppl): 133-183.
- BUIA M.C., GAMBI M.C., DAPPIANO M. (2003), *I sistemi a Fanerogame marine*. Biologia Marina Mediterranea, 10: 145-198.
- BUIA M.C., GAMBI M.C., ZUPO V. (2000), *Structure and functioning of Mediterranean seagrass ecosystems: an overview*. Biologia Marina Mediterranea 7: 167-190.
- BUIA, M. AND L. MAZZELLA (1991), *Reproductive phenology of the Mediterranean seagrasses Posidonia oceanica (L.) Delile, Cymodocea nodosa (Ucria) Aschers., and Zostera noltii Hornem*. Aquatic Botany 40(4): 343-362.
- BUIA, M.C., V. ZUPO AND L. MAZZELLA (1992), *Primary production and growth dynamics in Posidonia oceanica*. Marine Ecology 13(1): 2-16.
- CALMET, D., C.F. BOUDOURESQUE AND A. MEINESZ (1988), *Memorization of nuclear atmospheric tests by rhizomes and scales of the mediterranean seagrass Posidonia oceanica (Linnaeus) Delile*. Aquatic Botany 30(4): 279-294.
- CANCEMI, G., G. DE FALCO AND G. PERGENT (2003), *Effects of organic matter input from a fish farming facility on a Posidonia oceanica meadow*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 56(5): 961-968.
- CELEBI, B., A. GUCU, M. OK, S. SERDAR AND E. AKOGLU (2007), *Survival of the Posidonia oceanica cuttings transplanted into the northeastern Levant Sea*. Rapp Comm Int Mer Medit 38: 446.
- CAPIMONT A., PIAZZI L., PERGENT G. (2000), *Seasonal variations of total mercury in foliar tissues of Posidonia oceanica*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 80, 1119-1123.
- DAUBY P, BALE A.J., BLOOMER N., CANON C., LING R.D., NORRO A., ROBERTSON J.E., SIMON A., THÉATE J.M., WATSON A.J., FRANKIGNOULLE M. (1995), *Particle fluxes over a Mediterranean seagrass bed: a one-year sediment trap experiment*. Marine Ecology Progress Series, 126: 233-246.
- DELGADO, O., J. RUIZ, M. PÉREZ, J. ROMERO AND E. BALLESTEROS (1999), "Effects of fish farming on seagrass (*Posidonia oceanica*) in a Mediterranean bay: seagrass decline after organic loading cessation." Oceanologica Acta 22(1): 109-117.
- DE VILLÈLE X, VERLAQUE M (1995), *Changes and degradation in a Posidonia oceanica bed invaded by the introduced tropical alga Caulerpa taxifolia in the north western Mediterranean*. Botanica Marina, 38:79-87.
- DUARTE C.M. (1991), *Seagrass depth limits*. Aquatic Botany, 40: 363-377.
- Duarte, C.M. (2002), *The future of seagrass meadows*. Environmental conservation 29(2): 192-206.
- DUARTE, C.M. AND C.L. CHISCANO (1999), *Seagrass biomass and production: a reassessment*. Aquatic Botany 65(1): 159-174.
- DUARTE, C. M., J. J. MIDDELBURG AND N. CARACO (2005), *Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle*. Biogeosciences 2(1): 1-8.
- FERRAT, L., M. ROMEO, M. GNASSIA-BARELLI AND C. PERGENT-MARTINI (2002), *Effects of mercury on antioxidant mechanisms in the marine phanerogam Posidonia oceanica*. Diseases of aquatic organisms 50(2): 157-160.
- FERREIRA J. G., VALE C., SOARES C. V., SALAS F., STACEY P. E., BRICKER S. B., SILVA M. C., MARQUES J. C. (2007), *Monitoring of coastal and transitional waters under the E.U. Water Framework Directive*. Environmental Monitoring Assessment, 135: 195-216.
- FONSECA M.S., KOEHL M.A.R., KOPP B. S. (2007), *Biomechanical factors contributing to self-organization in seagrass landscapes*. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 340: 227-246.
- FRANCOUR P. (1997), *Fish assemblages of Posidonia oceanica beds at Port Cros (France, NW Mediterranean): Assessment of composition and long-term fluctuations by visual census*. Marine Ecology, PSZNI, 18(2): 157-173.
- GAMBI, M., A. GIANGRANDE, L. CHessa, R. MANCONI AND M. SCARDI (1989), *Distribution and ecology of polychaetes in the foliar stratum of a Posidonia oceanica bed in the bay of Porto Conte (NW Sardinia)*.
- GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G.F., SCIPIONE M.B., ZUPO V. (1992), *Depth and seasonal distribution of some groups of the vagile fauna of Posidonia oceanica leaf stratum: structural and trophic analyses*. P.S.Z.N.I. Marine Ecology, 13(1): 17-40.
- GAMULIN-BRIDA, H. (1974), *Les biocénoses benthiques de la Mer Adriatique*. Acta Adriatica 15(9): 1-103.
- GIAKOUMI, S., M. SINI, V. GEROVASILEIOU, T. MAZOR, J. BEHER, H. P. POSSINGHAM, A. ABDULLA, M. E. ÇINAR, P. DENDRINOS AND A. C. GUCU (2013), *Ecoregion-based conservation planning in the Mediterranean: dealing with large-scale heterogeneity*. PloS one 8(10): e76449.

- GRASSHOFF, K. (1976), *Methods of seawater analysis*. Verlag Chemie, Weinheim. 307 pp.
- GREEN, E. AND F. SHORT (2003), *World Atlas of Seagrasses*. Prepared by the UNEP World Conservation Monitoring Centre. University of California, Press Berkeley, USA.
- GRIFFITHS R. W. (1991), *Environmental quality assessments of the St Clair River as reflected by the distribution of benthic macroinvertebrates in 1985*. Hydrobiologia 219: 143-164.
- HAWKES H. A. (1979), *Invertebrates as indicator of river water quality*. In: JAMES A., EVISON L. (Eds). *Biological Indicators of Water Quality*. John Wiley, Chichester, pp. 17-61.
- ISPRA (2010), *Formazione e gestione delle banquettes di Posidonia oceanica sugli arenili*. Manuali e Linee Guida: 55/2010. 124 pp.
- ISPRA AA.VV (2014a), *Elementi per l'aggiornamento delle norme tecniche in materia di valutazione ambientale*. Manuali e Linee Guida 109/2014.
- ISPRA AA.VV (2014b), *Conservazione e gestione della naturalità negli ecosistemi marino-costieri. Il trapianto delle praterie di Posidonia oceanica*. Manuali e Linee Guida 106/2014.
- JEUDY DE GRISSAC A. (1979), *Impact des aménagements littoraux. Installations portuaires, plages artificielles. Quelques exemples provençaux*. Contrat GEOMER: 1-46.
- JEUDY DE GRISSAC A. (1984a), *Effets des herbiers à Posidonia oceanica sur la dynamique marine et la sédimentologie littorale*. In: BOUDOURESQUE C.F., JEUDY DE GRIS-SAC A., OLIVIER J. (Eds). *International Workshop on Posidonia oceanica beds*, GIS Posidonie publ., Fr., 1: 437-443.
- JEUDY DE GRISSAC, A. AND C. BOUDOURESQUE (1985), *Rôles des herbiers de phanérogames marines dans les mouvements des sédiments côtiers: les herbiers à Posidonia oceanica*. Les aménagements côtiers et la gestion du littoral, Coll. pluridisciplinaire franco-japonais océanographie: 143-151.
- LARKUM, A. W., A. McCOMB AND S. SHEPARD (1989), *Biology of seagrasses: a treatise on the biology of seagrasses with special reference to the Australian region*, Elsevier Science Pub.
- LARKUM A.W.D., WEST R.J. (1983), *Stability, depletion and restoration of seagrass beds*. Proc. Linn. Soc. NSW, 106: 201-212.
- LEONI, V., V. PASQUALINI AND C. PERGENT-MARTINI (2003), *Descriptors of Posidonia oceanica meadows: general overview*. Proceedings of the Sixth International Conference on the Mediterranean Coastal Environment, MEDCOAST.
- LORENTI, M., M. C. BUIA, V. DI MARTINO AND M. MODIGH (2005), *Occurrence of mucous aggregates and their impact on Posidonia oceanica beds*. Science of the total environment 353(1): 369-379.
- LORING, D.H. & R.T.T. RANTALA (1992), *Manual for geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter*. Earth Sci. Rev., 32: 235-283.
- MANZANERA M., PÉREZ M., ROMERO J. (1998), *Seagrass mortality due to over sedimentation: an experimental approach*. Journal of Coastal Conservation, 4: 67-70.
- MARBÀ N., DUARTE C.M. (1997), *Interannual changes in seagrass (Posidonia oceanica) growth and environmental change in the Spanish Mediterranean littoral zone*. Limnology and Oceanography, 42: 800-810.
- MARBÀ N AND DUARTE CM (1998), *Rhizome elongation and seagrass clonal growth*. Marine Ecology Progress Series 174: 269-280
- MARBÀ, N., R. SANTIAGO, E. DÍAZ-ALMELA, E. ÁLVAREZ AND C. M. DUARTE (2006), *Seagrass (Posidonia oceanica) vertical growth as an early indicator of fish farm-derived stress*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 67(3): 475-483.
- MATTM (2008), *Praterie a fanerogame marine*. Piante con fiori nel Mediterraneo – Quaderni habitat.
- MAZZELLA, L., M. GAMBI, G. RUSSO AND K. WITTMANN (1983), *Flowering in Posidonia oceanica (L.) Delile prairies around the Island of Ischia (Gulf of Naples)*. RAPP. P.-V. REUN. CIESM. 28(3): 117-119.
- MAZZELLA L., SCIPIONE M.B., BUIA M.C. (1989), *Spatio-temporal distribution of algal and animal communities in a Posidonia oceanica (L.) Delile meadow*. Marine Ecology, P.S.Z.N.I., 10: 107-131.
- MAZZELLA L., BUIA M.C., GAMBI M.C., LORENTI M., RUSSO G., SCIPIONE M.B., ZUPO V. (1992), *Plant-animal trophic relationships in the Posidonia oceanica ecosystem*. In: CINELLI F., FRESI E., LORENZI C., MUCEDOLA A. (Eds). *La Posidonia oceanica*, Rivista marittima publ., Ital., 12 (suppl): 31-47.
- MCLEOD, E., CHMURA, G.L., BOUILLON, S., SALM, R., BJÖRK, M., DUARTE, C.M., LOVELOCK, C.E., SCHLESINGER, W.H., SILLIMAN, B.R. (2011), *A blueprint for blue carbon: toward an imprecise understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂*. Frontiers in Ecology and the Environment 9, 552-560.
- MEESTERS, E.H., M. HILTERMAN, E. KARDINAAL, M. KEETMAN, M. DE VRIES, AND R. P. M. BAK (2001), *Colony size-frequency distributions of scleractinian coral populations: spatial and interspecific variation*. Mar. Ecol. Prog. Ser. 209: 43-54.
- MEINESZ A., LAURENT R. (1978), *Cartographie et état de la limite inférieure de l'herbier de Posidonia oceanica dans les Alpes-Maritimes*. Campagne Poséidon 1976. Botanica Marina, 21(8): 513-526.
- MEINESZ, A., G. CAYE, F. LOQUES AND H. MOLENAAR (1993), *Polymorphism and development of Posidonia oceanica transplanted from different parts of the Mediterranean into the National Park of Port-Cros*. Botanica marina 36(3): 209-216.
- MEINESZ, A., Ş. CIRIK, B. AKCALI, F. JAVEL, M. MIGLIACCIO, T. THIBAUT, A. YÜKSEK AND G. PROCACCINI (2009), *Posidonia oceanica in the Marmara Sea*. Aquatic Botany 90(1): 18-22.
- MONTEFALCONE M., MORRI C., PEIRANO A., ALBERTELLI G., BIANCHI C.N. (2007), *Substitution and phase-shift in Posidonia oceanica meadows of NW Mediterranean Sea*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 75: 63-71.
- MONTEFALCONE, M., M. CHIANTORE, A. LANZONE, C. MORRI, G. ALBERTELLI AND C. N. BIANCHI (2008), *BACI design reveals the decline of the seagrass Posidonia oceanica induced by anchoring*. Marine Pollution Bulletin 56(9): 1637-1645.
- MONTEFALCONE M. (2009), *Ecosystem health assessment using the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica: a review*. Ecological Indicators, 9: 595-604.
- MONTEFALCONE M., ALBERTELLI G., MORRI C. AND BIANCHI, C.N. (2010), *Patterns of wide-scale substitution within meadows of the seagrass Posidonia oceanica in NW Mediterranean Sea: invaders are stronger than natives*. Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 20: 507-515.
- OBURA, D. (2014), *Coral Reef Monitoring Manual South-West Indian Ocean islands*. France: Indian Ocean Commission.
- OBURA, D.O. AND GRIMSDITCH, G. (2009), *Resilience Assessment of coral reefs – Assessment protocol for coral reefs, focusing on coral bleaching and thermal stress*. IUCN working group on Climate Change and Coral Reefs. IUCN, Gland, Switzerland. www.iucn.org/cccr/publications. 70 pages. ISBN: 978-2-8317-1151-5.
- OBURA, D., AEBY, G., AMORNTHAMMARONG, N., APPELLTANS, W., BAX, N., BISHOP, J., et al. (2019), *Coral Reef Monitoring, Reef Assessment Technologies, and Ecosystem-Based Management*. Front. Mar. Sci. 6:580. doi: 10.3389/fmars.2019.00580.
- ORTH, R. J., T. J. CARRUTHERS, W. C. DENNISON, C. M. DUARTE, J. W. FOURQUREAN, K. L. HECK JR, A. R. HUGHES, G. A. KENDRICK, W. J. KENWORTHY AND S. OLYARNIK (2006), "A global crisis for seagrass ecosystems." Bioscience 56(12): 987-996.
- PASQUALINI, V., C. PERGENT-MARTINI, P. CLABAUT AND G. PERGENT (1998), *Mapping of Posidonia oceanica using Aerial Photographs and Side Scan Sonar: Application off the Island of Corsica (France)*. Estuarine, Coastal and Shelf Science 47(3): 359-367.
- PÉREZ-LLORENS, J. L., J. J. VERGARA, I. OLIVÉ, J. M. MERCADO, R. CONDE-ÁLVAREZ, Á. PÉREZ-RUZAFÁ AND F. L. FIGUEROA (2014), *Autochthonous Seagrasses*. The Mediterranean Sea, Springer: 137-158.
- PERGENT, G. (1991), *Les indicateurs écologiques de la qualité du milieu marin en Méditerranée*. Océanis 17(4): 341-350.
- PERGENT G., ROMERO J., PERGENT-MARTINI C., MATEO M.A., BOUDOURESQUE C.F. (1994), *Primary production, stocks and fluxes in the Mediterranean seagrass Posidonia oceanica*. Marine Ecology Progress Series, 106: 139-146.
- PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., BOUDOURESQUE C.F. (1995), *Utilisation de l'herbier à Posidonia oceanica comme indicateur biologique de la qualité du milieu littoral en Méditerranée: état des connaissances*. Mésogée 54: 3-27.
- PERGENT-MARTINI C., RICO-RAIMONDINO V., PERGENT G. (1994), *Primary produc-*

- tion of *Posidonia oceanica* in the Mediterranean basin. *Marine Biology*, 120: 9-15.
- PERGENT-MARTINI, C. (1998), *Posidonia oceanica: a biological indicator of past and present mercury contamination in the Mediterranean Sea*. *Marine Environmental Research* 45(2): 101- 111.
- PERGENT-MARTINI, C. AND G. PERGENT (2000), *Marine phanerogams as a tool in the evaluation of marine trace-metal contamination: an example from the Mediterranean*. *International Journal of Environment and Pollution* 13(1-6): 126-147.
- PERGENT, G., R. LEONARDINI, C. LOPEZ Y ROYO, B. MIMAUULT AND C. PERGENT-MARTINI (2008), *Mise en oeuvre d'un Réseau de Surveillance Posidonies le long du littoral de la Corse-Rapport de synthèse 2004-2008*. Contrat office de l'Environnement de la Corse et GIS Posidonie centre de Corse, GIS Posidonie Publ., Corte: 1-273.
- PERGENT G, R SEMROUD, A DJELLOULI, H LANGAR, CM DUARTE (2010), *The IUCN Red List of Threatened Species - Posidonia oceanica*. URL: <http://www.iucnredlist.org/details/summary/153534/0>.
- PERGENT G. (2006), *Le rôle des herbiers à Posidonia oceanica*. In: *Préservation et conservation des herbiers à Posidonia oceanica*, BOUDOURESQUE C.F., BERNARD G., BONHOMME P., CHARBONNEL E., DIVIACCO G., MEINESZ A., PERGENT G., PERGENT-MARTINI C., RUITTON S., TUNESI L. (Eds). RAMOGE Publ., Monaco : 25-31.
- PIAZZI L, BALATA D., CINELLI F. (2002), *Epiphytic macroalgal assemblages of Posidonia oceanica rhizomes in the western Mediterranean*. *European Journal of Phycology*, 37: 69-76.
- PINNA M., GRAVILI L., BASSET A. (2007), *Response of benthic macroinvertebrate community descriptors to chemical pollution in the aquatic ecosystems of Fiume Grande and Punta della Contessa saltpans (Brindisi, Italy)*. In: PINNA M., URICCHIO V. F., ARESTA M. AND BASSET A. (Eds). *Rivers and citizens, cross-border experiences in environmental protection and sustainable development*, Coordinamento SIBA, Università del Salento, ISBN 978-88-8305-049-7, pp. 107- 117.
- PROCACCINI, G. AND L. MAZZELLA (1998), *Population genetic structure and gene flow in the seagrass Posidonia oceanica assessed using microsatellite analysis*. *Marine Ecology Progress Series* 169: 133-141.
- PROCACCINI G., ALBERTE R. S., MAZZELLA L. (1996), *Genetic structure of the seagrass Posidonia oceanica in the Western Mediterranean: ecological implications*. *Marine Ecology Progress Series* 140: 153-160.
- PROCACCINI G., PIAZZI L. (2001), *Genetic Polymorphism and Transplantation Success in the Mediterranean Seagrass Posidonia oceanica*. *Restoration Ecology*, 9 (3): 332-338.
- RUIZ, J. M., M. PÉREZ AND J. ROMERO (2001), *Effects of fish farm loadings on seagrass (Posidonia oceanica) distribution, growth and photosynthesis*. *Marine Pollution Bulletin* 42(9): 749-760.
- RUIZ, J. AND J. ROMERO (2003), *Effects of disturbances caused by coastal constructions on spatial structure, growth dynamics and photosynthesis of the seagrass Posidonia oceanica*. *Marine Pollution Bulletin* 46(12): 1523-1533.
- ROMERO, J., G. PERGENT, C. PERGENT-MARTINI, M. A. MATEO AND C. REGNIER (1992), *The detritic compartment in a Posidonia oceanica meadow: litter features, decomposition rates, and mineral stocks*. *Marine Ecology* 13(1): 69-83.
- SALAS F., NETO J. M., BORJA A., MARQUES J. C. (2004), *Evaluation of the applicability of a marine biotic index to characterize the status of estuarine ecosystems: The case of Mondego estuary (Portugal)*. *Ecological Indicators* 4: 215-225.
- SIMEONE S., DE FALCO G. (2013), *Posidonia oceanica banquette removal: sedimentological, geomorphological and ecological implications*. *Journal of Coastal Research, Special issue no. 65*: 1045-1050.
- STEPHANE, S. AND B. COLOMBE (2012), *Habitats particuliers de l'infralittoral: herbier à Posidonia oceanica. Sous-région marine Méditerranée occidentale. Evaluation initiale DCSMM*. MEDDE, AAMP, Ifremer, Ref. DCSMM/EI/EE/MO/23/2012, 13p.
- STRICKLAND, J.D.H. & T.R. PARSONS (1972), *A practical handbook of seawater analysis*. *Bull. Fish. Res. Board Can.*, 167:1-310.
- TELESCA, L., BELLUSCIO, A., CRISCOLI, A. et al. (2015), *Seagrass meadows (Posidonia oceanica) distribution and trajectories of change*. *Sci Rep* 5, 12505. <https://doi.org/10.1038/srep12505>.
- TERRADOS, J. AND N. MARBÀ (2006), *Is the vegetative development of the invasive chlorophycean, Caulerpa taxifolia, favored in sediments with a high content of organic matter?*. *Botanica marina* 49(4): 331-338.
- UNEP-MAP RAC/SPA (2009a), *State of knowledge on the distribution of marine magnoliophyta meadows in the Mediterranean Sea*. LEONARDINI R., PERGENT G., BOUDOURESQUE C.F. (Eds). *Information document for the 9th meeting of the SPA national focal points*, Floriana - Malta, 3 - 6 June 2009, CAR/ASP Publ., UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.5: 1-376.
- UNEP-MAP RAC/SPA (2009b), *Project report MedPosidonia*. RAIS C., PERGENT G., DUPUY DE LA GRANDRIVE R., DJELLOULI A. (Eds). *Information document for the 9th meeting of the SPA national focal points*, Floriana - Malta, 3 - 6 June 2009, CAR/ASP Publ., UNEP(DEPI)/MED WG.331/Inf.11: 1-107 + ann.
- UNEP-MAP-Blue Plan (2009), *State of environment and development in the Mediterranean Sea*. UNEP-MAP-Blue Plan publ., Athènes : 212p.
- UNEP/MAP-RAC/SPA (2015), *Guidelines for Standardization of Mapping and Monitoring Methods of Marine Magnoliophyta in the Mediterranean*. Christine Pergent-Martini, Edits., RAC/SPA publ., Tunis: 48 p. + Annexes
- UNEP/MAP-SPA/RAC-PAP/RAC, MEDPOL and NAPA (2021a), *Summary report on the results of the marine survey in Patok Rodoni bay (Albania)* by GENC MYFTIU, SIMONE MODUGNO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, UBALDO PANTALEO, MONICA PREVIATI, LUCA SARDI, ANDREA ROMAN, MARCO PALMA, CARLO DEL GRANDE, ALFRED VELAJ, IGLI PUSTINA AND VALBONA SIMIXHIU (Eds). SPA/RAC - GEF Adriatic project. 20 pp
- UNEP/MAP-SPA/RAC-PAP/RAC, MEDPOL and NAPA (2021b), *Report on the results of the marine survey in Patok Rodoni bay (Albania), Annexes*, by GENC MYFTIU, SIMONE MODUGNO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, UBALDO PANTALEO, MONICA PREVIATI, LUCA SARDI, ANDREA ROMAN, MARCO PALMA, CARLO DEL GRANDE, ALFRED VELAJ, IGLI PUSTINA AND VALBONA SIMIXHIU (Eds). SPA/RAC - GEF Adriatic project. 1-186 pp
- UNEP/MAP-SPA/RAC-PAP/RAC, MEDPOL and NAPA (2021c), *Summary report on the results of the marine survey in Patok-Rodoni bay (Albania)* by GENC MYFTIU, SIMONE MODUGNO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, UBALDO PANTALEO, MONICA PREVIATI, LUCA SARDI, ANDREA ROMAN, MARCO PALMA, CARLO DEL GRANDE, ALFRED VELAJ, IGLI PUSTINA AND VALBONA SIMIXHIU (Eds). SPA/RAC - GEF Adriatic project. 18 pp
- UNEP/MAP-SPA/RAC-PAP/RAC, MEDPOL and NAPA (2021d), *Report on the results of the marine survey in Patok Rodoni bay (Albania)* by GENC MYFTIU, SIMONE MODUGNO, ALAIN JEUDY DE GRISSAC, UBALDO PANTALEO, MONICA PREVIATI, LUCA SARDI, ANDREA ROMAN, MARCO PALMA, CARLO DEL GRANDE, ALFRED VELAJ, IGLI PUSTINA AND VALBONA SIMIXHIU (Eds). SPA/RAC - GEF Adriatic project. 1-106 pp
- VACCHI, M., G. DE FALCO, S. SIMEONE, M. MONTEFALCONE, C. MORRI, M. FERRARI AND C. N. BIANCHI (2016), *Biogeomorphology of the Mediterranean Posidonia oceanica seagrass meadows*. *Earth Surface Processes and Landforms*.
- VASSALLO P, C PAOLI, A ROVERE, M MONTEFALCONE, C MORRI, CN BIANCHI (2013), *The value of the seagrass Posidonia oceanica: A natural capital assessment*. *Marine Pollution Bulletin*, Volume 75, pages 157- 167.

Prime linee guida di Pianificazione Spaziale Marina (MSP) per la baia di Valona, Albania

First Marine Spatial Planning (MSP) guidelines for Vlora bay, Albania

Parole chiave: Pianificazione Spaziale Marina, competizione, spazio marittimo, attività umane, linee guida

Key words: Marine Spatial Planning, competition, marine space, human activities, guidelines

RIASSUNTO

L'uso del suolo e la *Pianificazione dello Spazio Marino* (MSP: *Marine Spatial Planning*) sono spesso considerati due strumenti separati. Nel concetto di *Gestione Integrata delle Zone Costiere* (GIZC), invece, risultano inevitabilmente e strettamente correlati. La MSP rappresenta il processo di analisi funzionale per allocare la distribuzione spaziotemporale delle attività umane nelle aree marine, allo scopo di raggiungere obiettivi ecologici, economici e sociali prefissati e comuni. Il livello di sfruttamento dello spazio marittimo attuale sta evidenziando la necessità di gestire le acque albanesi in modo più coerente e programmatico per il futuro. Poiché la MSP lavora oltre confine, per garantire che tutte le attività umane in mare si svolgano in modo efficiente, sicuro e sostenibile, l'Unione Europea ha adottato da tempo una legislazione specifica al riguardo, pensata per creare un quadro comune Europeo della *Pianificazione dello Spazio Marittimo*. Nell'ambito del progetto oggetto di questa pubblicazione, durante il rapporto di valutazione iniziale preliminare della MSP dell'area di Valona in Albania (condotto nel periodo 2019-2020), finanziato dal Centro di Attività Regionale per le Aree Specialmente Protette (SPA/RAC) e implementato dalla società albanese "Genc Myftiu Consulting and Development", sono state preparate le prime Linee Guida del processo MSP specifiche per la nazione Albania, rispettando sempre il fatto di essere nell'ambito anche del quadro IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*), oltre che nell'ambito del Protocollo ICZM (*Integrated Coastal Management Programme*) e del Decision MSP. Secondo la Commissione Europea, in estrema sintesi, la MSP deve soddisfare quattro

obiettivi prioritari: a) ridurre i conflitti sull'accesso agli spazi marittimi; b) ridurre l'impatto cumulativo delle attività sull'ambiente mare; c) ridurre i costi di coordinamento per le autorità pubbliche; d) migliorare la prevedibilità per gli investimenti privati. Nell'ambito del progetto presentato in questo testo, si è lavorato per la definizione delle prime Linee Guida per la *Pianificazione Spaziale Marittima* albanese, cercando di ottemperare tutte le indicazioni europee sulla MSP, ma nello stesso tempo di renderle facili e fattibili da seguire ed eseguire. Le Linee Guida redatte per l'Albania, a partire dal caso studio della baia di Valona, sono state preparate allo scopo di rendere possibile l'implementazione della MSP basata su cartografia georiferita e sui sistemi GIS e ha previsto anche attività di monitoraggio e valutazione delle stesse. Le attività di monitoraggio e gestione devono essere svolte da un team multidisciplinare capace di rappresentare tutti gli *stakeholders*, in particolare: esperti giuridici, rappresentanti istituzionali, esperti tecnico-scientifici, rappresentanti della compagine sociale, economica, educativa e di comunicativa, supervisionati da un consiglio composto da rappresentanti dei principali ministeri/amministrazioni interessate. Questa pubblicazione vuole chiarire il processo del flusso di lavoro che ha portato il nostro team alla realizzazione delle Prime Linee Guida sulla PSM.

ABSTRACT

Land use and *Marine Spatial Planning* (MSP) are often considered two separate tools. In the concept of *Integrated Coastal Zone Management* (ICZM), on the other hand, both are inevitably and closely related. The MSP represents the analysis process to allocate

Simone Modugno¹, Rachele Castro², Alain Jeudy De Grissac³, Genc Myftiu⁴, Zamir Dedej⁵, Anis Zarrouk⁶

¹ Consulta Ambiente IRSSAT

² Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - CNR-IRIB

³ Senior Expert

⁴ Team leader Genc Myftiu Company

⁵ The National Agency of Protected Areas (NAPA)

⁶ UNEP/MAP-SPA/RAC Specially Protected Areas Regional Activity Centre

¹ Corresponding author

E-mail: moder1976@gmail.com

the spatio-temporal distribution of human activities in marine areas, in order to achieve pre-established and common ecological, economic and social objectives. The state of the competition for the current maritime space, and therefore the current level of exploitation, have highlighted the need to manage Albanian waters in a more coherent and programmatic way for the future. As the MSP works across borders to ensure that all human activities at sea take place efficiently, safely and sustainably, the European Union has long since adopted specific legislation, designed to create a common European framework for *Maritime Spatial Planning*. In this project, during the preliminary initial assessment report of the MSP of the Vlora area in Albania (conducted in the period 2019-2020), funded by the Regional Activity Center for Specially Protected Areas (SPA/RAC) and implemented by the Albanian company "Genc Myftiu Consulting and Development", the first specific Guidelines of the MSP process have been prepared for Albania, always respecting the fact that they are also within the framework of the IMAP (*Integrated Monitoring Assessment Programme*), ICZM Protocol (*Integrated Coastal Management Programme*) and Decision MSP. According to the European Commission, in a nutshell, MSP must satisfy four priority objectives: a) reduce conflicts on access to maritime spaces; b) reduce the cumulative impact of maritime activities on the environment; c) reduce coordination costs for public authorities; d) improve predictability for private investment. In the course of the work presented in this text, efforts have been made to define the first guidelines for Albanian MSP, trying to comply with all European indications on MSP, but at the same

time making them easy and feasible to follow and execute. The Guidelines prepared for Albania, starting from the case study of the Bay of Vlora, have been prepared in order to make possible the implementation of MSP based on GIS cartography, including regular monitoring and evaluation. Monitoring and administration must be carried out by a team composed of legal, institutional, scientific, social, economic, educational and communication experts, supervised by a board composed of representatives of the main ministries/administrations concerned. This publication defines the workflow process that led our team to the implementation of the First Guidelines on PSM.

INTRODUZIONE

La Direttiva 2014/89/EU del Consiglio e del Parlamento Europeo del 23 Luglio 2014 che istituisce il quadro per la pianificazione dello spazio marittimo (MSP) invita gli Stati membri ad elaborare e attuare la pianificazione dello spazio marittimo, prendendo in considerazione gli aspetti economici, sociali e ambientali al fine di favorire uno sviluppo e una crescita sostenibili nel settore marittimo, applicando un approccio ecosistemico e promuovendo la coesistenza delle varie attività e dei relativi usi che ricadono sul mare e le coste. In particolare l'obiettivo primario è quello di assicurare uno sviluppo sostenibile dei settori energetici del mare, dei trasporti marittimi e del settore della pesca e dell'acquacoltura, per la conservazione, la tutela e il miglioramento dell'ambiente, compresa la resilienza all'impatto del cambiamento climatico. La Direttiva chiede agli Stati di elaborare dei piani di gestione dello spazio marittimo che individuano la distribuzione spaziale e temporale delle pertinenti attività e dei pertinenti usi delle loro acque marine.

La MSP invita gli Stati membri ad operare per far sì che tutte le attività antropiche, in essere sulla costa e sul mare, possano svolgersi in modo efficiente, sicuro e sostenibile tra loro.

La recente e continua competizione per lo spazio marino lungo le coste dell'Albania (Paese confinante con l'Italia per l'area marittima A/9 identificata dal Piano dello Spazio Marittimo dell'Area Marittima "Adriatico") e le relative crescenti pressioni ambientali, hanno evidenziato la necessità di gestire gli spazi marittimi e le zone marino-costiere secondo modalità coerenti con la Direttiva MSP. Sulla base del rapporto di valutazione iniziale per l'applicazione

della MSP effettuata per la baia di Valona (progetto pilota UNEP-MAP, SPA-RAC, IMELS e AKZM per un primo tentativo di applicazione della MSP in Albania) e grazie alla redazione delle *Prime Linee Guida per la Pianificazione Spaziale Marittima per l'Albania*, realizzato dalla società "Genc Myftiu" (*Genc Myftiu Consulting on Development*) e dai suoi consulenti internazionali (Modugno *et al.*, 2019, 2021; UNEP-MAP 2019, 2020), durante lo svolgimento di uno specifico progetto finanziato dal *Centro di Attività Regionale delle Aree Speciali Protette (SPA/RAC Regional Activity Centre for Specially Protected Areas)*, è stato applicato tutto il processo di MSP nell'ambito dell'*Integrated Monitoring Assessment Programme (IMAP)*, del Protocollo GIZC (Gestione integrata delle zone costiere) e della Strategia Marina (MSFD, *Marine Strategy Framework Directive* con la *MSP Decision*).

La pianificazione dell'uso del suolo e la pianificazione dello spazio marino sono spesso considerate, in modo erroneo, due strumenti diversi, tra loro distanti e separati. Nel concetto di *Gestione Integrata delle Zone Costiere (GIZC)*, al contrario, entrambi rappresentano protocolli essenziali, che devono essere strettamente collegati.

La MSP è un processo che tiene conto di tutti gli *stakeholders* e di ogni aspetto collegato agli spazi marini (tra cui energia, industria, governi, conservazione e attività ricreative), in modo da prendere decisioni informate, condivise e coordinate su come utilizzare le risorse marine, sempre in modo sostenibile. La MSP, generalmente, prevede la realizzazione e l'utilizzo di una cartografia tematica e di sistemi basati sul GIS, al fine di creare e restituire informazioni utili ad una visione globale più completa e "interattiva" per quanto riguarda una specifica area marina, identificando dove e come viene utilizzata l'area marina e quali risorse naturali e habitat sono in essa presenti: è un processo che può apparire quasi simile a quello relativo alla pianificazione territoriale, ma applicato, infatti, alle acque marine e alle aree costiere. Attraverso il processo di pianificazione e mappatura dell'ecosistema marino, i pianificatori e i gestori possono e devono tenere conto dell'effetto cumulativo delle attività marittime; devono cercare di rendere queste ultime più sostenibili, in modo da minimizzare in modo proattivo i conflitti tra tutti coloro i quali sono interessati ad utilizzare la stessa area marina. Questo processo è riassunto nella definizione della

Commissione europea (CE) dei quattro obiettivi della MSP: i) ridurre i conflitti sull'accesso allo spazio marittimo, ii) ridurre l'impatto cumulativo delle attività marittime sull'ambiente, iii) ridurre i costi di coordinamento per le autorità pubbliche e, iv) migliorare la prevedibilità per gli investimenti privati.

Nell'ambito delle attività di pianificazione dello spazio marino (MSP) e ai sensi dell'accordo di cooperazione (IMELS), SPA/RAC in coordinamento con PAP/RAC, hanno sostenuto l'attuazione della MSP e della gestione integrata delle zone costiere (ICZM) in Albania attraverso un progetto pilota per la baia di Valona. Tale progetto pilota riveste particolare importanza per l'Albania, in quanto ha rappresentato uno dei primi sforzi verso l'attuazione della MSP.

Il risultato più notevole del progetto è stato lo sviluppo dello studio preliminare per l'applicabilità della MSP nell'area di Valona e la preparazione delle Linee Guida Preliminari per la futura elaborazione e implementazione della MSP in Albania. Una stretta collaborazione tra SPA/RAC e NAPA (*National Agency of Protected Areas*) ha consentito il coinvolgimento di diverse parti interessate in questo lavoro.

Il presente studio ha portato all'elaborazione di elaborati GIS layers relativi ad attività umane, aree sensibili, aree protette, aree di pesca e acquacoltura, aree di immersione, traffico navale, ecc. Questi livelli sono stati integrati per realizzare un'unica mappa tematica, allo scopo di facilitare l'analisi di usi e potenziali conflitti, e di formulare proposte preliminari per la MSP.

Il progetto pilota MSP ha dato impulso all'attuazione della MSP in Albania, fornendo un sostegno rilevante agli sforzi Nazionali per la gestione sostenibile degli ecosistemi marini. Il processo MSP in Albania sta proseguendo attraverso altre attività e iniziative, sostenute dall'UNEP/MAP e dalle sue componenti pertinenti, anche attraverso il progetto GEF *Adriatic* in corso.

Durante il rapporto di valutazione preliminare della MSP del progetto dell'area di Valona in Albania (ottobre 2019 - gennaio 2020) finanziato dal Centro di Attività Regionale delle Aree Specialmente Protette (SPA/RAC) e implementato dalla società "Genc Myftiu, Consulting on Development", sono state presentate le prime Linee Guida per il processo di MSP in Albania, redatto in coerenza al quadro dell'IMAP, del protocollo ICZM e della decisione MSP [25].

AREA DI STUDIO

La baia di Valona (Fig. 1) è la più ampia baia dell'Albania (Adriatico Meridionale, Canale di Otranto, Prefettura di Valona, Albania, $40^{\circ}25'42''N$ $19^{\circ}25'41''E$). Essa costituisce l'estremità orientale del canale d'Otranto. Prende il nome dalla città di Valona, che si affaccia sulla riva orientale della baia stessa, poco oltre l'ingresso. È formata dalla penisola del Karaburun, che ne costituisce il lato sudoccidentale, terminale settentrionale, con il capo Linguetta (Kepi i Gjuhezes), dei monti Acrocerauni. L'imbocco della baia si trova tra il capo Nartés e il capo Linguetta, con l'isola di Saseno

(Sazan), ideale prosecuzione della penisola di Karaburun. Nella baia si trova anche la base della marina militare albanese di Pasha Liman, accanto alla laguna di Orikum. La costa orientale della penisola del Karaburun, inizia da Pasha Liman fino a Capo Galoveci, passando per i promontori Kallogeri, Rraguza, Ševasini, Shen Vasili, Gjata, Dim Kushta e Shen Jani [1, 2, 3].

Geologicamente, il versante orientale della baia rappresenta un susseguirsi di rocce di epoche diverse, a partire dal Giurassico e dal Neogene (Aquitano, Elveziano, Tortoniano e Pliocene). La parte meridionale è costituita da rocce

plioceniche e sedimenti recenti. La costa orientale risale al Cretaceo superiore, essenzialmente composta da calcare [8]. In ambito terrestre, il versante orientale del Karaburun presenta aree disboscate da incendi e un paesaggio caratterizzato dalle formazioni tipiche della macchia mediterranea, con pochi pini e cipressi modellati dal vento. Anche se l'area non è selvaggia come la parte occidentale, la vegetazione si spinge molto vicino al livello del mare. Piccoli canyon fluviali ormai asciutti degradano fino al mare in modo quasi verticale.

La laguna di Orikum è vicina a un'area militare molto circoscritta (la base Nato di Pasha Liman): si estende per circa 130 ha, ha una profondità massima di 3 m ed è permanentemente in comunicazione con il mare, tramite un canale lungo circa 50 m. Nella porzione meridionale della laguna si riscontra un limitato apporto di acqua dolce stagionale [17]. Secondo recenti programmi di monitoraggio, la laguna risulta non inquinata da nitrati e pesticidi [24], in buone condizioni, ma soggetta alle attuali modificazioni legate ai cambiamenti climatici in atto.

La baia di Valona è un tratto di costa e mare quasi chiuso, che raccoglie i contributi delle acque provenienti dal mare aperto [6,7,9,10] e dal vicino fiume Vjosa. I venti moderati da ovest e nord-ovest guidano i fattori di inquinamento all'estremità della baia, che funge da ricettacolo, mentre le piccole baie lungo la costa fungono da collettori di inquinamento temporanei o permanenti. Questa caratteristica sottolinea l'importanza di strutturare una rete per il monitoraggio e la risposta alle emergenze in caso di inquinamento, ad esempio, da idrocarburi nella baia [19,20]. La profondità nella baia arriva fino a -54 m a SE della baia di Rogozhe (Raguza) [21]. La linea isobatica dei 50 m si posiziona a circa 100 m dalla costa, vicino al promontorio di Kala.

Nell'area insistono numerosi relitti, 7, risalenti alla Seconda guerra mondiale. I relitti, nello specifico "Rosandra, Regina Margherita, Intrepido, Rovigno, Luciano, Stampella, Andromeda e Po" rappresentano un patrimonio culturale, con un elevato potenziale in termini di possibile sviluppo e implementazione di attività turistiche subacquee. Infine, l'ambiente marino della baia di Valona è caratterizzato da una costa prevalentemente rocciosa, intervallata da poche piccole spiagge di ghiaia, tranne nella parte meridionale, che invece è sabbiosa; al centro della baia è ritrovabile un

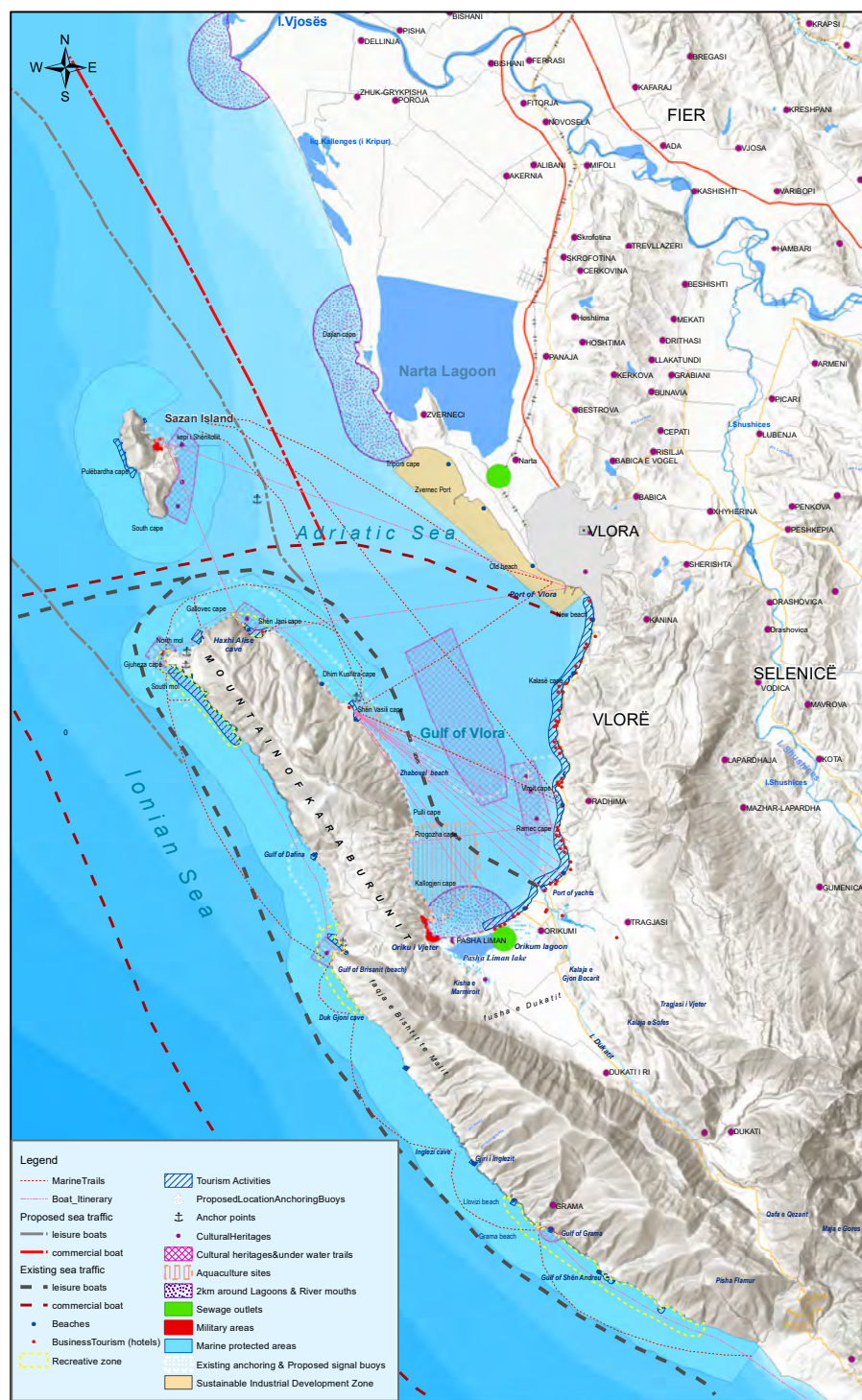


Figura 1

fondale tipicamente costituito da sabbia e fango, caratteristico delle baie che recepiscono grandi materiali da mare e da fiumi. Su questo substrato è presente localmente un'importante copertura di alghe e fanerogame (principalmente *Posidonia oceanica*, *Zostera* sp. e *Cymodocea nodosa*) [3, 4, 5] anche se davvero molto sofferenti da un punto di vista ecologico e funzionale. Le praterie di *Posidonia oceanica* [22, 23, 26], si configurano come ideali aree di nursery per numerose specie, così come lo sono *Cymodocea* sp. presenti a minori profondità sul lato orientale di Karaburun. Sia *Posidonia* che *Cymodocea* sp. nel Mar Mediterraneo sono habitat protetti sin dal 1988 [12, 13, 14]. Il 28 aprile 2010 è stata istituita la prima AMP in Albania, che abbraccia l'area costiera e marina dell'isola di Sazan e della Penisola del Karaburun con lo status di Parco Marino Nazionale, coprendo 12.570 ettari.

MATERIALI E METODI

La MSP è un processo pubblico di analisi condotto per creare e stabilire un uso più razionale dello spazio marino e delle interazioni tra i suoi utenti, allo scopo di bilanciare le esigenze di sviluppo unitamente alla necessità di proteggere l'ambiente e per fornire risultati sociali ed economici in modo aperto e pianificato. Le seguenti azioni aumentano l'efficacia della MSP:

- i) ottenere risorse e sostegno politico. In questo caso, gli enti responsabili per la PSM dovrebbero garantire adeguate risorse e supporto finanziario e di competenze;
- ii) sostenere il monitoraggio e la valutazione dell'attuazione dei piani dello spazio marino; iii) affrontare le priorità chiave, vale a dire concentrare il piano dello spazio marino su obiettivi realizzabili e chiaramente definiti, che riflettano obiettivi politici più ampi;
- iv) garantire l'integrazione con altri quadri di pianificazione: dovrebbe esserci un coordinamento tra terra e mare, nelle aree transfrontaliere e con i piani settoriali;
- v) ottenere una significativa partecipazione delle parti interessate: garantire che la MSP sia condotta in modo inclusivo e culturalmente sensibile;
- vi) mantenere la flessibilità nella pratica della MSP: le misure di pianificazione utilizzate dovrebbero riflettere il contesto e le esigenze dell'area del piano e degli enti interessati;

- vii) impegnarsi nell'attuazione del piano: si dovrebbe considerare fin dall'inizio come le proposte di un piano saranno messe in pratica e,
- viii) dare maggiore considerazione ai costi e ai benefici della MSP, nello specifico dovrebbe essere sviluppato un approccio più sistematico alla valutazione economica, nonché l'integrazione dell'analisi economica dei compromessi e l'integrazione nel ciclo MSP.

Per comprendere meglio la necessità di una pianificazione dello spazio marino, è importante identificare sia le attuali tendenze apparenti, sia prevedere quali potrebbero essere le tendenze future in settori quali:

- i) aumento della domanda di acqua dolce per la popolazione locale, turismo, agricoltura, industria, ecc.;
- ii) aumento della domanda di energia in Albania, nell'Adriatico e nel mondo e le tendenze nelle fonti di energia non rinnovabili (sviluppo di petrolio e gas) e rinnovabili presenti nell'ambiente marino (energia eolica, ondosa o corrente);
- iii) aumento della navigazione e del trasporto marittimo nell'Adriatico, sia aumento della navigazione che delle dimensioni delle navi;
- iv) aumento della domanda di sviluppo turistico e usi ricreativi poiché l'Albania è riconosciuta come una destinazione turistica emergente a causa del suo ambiente incontaminato e delle sue attrazioni culturali;
- v) aumento della domanda di pesce e frutti di mare con aumento medio pro capite del consumo previsto a livello globale, una tendenza simile è probabile nell'Adriatico;
- vi) aumento della domanda di prodotti da agricoltura, che si sta espandendo e sta diventando sempre più focalizzata sull'efficienza e sulla produzione con conseguenti scarichi di fosforo, azoto e altri inquinanti che causano l'eutrofizzazione degli ecosistemi marini;
- vii) aumento della domanda di sviluppo delle infrastrutture, compresa la costruzione di porti e ponti, ponti e strade, rifiuti solidi e rifiuti sistemi idrici, sia per i residenti che per i turisti, il tutto per far fronte ai crescenti flussi e usi dell'ambiente costiero e marino [10, 11].

I cambiamenti demografici (emigrazione e immigrazione) hanno causato l'abbandono dei coltivi (in modo particolare nell'area di Orikum), l'occupazione della terra, l'espansione incon-

trollata e l'edilizia abusiva a causa della migrazione interna e della mancanza di controllo da parte delle autorità (comune di Novesela); l'aumento dei livelli di inquinamento antropico e della quantità di rifiuti, ecc. sono presenti anche grandi disomogeneità e grande frammentarietà organizzativa, gestionale, pianificatoria e amministrativa tra il livello centrale e locale, tra istituzioni allo stesso livello e tra gruppi locali di popolazioni.

In particolare, si è in presenza di:

- i) conflitto di interessi tra livello centrale e locale nell'uso delle risorse espresso nelle preoccupazioni della popolazione locale relative ai loro diritti di proprietà e riluttanza nei confronti della decisione del governo di includere le aree di progetto nello status di aree di protezione speciale;
- ii) conflitto di interessi tra imprese/industria e popolazione locale: saline e pescatori, pescatori organizzati in associazioni e singoli pescatori, ma anche pescatori che utilizzano le ex paludi e gli agricoltori locali;
- iii) interessi contrastanti tra imprese e amministrazioni centrali o locali: malfunzionamento dei canali di comunicazione tra l'acqua di mare e il laguna, variazione del ciclo idrico della laguna, riduzione della capacità drenante e dell'afflusso di acqua dolce alla laguna;
- iv) interessi contrastanti tra diversi individui o gruppi di utenti: ad esempio tra pescatori e cacciatori, con conseguente riduzione dell'ecosistema delle zone umide e del bosco al fine di aumentare l'estensione dei seminativi a terra, aumento dell'uso di pesticidi e fertilizzanti, incremento degli scarichi urbani in laguna, aumento dell'afflusso turistico nell'area, ecc.

Sono altresì presenti conflitti tra popolazione e autorità, a seguito di attività illecite quali: taglio di alberi, incendi boschivi dolosi, pesca con esplosivi, ai quali si aggiungono anche criticità intrinseche del territorio, da dover tenere in considerazione, quali i processi di degrado territoriale in corso.

Quando si cerca di costruire un quadro esaustivo e rappresentativo del fitto intreccio di relazioni tra componente biotica, abiotica e antropica, in modo da poter ideare soluzioni, strategie e strumenti utili al perseguimento degli obiettivi di sostenibilità ambientale e di sviluppo armonico, da un punto di vista economico e sociale, è relativamente possibile identificare impatti o rischi

provenienti da un settore di attività, ma non è molto facile raggiungere un consenso scientifico e tecnico, relativo all'entità e alla portata degli impatti cumulativi di tutti i settori nel loro insieme. Considerando l'ambiente marino nell'area di studio, è comunque possibile identificare l'impatto di ciascuna attività, come mostrato nella Tab. 1.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Alla luce dei risultati delle indagini svolte, per quanto riguarda il versante marittimo, gli autori ritengono che il processo di MSP dovrà concentrarsi, in particolare, su cinque domini principali di attività che possono generare impatti, rischi o riduzione della qualità ambientale marina, ovvero: 1) pesca, 2) acquacoltura, 3) trasporti marittimi

e portuali, 4) turismo e 5) svago, aree di conservazione, siti culturali e storici.

Durante lo studio sono state identificate anche gran parte delle carenze e delle lacune informative, attività funzionale per la stesura più compiuta di un piano di ricerca e monitoraggio della qualità ambientale, sociale ed economica del territorio.

In particolare, sono state individuate le seguenti esigenze e lacune:

- sviluppare un piano di ricerca per individuare con chiarezza le principali lacune conoscitive;
- elaborare un piano di monitoraggio per rilevare i cambiamenti negli ecosistemi e nelle relative popolazioni vegetali e animali, dell'ambiente, nonché dell'entità e degli effetti dei cambiamenti climatici;

c) individuare un buon set di indicatori (in linea con MSFD e UNEP MAP - IMAP-ECAP) rappresentativi degli aspetti ambientali, sociali ed economici;

d) realizzare un riepilogo di tutte le fonti di inquinamento al fine di valutare i rischi, le misure preventive e i piani di emergenza collegati;

e) valutare i potenziali impatti dei cambiamenti climatici a livello locale;

f) individuare e mappare tutte le fonti di inquinamento puntuale e diffuso, quali ad esempio: discariche, acque reflue, aree di scarico in mare, scarichi delle acque meteoriche.

Le Linee Guida proposte per la baia di Valona in Albania per l'applicazione della MSP, considerano prioritari i seguenti aspetti: a) tipi di attività an-

Tabella 1. Attività relative all'ambiente marino e rischi associati per l'ambiente marino e costiero.

Attività	Rischi E Impatti Associati
Attività di pesca industriale e Attività di pesca artigianale	- Mancanza di controllo - Pesca eccessiva - Inquinamento a causa della dispersione di idrocarburi, plastica, reti perse e scartate - Impatto della pesca a strascico su ecosistemi e specie
Pesca-raccolta del dattero di mare	- Mancanza di controllo delle quote di prelievo, distruzione degli habitat
Attività di acquacoltura	- Impatto del carico organico sull'ambiente e sui sedimenti - Introduzione di agenti patogeni e virus; - Possibile introduzione di specie non autoctone; - Impatto sulla qualità dell'acqua e dei sedimenti e assenza di programmi di monitoraggio.
Pesca sportiva	- Mancanza di controllo, pesca illegale
Pesca ricreativa e di sussistenza	- Mancanza di controllo. No dati presenti
Schema di navigazione, traffico marittimo	- Rischi da incidenti navali, accumulo di inquinanti da sorgenti vecchie e recenti. - Detriti marini. - Impatti derivanti dai flussi di merci e persone via terra e via mare da monitorare (rifiuti, distruzione di habitat, pesca illegale etc ...)
Zona di sviluppo del Sud di Valona per il turismo	- Aumento del fabbisogno idrico - Inquinamento costiero - Erosione costiera - Esposizione della popolazione al rischio di Terremoto/tsunami
Attività militari	- Inquinamento, sonoro e da idrocarburi - Collisione ed esplosioni - Rischi derivanti dallo sversamento accidentale di sostanze chimiche a terra e in mare
Saline di Narta	- Fabbisogno idrico per le saline - Erosione costiera - Cambiamenti nell'uso del suolo
Porti e moli	- Inquinamento a causa dello sversamento accidentale di idrocarburi e sostanze chimiche, in relazione al trasporto marittimo e terrestre, lavorazione e distribuzione di prodotti petroliferi. - Impatti derivanti dal traffico di imbarcazioni commerciali e private. - Possibile effetto della posizione delle banchine portuali sulla circolazione delle correnti marine nella baia. - Effetto delle banchine portuali sul processo di insabbiamento lungo la baia (e perdita di piante marine) - Inquinamento da plastica e idrocarburi

tropiche; b) i diversi tipi di pesca; c) i diversi tipi di attività ricreative e culturali; d) i trasporti marittimi e i servizi (ancoraggio, ecc.) per i civili e i militari, e forniscono precise indicazioni per una possibile zonizzazione dell'area, in un'ottica di futura sostenibilità ambientale e gestione integrata delle attività antropiche.

In questo studio è stata realizzata una lista di strumenti (mappe tematiche) funzionali per la pianificazione territoriale, che ha aperto la strada alla discussione delle parti interessate per includere la proposta di Sazani Strait PSSA o Vlora PSSA nei quadri delle strategie generali in essere.

Di seguito (Fig. 2) un esempio di mappa prodotta per l'ottimizzazione delle rotte delle imbarcazioni ai fini del perseguimento degli obiettivi di sostenibilità delle attività antropiche in mare.

to delle pressioni ambientali, e in particolare, di un aumento del fabbisogno di acqua dolce, di energia, di servizi e infrastrutture (per i trasporti, l'industria e il turismo) e di approvvigionamento alimentare (dall'agricoltura, dalla pesca e dall'acquacoltura).

Da un punto di vista marittimo, il processo MSP coinvolge cinque settori principali di attività che incidono, mettono a rischio o riducono l'uguaglianza di accesso e fruizione sostenibile delle risorse in ambiente marino: i) pesca, ii) acquacoltura, iii) trasporti marittimi e porti, iv) turismo e attività ricreative e v) aree di conservazione, siti culturali e storici.

Il comparto pesca [11] necessita di una delimitazione fisica dei diversi tipi di attività: industriale o semi industriale, artigianale e ricreativa, tenendo conto di tutta la legislazione esistente, la restri-

preveda un adeguato sistema sanzionatorio e una rigorosa applicazione.

Per il comparto acquacoltura [11, 13, 16], le zone esistenti assegnate a questa attività nella parte Sud-occidentale della baia di Valona devono essere valutate e deve essere istituito un piano di gestione dell'acquacoltura, definendo con precisione l'area, le norme procedurali, le specie, la qualità degli alimenti, il livello di produzione e le misure di emergenza in caso di malattie, incidenti o mortalità di massa, nonché un programma di monitoraggio indipendente, finanziato da tutte le aziende di acquacoltura operanti nell'area.

Per quanto riguarda la pesca, potrebbe essere emanata una nuova legislazione, con sanzioni adeguate e un'applicazione rigorosa, considerando la chiusura dell'operazione in caso di violazione delle regole procedurali concordate.

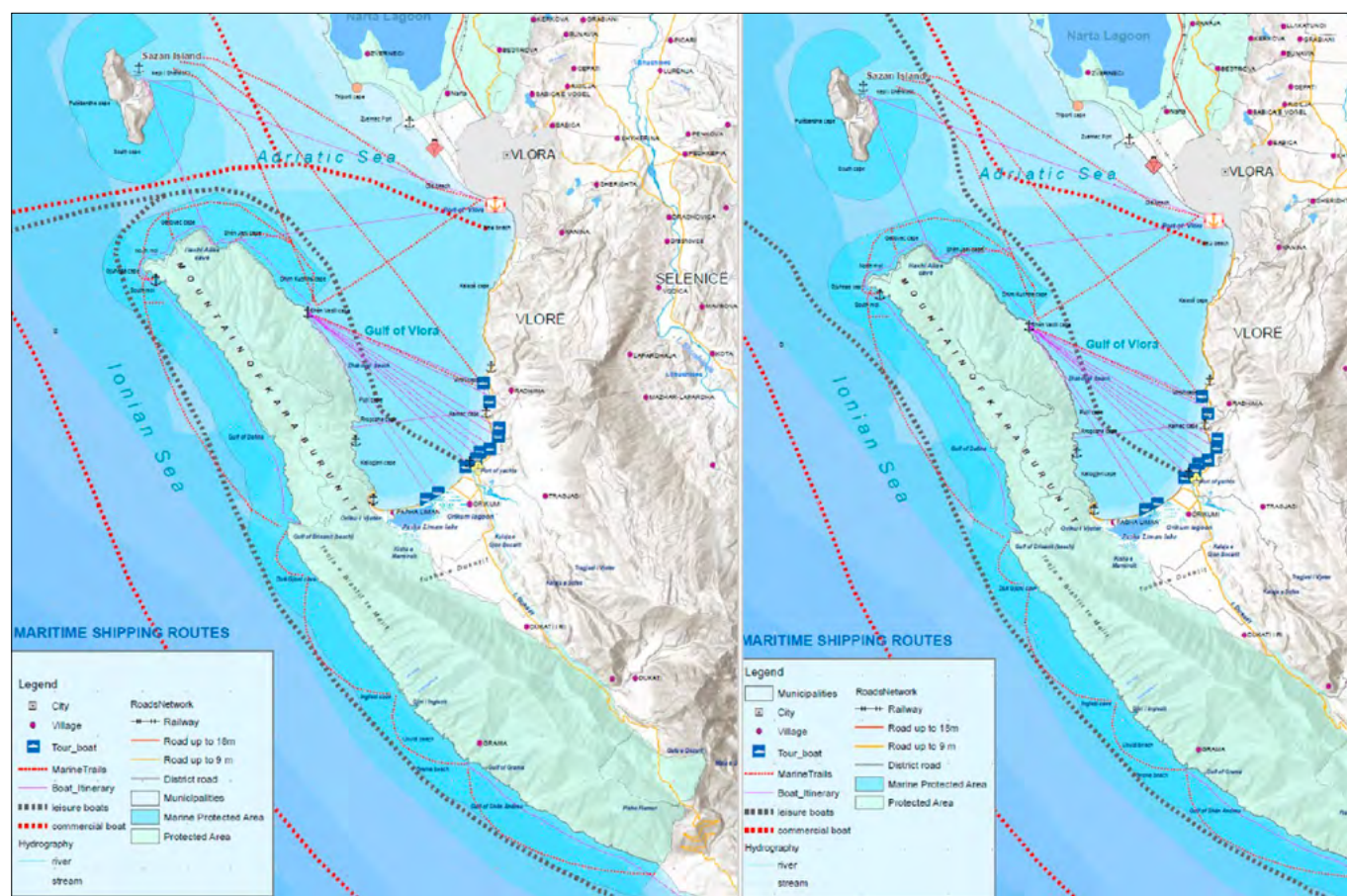


Figura 2. Esempio di due differenti pianificazioni del traffico marino nello stretto di Sazan e Baia di Valona, a sinistra piano esistente a destra piano proposto. Courtesy of "ADRLATIC REGION WORKSHOP ON PSSAs" organized in Tirana on 10-13 December 2019

Attualmente, i dati relativi allo stato dell'area della Contea di Valona [15], e le limitate informazioni sugli orientamenti strategici e pianificatori del paese Albania e della regione meridionale, si limitano a delineare la futura pianificazione e gestione dell'ambiente marino. Ma questa regione costiera è soggetta ad un forte e continuo sviluppo, e sarà inevitabilmente scenario di un aumen-

zione della pesca in aree specifiche (aree militari, porti, canali di navigazione, in prossimità di foci di fiumi di emissari lagunari, arretramento per attività specifiche quali siti di acquacoltura, resti culturali e storici sommersi, ostruzioni, discariche, ecc.) e destinando le restanti aree alle attività concordate (piano di gestione della pesca), formulando anche una nuova normativa, se necessario, che

Per quanto riguarda il comparto dei trasporti marittimi e dei porti è necessario un piano di gestione specifico, in quanto il porto petrolifero, il porto peschereccio, il porto traghetti, il porto militare e i numerosi moli presenti per il trasporto turistico, operano tutti insieme in una zona molto ristretta, dove potrebbero verificarsi incidenti, comportando la qualità della baia e

Tabella 2. Tipologia di attività proposta, autorità responsabile con mandato sull'attività e norme di base da attuare

Tipo di attività	Autorità responsabile con mandato	Regolamento di base
Attività militari	Autorità Militare per definire e delimitare le aree e la loro accessibilità	Superficie: navigazione da limitare Colonna d'acqua: nessuna attività turistica Fondale: niente pesca, niente attività turistiche
Attività di conservazione: naturali e culturali	Autorità Ambientali e Culturali per definire e delimitare le aree, la loro accessibilità, le tipologie di attività e il numero di visitatori a terra e in mare	Fare riferimento al piano di gestione di ciascuna area: Parco Nazionale, Area Marina Protetta, zone umide o siti culturali terrestri e marini. Ad esempio, esclusione della pesca, definizione dei siti visitabili, adozione di un regolamento per gli operatori turistici (di terra e di mare, trekking e diving, ecc.), definizione della quota di iscrizione, ...
Zone di esclusione per la pesca (qualsiasi tipo)	Autorità per la pesca in collegamento con tutte le altre autorità.	Zone di esclusione: - aree militari - aree marine protette - zone cuscinetto (500 m) attorno a siti culturali o relitti - zone cuscinetto (500 m) intorno ai siti di acquacoltura - 2 km attorno a lagune o foci di fiumi (Narta, Orikum e fiume a nord secondo la legislazione) - Zona cuscinetto di 250 m per le attività turistiche lungo la costa durante la stagione turistica - dentro i porti - nelle zone di ormeggio - in tutti i canali di navigazione per petrolio, traghetti e pesca industriale - in aree inquinate o in discarica - Zona cuscinetto di 500 m
Pesca Professionale Industriale	Autorità per la pesca, escludendo le zone assegnate al trasporto militare, ambientale e marittimo, e definendo con precisione le aree e le tecniche da utilizzare.	Sviluppare un piano di gestione della pesca (modello GFCM) per ogni specie di importanza economica, definire le aree e le profondità consentite (80 m e inferiori), migliorare il controllo, definire sanzioni dissuasive, registrare le catture e sviluppare un piano di monitoraggio...
Pesca Professionale Artigianale	Autorità per la pesca, escludendo le zone assegnate al trasporto militare, ambientale e marittimo, e definendo con precisione le aree e le tecniche da utilizzare.	Sviluppare un piano di gestione per la pesca artigianale precisando le aree, le tecniche, la colonna d'acqua o il fondo marino in base alle specie e agli ecosistemi, identificare le aree e le profondità, migliorare il controllo, registrare le catture e sviluppare un piano di monitoraggio.
Siti di acquacoltura	Già identificato dall'autorità per la pesca. Da delimitare con zone cuscinetto di almeno 500 m intorno agli impianti.	Nessun turismo. Niente pesca. Nessuna immersione. Monitoraggio da parte delle autorità ambientali.
Pesca ricreativa	Autorità per l'ambiente, la pesca e il turismo. Aree da definire con precisione e controllo.	Esclusione della pesca ricreativa dalle zone assegnate ad altre attività di pesca e acquacoltura e definizione delle tecniche e del limite di cattura giornaliero per barca o persona.

Tabella 2. Tipologia di attività proposta, autorità responsabile con mandato sull'attività e norme di base da attuare

Tipo di attività	Autorità responsabile con mandato	Regolamento di base
Attività di trasporto marittimo	Autorità di trasporto marittimo per definire i canali più sicuri per petrolio, commercio, traghetti e navi passeggeri, nel rispetto delle aree di competenza delle autorità militari e ambientali e della sensibilità delle specie e degli ecosistemi.	Ridefinire le rotte di entrata e di partenza per i prodotti petroliferi, il commercio, i passeggeri e la pesca industriale professionale, meglio attraverso l'ingresso nord della baia che nel passo tra Karaburun e Sazan.
Trasporto marittimo per attività turistiche.	Autorità di trasporto marittimo per definire i canali più sicuri per le attività turistiche, separando i tour operator per le immersioni, l'osservazione dei delfini e i lunghi viaggi in barca a vela per il trasporto di turisti a Karaburun e Sazan.	Occorre predisporre un piano di gestione, riducendo il numero dei punti di partenza, ad esempio utilizzando il porto passeggeri per tutti i tour operator (sottoscrivendo un codice di comportamento) e riducendo il numero dei punti di partenza dalla zona sud-est della baia (in davanti ad alberghi e strutture a due o tre con per ciascuno controllo delle misure di sicurezza e informazione e rispetto delle normative di zona.

l'attrattiva della zona per il turismo. In questa fase, si raccomanda di richiedere che tutte le imbarcazioni legate ai prodotti petroliferi, al trasporto di merci e passeggeri e alla pesca industriale utilizzino quale accesso alla baia l'ingresso nord, più ampio e meno rischioso del canale del Karaburun e Sazan nel quale transitano i traghetti. Il canale tra Sazan e Karaburun sarà utilizzato solo per il turismo nautico e le attività ricreative e dalle imbarcazioni di controllo della Marina Militare e altri servizi.

Per le attività turistiche e ricreative in mare, inoltre, sarebbe necessario predisporre un piano di gestione, con siti selezionati per la balneazione (solitamente in area costiera), per le immersioni (siti specifici e ben segnalati), per piccole imbarcazioni a vela (scuole di vela nella zona costiera e marine di attracco) e che tutte le attività a motore siano escluse dalla baia e proposte in un'area offshore dedicata.

Per il trasporto nautico dei turisti, per le attività ricreative con imbarcazioni a motore e per le diverse attività collegate (escursioni, trasporto in area marina protetta, pescaturismo, ecc.), si consiglia di concentrare le partenze in due o tre punti lungo la costa in modo da poter controllare il flusso di imbarcazioni e passeggeri e garantire la sicurezza e l'incolumità di questi ultimi.

I tre siti più idonei per le partenze delle imbarcazioni potrebbero essere ubicati, rispettivamente, nel porto peschereccio, nel porto dei traghetti e un terzo lungo la costa a Sud di Valona. Riducendo il numero di operatori e fissando un numero ristretto di trasporti verso la penisola di Karaburun o verso l'isola di Sazan, si potrà così ridurre la

pressione attuale sul parco nazionale, così come anche il rischio di incendi, la quantità di rifiuti e i danni all'ambiente terrestre costiero. Per l'accesso con imbarcazioni private all'area marina protetta è necessario installare ormeggi e predisporre un sistema di prenotazione, per mezza o intera giornata, vietando la permanenza in loco durante la notte, prevedendo anche il versamento di una quota comprensiva di un canone per la manutenzione gli ormeggi.

Durante il processo di MSP, alcuni elementi sono stati identificati come mancanti o carenti, e quindi soggetti ad ulteriori momenti di raccolta dati o informazioni. Sarà necessario completare quindi le attività di indagine, analisi e di raccolta dati strutturando un piano di ricerca e monitoraggio e individuando indicatori funzionali per la determinazione della qualità ambientale, sociale ed economica dell'area.

L'attuale tendenza all'aumento della pressione da parte dello sviluppo del turismo e di altre economie (quali l'acquacoltura, i porti commerciali, i traffici marittimi, le aree marine protette, ecc.) richiede un Piano Territoriale Marino (PTM) per proteggere e far rivivere la ricca biodiversità marina e il patrimonio culturale di Baia di Valona. La PSM proposta per la baia di Valona in Albania, prende in considerazione le attività antropiche come la conservazione, i diversi tipi di pesca, i diversi tipi di attività ricreative e culturali, i trasporti e i servizi marittimi (ancoraggio, ecc.) e militari, oltre a precisare l'opzione per la zonizzazione definitiva dell'area sulla base del rapporto di Linee Guida MSP per l'Albania, una priorità. La seguente

tabella-matrice presenta il tipo di attività proposto, l'autorità responsabile con un mandato sull'attività e le norme di base da attuare (Tab. 2).

Per la prima volta è stata redatta una cartografia seppure provvisoria funzionale per la pianificazione territoriale, che ha aperto la strada alla discussione delle parti interessate per includere la proposta di Sazani Strait PSSA o Vlora PSSA nei quadri delle strategie generali in essere.

CONCLUSIONI

Nell'ambito del presente studio sono state prodotte e pubblicate le prime Linee Guida per la PSM della Baia di Valona (Modugno *et al.*, 2019 e 2021) e, contemporaneamente, sono state editate le Buone Prassi per la definizione e l'applicazione della PSM per l'intera Albania.

La MSP rappresenta, quindi, il processo di analisi per allocare la distribuzione spazio-temporale delle attività antropiche nelle aree marine, per raggiungere un livello sostenibile e programmabile di equilibrio tra tutti gli obiettivi ecologici, economici e sociali. Negli ultimi anni, la continua e sempre crescente competizione per lo spazio marittimo in Albania ha evidenziato la necessità di iniziare a gestire gli spazi d'acqua e le zone costiere in modo più coerente e programmatico. Le attività svolte dagli autori si configurano come il primo passo in questa direzione.

BIBLIOGRAFIA

- [1] AIROLDI L, BECK MW. (2007), *Loss, status and trends for coastal marine habitats of Europe*. Oceanography and Marine Biology, 45: 345-405.

- [2] ALLEN J; BLACKFORD, J, RADFORD P. (1998), *A 1-D vertically resolved modeling study of the ecosystem dynamics of the Middle and Southern Adriatic Sea*. Journal of Marine Systems, 18: 265-286.
- [3] ANONYMOUS (2002), National Report on Marine and Coastal Biodiversity. Tirana, Albania: Regional Activity Center for Specially Protected Areas, 49p.
- [4] BEQIRAJ S, KASHTA L, KUCI, M, KASEMI D, MATO, XH, GACE A (2008), *Benthic macrofauna of Posidonia oceanica meadows in the Albanian coast*. Natura Montenegrina, 7(2): 55-69.
- [5] BEQIRAJ S, KASHTA L, MACIC V, ZENETOS A, KATSANEVAKIS S, POURSANIDIS D. (2012), *Inventory of marine alien species in the Albanian and Montenegrin coasts*. Conference MarCoastEcos 2012. Book of Abstracts. Ed. Julvin. Tirana: 48.
- [6] BIHARI N, MIČIĆ, M, BATEL R, ZAHN, RK. (2003), *Flow cytometric detection of DNA cell cycle alterations in hemocytes of mussels (Mytilus galloprovincialis) off the Adriatic coast, Croatia*. Aquatic Toxicology, 64: 121-129.
- [7] CELO V, BABI D, BARAJ B, CULLAJ A. (1999), *An assessment of heavy metal pollution in the sediments along the Albanian coast*. Water, Air, and Soil Pollution, 111: 235-250.
- [8] COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; DE GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R.V.; PARUELO, J.; RASKIN, R.G.; SUTTON, P., AND VAN DEN BELT, M., (1997), *The value of the world's ecosystem services and natural capital*. Nature, 387, 253-260.
- [9] CULLAJ A, HASKO A, MIHO A, SCHANZ F, BRANDL H, BACHOFEN R (2005), *The quality of Albanian natural waters and the human impact*. Environmental International, 31, 133-146.
- [10] CULLAJ, A, LAZO P, BARAJ B. (2004), *Investigation of mercury contamination in Vlorë Bay (Albania)*. Materials and Geoenvironment, 51(1): 58-62.
- [11] EMOFAP: (2017), *European Market Observatory for Fisheries and Aquaculture Products*. Monthly Highlights, 9: 1-25.
- [12] KASHTA L, XHULAJ M, MATO XH, BEQIRAJ S, GACE A. (2007), *The state of Posidonia meadows along the Albanian coast: general evaluation*. In: *Proceedings of the Third Mediterranean Symposium on Marine Vegetation* (Marseille, France, UNEP), pp. 272-273.
- [13] KASHTA L. (1988), *Ecological and geographical data about green algae in the Bay of Vlorë*. Buletini i Shkencave Natyrore, Tiranë, 1: 97-103.
- [14] KASHTA L; BEQIRAJ S, MATO X, XHULAJ M, GAE A, MULLAJ A. (2005), *The Inventory of Habitats with Posidonia oceanica and Littoral Habitats in Albania-Technical report*. Tirana, Albania: Protection of the Aquatic Wildlife of Albania and Ministry of Environment, Forests and Water Administration of Albania, pp. 1-81.
- [15] MANGONI O, MAGIOTTA F, SAGGIOMO M, SANTAPIA I, BUDILLON G, SAGGIOMO V. (2011), *Trophic Characterization of the Pelagic Ecosystem in Vlorë Bay (Albania)*. Journal of Coastal Research, 58: 67- 69.
- [16] MANGONI O, SAGGIOMO M, SANTAPIA I. (2003), *Il trofismo dell'Adriatico meridionale: distribuzione quali-quantitativa dei popolamenti fitoplanctonici lungo le coste pugliesi ed albanesi*. Biologi Italiani, Anno XXXIII 1, 46-51 [in Italian].
- MODUGNO S., A.J. DE GRISSAC & G. MIFTIU (2019), *Guidelines for MARINE SPATIAL PLANNING process in Albania - Marine Spatial Planning preliminary initial assessment report of Vlorë area in Albania* funded by SPA/RAC, October 2019- February 2020.
- MODUGNO S., A.J. DE GRISSAC, G. MYFTIU, Z. DEDEJ & A. ZARROUK, (2021), *Preliminary results of the Marine Spatial Planning process in Vlorë Bay*. AJNTS No 53 / 2021 (XXVI), ALBANIAN JOURNAL OF NATURAL AND TECHNICAL SCIENCES - PUBLISHED BY THE ACADEMY OF SCIENCES OF ALBANIA. Pagg. 47-62. ISBN: 2074-0867.
- [17] MOSCATELLO S, BELMONTE G. (2006), *A preliminary plan for the study of zooplankton in the Gulf of Vlorë (Albania)*. Preliminary article. (info: genuario.belmonte@unile.it) 2282-2374-1-PB
- [18] MUNARI, C, TESSARI, U, ROSSI R, MISTRI M. (2010), *The ecological status of Karavasta Lagoon (Albania): closing the stable door before the horse has bolted?* Marine Environmental Research, 69, 10-17.
- [19] MWH CONSULTING (2003), *Final Environmental Impact Assessment-Vlorë Combined*. Albania Ministry of Industry and Energy. [http:// www.unece.org/env/pp/compliance/C2005-12/Response/FinalEIA.pdf](http://www.unece.org/env/pp/compliance/C2005-12/Response/FinalEIA.pdf) (accessed September 28, 2010). 11p.
- [20] ORESCANIN V, LOVRENCIC I, MIKELIC L, BARISIC D, MATASIN Z, LULIC S, PEZELJ D. (2006), *Biomonitoring of heavy metals and arsenic on the east coast of the Middle Adriatic Sea using Mytilus galloprovincialis*. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, 245(B): 595-600.
- [21] PANO N, FRASHERI A, SIMEONI U, FRASHERI N. (2006), *Outlook on seawaters dynamics and geological setting factors for the Albanian Adriatic coastline developments*. Albanian Journal of Natural and Technical Sciences, 19/20: 152-166.
- [22] PÉRÈS JM, PICARD J. (1964), *Nouveau manuel de Bionomie benthique de la Mer Méditerranée*. Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume, 31(47): 45-100.
- [23] PÉRÈS JM. (1967), *Les biocénoses benthiques dans le système phytal*. Rec. Trav. St. Mar. Endoume, 42(58): 1-113.
- [24] PERUGINI M, VISCIANO P, GIAMMARINO A, MANERA M, DI NARDO W, AMORENA M. (2007), *Polycyclic aromatic hydrocarbons in marine organisms from the Adriatic Sea, Italy*. Chemosphere, 66(10): 1904-1910.
- [25] PIANTE C, ODY D. (2015), *Blue Growth in the Mediterranean Sea: The Challenge of Good Environmental Status*. Med Trends Project WWF- France, PP. 192.
- [26] PITTITO F, VENTRICE A, GRENCI S, DEDEJ Z, KASHTA L, BEQIRAJ S, GACE A, ACUNTO S, BULGHERI G, CINELLI F, SIVINI N, GRECO R, TORCHIA G. (2009), *Cartografia e protezione delle praterie di Posidonia oceanica lungo la costa Albanese*. Biologia Marina Mediterranea, 16(1): 324-325.
- [27] RELINI G. (2008), *Checklist della Flora e della Fauna dei Mari Italiani*. Biologia Marina Mediterranea, 15(1): 1-385.
- [28] RUBINO F, SARACINO OD, MOSCATELLO S, BELMONTE G. (2009), *An integrated water/sediment approach to study plankton (a case study in southern Adriatic Sea)*. Journal of Marine Systems, 78(4): 536-546.
- [29] SARACINO OD, RUBINO F. (2006), *Phytoplankton composition and distribution along the Albanian coast, South Adriatic Sea*. Nova Hedwigia, 83(1-2): 253-266.
- UNEP-MAP, SPA-RAC, IMELS, AKZM (2019), *Consultation n°08-2019-SPA/RAC. - Guidelines for Marine Spatial Planning process in Albania - Final Report*
- UNEP-MAP, SPA-RAC, IMELS, AKZM (2020), *Consultation n°08-2019-SPA/RAC. - Assessment of the Ecological Status and MSP preliminary initial assessment in Vlorë Marine Area (Albania) in the framework of the MSP Pilot Project supported by the Italian Ministry of Environment, Land and Sea (IMELS) within the cooperation agreement with UNEP/ MAP - Final Report*.

Prime valutazioni sulla geomorfologia e bio-colonizzazione marine attraverso lo studio e il rilievo di alcuni relitti affondati lungo le coste albanesi

First assessments on marine geomorphology and bio-colonization through the study and survey of some wrecks sunk along the Albanian coasts

Parole chiave: Nave Ospedaliera Po, relitto, geomorfologia, SSS, MBES
Key words: Po hospital ship, wreck, geomorphology, SSS, MBES

RIASSUNTO

La baia di Valona è una baia nel sud dell'Albania, la più ampia dell'intero paese, prende il nome dalla città di Valona, che si affaccia sulla riva orientale della baia. La baia di Valona ha da sempre avuto un ruolo molto importante nella storia del mondo: ha rappresentato lo scenario di alcune delle battaglie più sanguinose di Giulio Cesare. Verso la cittadina di Orikum, la base navale di Pasha Liman fu utilizzata come porto fin dall'antichità e durante la guerra fredda fu temporaneamente una base militare sovietica, l'unica del genere nel mediterraneo; oggi base NATO strategica. Le acque della baia celano tesori di biodiversità e una recente AMP, ma non solo: a Valona è sommersa anche la storia militare italiana più recente, come ad esempio la Nave Ospedale Po. La nave Po era tra le 12 navi ospedale italiane impiegate durante la Seconda Guerra Mondiale. Tali navi espletarono più di 600 missioni, riportando in patria oltre 280 mila tra feriti, malati e profughi. La Po fece, in meno di un anno, 14 missioni. Furono 2.300 i feriti e i naufraghi portati in salvo, oltre 4.000 gli ammalati o infermi fatti rientrare dai fronti africano e greco. Studi oceanografici e geomorfologici sul relitto della Nave Po, possono aprire una nuova linea di ricerche, che vogliono impiegare la storia "scritta" sui relitti, come testimonianza dei cambiamenti legati al *Climatic Change*. Il progetto è partito nel 2022 ed è ancora in corso di svolgimento.

ABSTRACT

The Bay of Vlora is a bay in southern Albania, the largest in the whole country, named after the city of Vlora, which overlooks the eastern shore of the bay. The bay of Vlora has always played a very important role in the history of the world: it represented the scene of some of Julius Caesar's bloodiest battles. Towards the small town of Orikum, the Pasha Liman naval base was used as a port since ancient times and during the Cold War was temporarily a Soviet military base, the only one of its kind in the Mediterranean: today a strategic NATO base. The waters of the bay conceal treasures of biodiversity and a recent MPA, but that's not all: the most recent Italian military history is also submerged in Vlora, such as the hospital ship Po. The ship Po is among the 12 Italian hospital ships used during the Second World War. They carried out more than 600 missions, bringing back over 280,000 wounded, sick and refugees to their homeland. The Po made 14 missions in less than a year. 2,300 wounded and shipwrecked were rescued, over 4,000 sick or infirm made to return from the African and Greek fronts. Oceanographic and geomorphological studies on the wreck of the Nave Po can open up a new line of research that uses the history "written" on the wrecks, as evidence of the changes caused by Climatic Change. The project started in 2022 and is still ongoing.

INTRODUZIONE

La baia di Valona rappresenta il più ampio golfo delle coste albanesi e costituisce la parte più orientale del canale d'Otranto. È circonscritta dalla penisola del Karaburun, propaggine dei monti Acrocerauni, che ne costituisce il lato sud-ovest terminando con capo Linguetta. L'imbocco della baia si trova tra capo Nartés e capo Linguetta, con l'isola di Sazan a nord-ovest, come una prosecuzione naturale della penisola del Karaburun. A Valona, sul fondale marino, si ritrovano relitti affondati durante la Seconda Guerra Mondiale: un esempio su tutti la *Nave Ospedaliera Po*, che da quasi 80 anni giace, ancora in assetto di navigazione, alla profondità di circa 37 m nelle acque della rada di Valona (UNDP, 2022). (Fig. 1). Il relitto della Po, la cui posizione è nota fin dal suo affondamento, fu avvistato e riconosciuto formalmente nel 2005 da alcuni membri della IANTD – *International Association of Nitrox and Technical Divers* – in missione archeologica subacquea a Valona (tra gli autori di questa pubblicazione). A questa prima missione ne seguirono altre, fino alle attività di ricerca effettuate dagli autori a partire dal 2022.

MATERIALI E METODI

Lo studio delle caratteristiche geomorfologiche e bionomiche dei fondali marini su larga scala, rappresenta un'informazione molto importante per approcciare la buona gestione delle coste (Virno *et al.*, 1998) e conoscerne le

Simone Modugno¹, Rachele Castro², Igli Pustina³, Mauro Pazzi⁴, Cesare Balzi⁴, Fabio Ruberti⁴, Genty Khromida⁵, Zamir Dedej⁶

¹ Consulta Ambiente IRSSAT

² Istituto per la Ricerca e l'Innovazione Biomedica - CNR-IRIB

³ Albanian Diving Federation - CMAS.

⁴ IANTD International Association of Nitrox and Technical Divers

⁵ INCA Albania

⁶ The National Agency of Protected Areas (NAPA)

¹ Corresponding author

E-mail: moder1976@gmail.com



Figura 1. Mappa della posizione di Affondamento della Nave Ospedaliera Po

funzionalità ecologiche. Il sistema Baia di Valona - Laguna di Narta - foce del fiume Vjosa (Pano *et al.* 2005) rappresenta un ampio e complesso ecosistema costiero, sito lungo la costa sud-orientale dell'Albania, che si distingue per la sua particolare individualità naturale e per i valori ecologici di importanza internazionale, oltre che per la presenza di molte aree protette e di un'Area Marina Protetta istituita nel 2010.

I principali elementi del regime idrologico del fiume Vjosa, ovvero gli elementi limnologici derivanti dal regime della Laguna di Narta e gli elementi geomorfologici marini della Baia di Valona, sono stati analizzati in molti lavori scientifici (Pano *et al.* 2005), associandoli alle principali caratteristiche bionomiche ed ecologiche (Maiorano *et al.*, 2011, Modugno *et al.*, 2021), ma è del tutto mancante un modello dina-

mico idrologico, geomorfologico, bionomico e climatico, costruito per capire come i fondali e i sedimenti marini si siano modificati nel tempo, assieme alle comunità floro-faunistiche viventi, ma soprattutto per cercare di comprendere come si potrebbero modificare nel corso del tempo, in risposta anche alle pressioni antropiche e ai cambiamenti climatici in atto.

In questo contesto si inserisce il lavoro degli autori, che mira ad immaginare di recuperare, ricostruire e modellizzare tutte le informazioni che il relitto, posizionatosi in affondamento, in assetto di navigazione, a mo' di gigantesca "arginatura artificiale" opposta agli apporti sedimentari derivanti dal fiume Vjosa a nord-ovest e dalle correnti marine dalle due bocche della baia a nord-ovest e ovest, ha accumulato in quasi 100 anni. In questo modo, a) conoscendo la

data e l'ora esatte dell'affondamento (14.03.1941 alle 11pm), b) conoscendo la posizione e l'assetto del relitto ($40^{\circ}22'53.60''N$ and $19^{\circ}27'54.22''E$), c) avendo a disposizione diverse immagini SSS (*Side Scan Sonar*) e MBES (*Multi Beam Echo Sounder*) (Fig. 2) e molto materiale video-fotografico edito ed inedito (a partire dal '41 ai giorni nostri), si vuole proporre la Nave Po, ma nel futuro così ogni relitto affondato, come "sensore" per il monitoraggio delle modificazioni sia geomorfologiche, sia legate alla biodiversità marina, sia ai cambiamenti climatici in atto, della baia di Valona.

RISULTATI ATTESI E CONSIDERAZIONI

Gli autori auspicano che, a breve, il relitto della Nave Ospedaliera Po possa diventare, insieme poi ai tanti altri relitti presenti lungo le coste albanesi, il punto di riferimento sperimentale per un monitoraggio basato su indagine diacronica dei cambiamenti geomorfologici e, di conseguenza bionomico-ecologici-climatici della baia di Valona. I risultati che si otterrebbero, andrebbero a costituire una forte base scientifica per avvalorare tutte le future possibili decisioni strategiche e manageriali, che devono essere prese per la gestione e pianificazione della baia e della costa di Valona, dove le trasformazioni di tipo



Figura 2. Immagine-dato MBES (a) e SSS (b) del relitto della Nave Po.

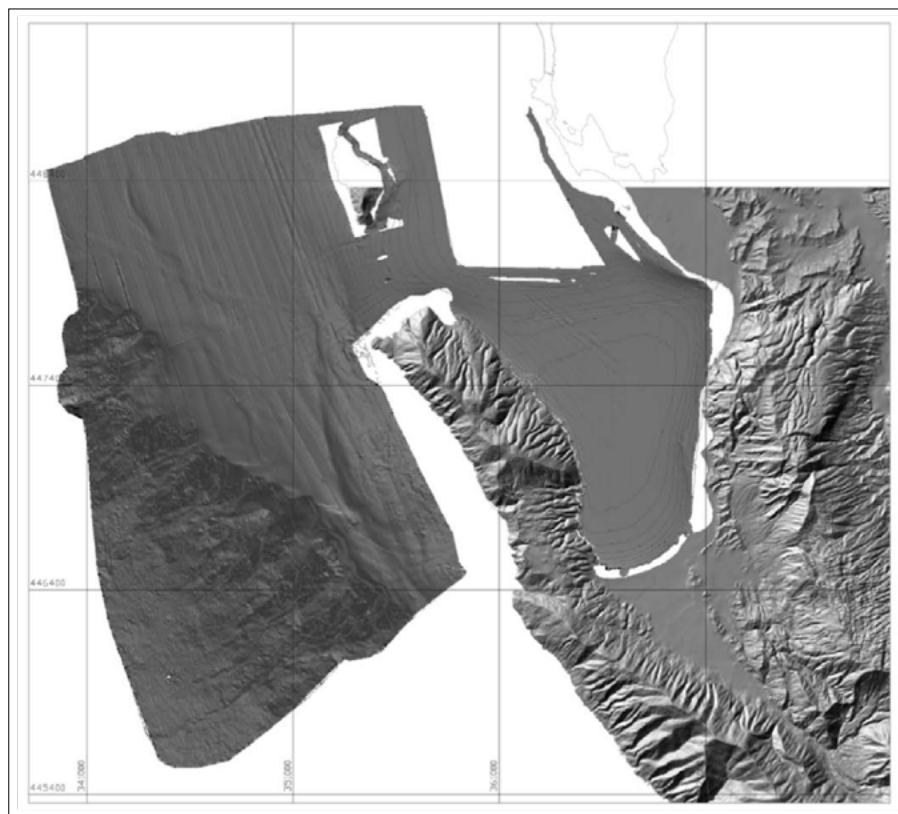


Figura 3. Mappa morfo-batimetrica del golfo di Valona con localizzazione del relitto della nave Po (s. Intervalllo delle curve di livello batimetriche di 50 m, la mappa è stata tracciata in UTM34, zona nord)

geofisico ed ambientale, sulla base dei cambiamenti climatici in atto, sono purtroppo in progressione attiva, in piena coerenza con le linee guida (MSP *Guide Lines* SPA/RAC 2020) predisposte nell'ambito della *Marine Spatial Planning* (Modugno *et al.*, 2021).

Di seguito una serie di immagini tratte da importanti lavori precedenti (Savini *et al.*, 2011) che stanno consentendo l'evoluzione dell'idea progettuale. Il progetto, nato nel 2021 e iniziato nel 2022, è ancora in corso di svolgimento e molti dati sono in elaborazione.

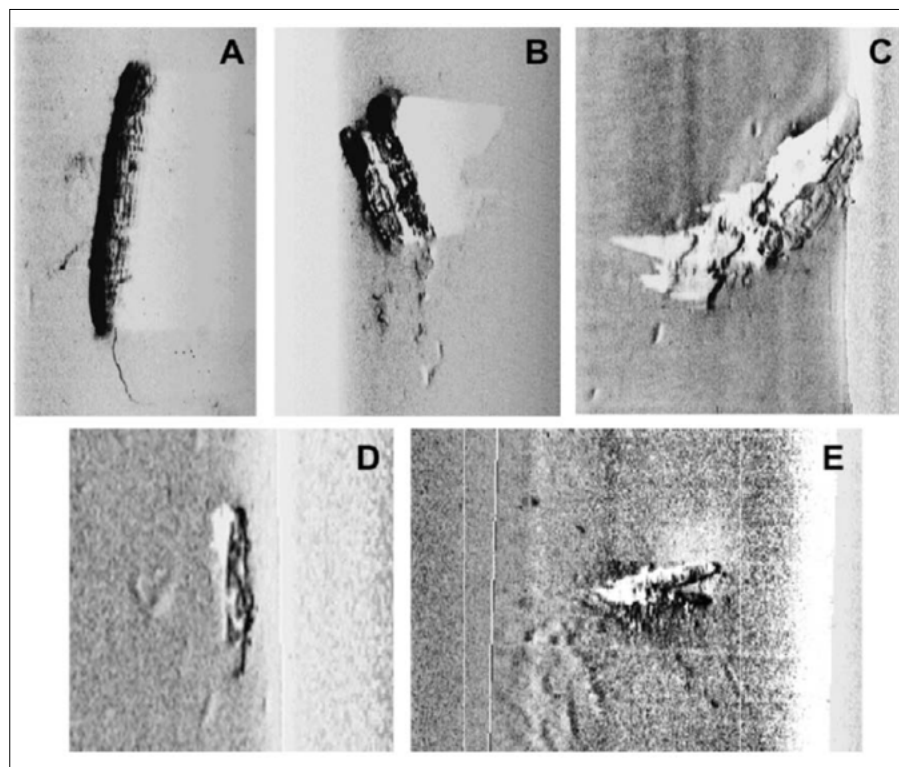


Figura 4. Istantanee tratte dai dati del sonar a scansione laterale, che rappresentano tutti i naufragi rilevati nell'area di studio. Le ubicazioni sono riportate indicativamente in Figura 1). A: Nave ospedale Po (affondata durante la Seconda guerra mondiale). B: Naufragio sconosciuto. C: incrociatore pesante Regina Margherita (Prima guerra mondiale). D: Naufragio sconosciuto (sottomarino). E: Relitto sconosciuto affondato nel settore occidentale del Golfo di Valona

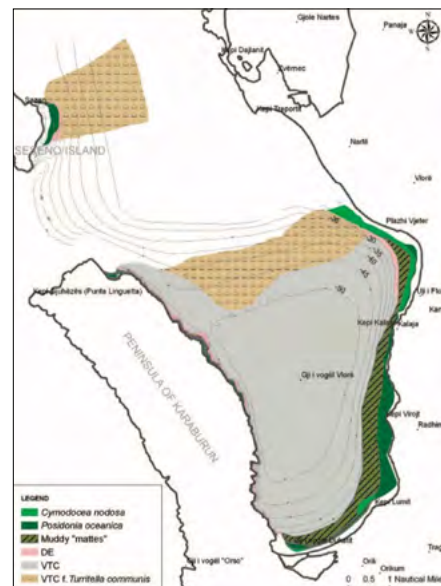


Figura 5. Mappa delle comunità bentoniche nella Baia di Valona (Maiorano *et al.*, 2011)

RINGRAZIAMENTI

Grazie a AICS Tirana per il supporto economico e il grande lavoro logistico dell'UNDP con la NAPA e il Ministero del Turismo e dell'Ambiente albanese.

BIBLIOGRAFIA

- L. VIRNO, C.; DIVIACCO, G. ROMANO, E. PULCINI, M.; PELLEGRINI, D., & DE RANIERI, S., (1998), *Osservazioni sul macrobenthos della baia di Carini (Sicilia) eseguite tramite R.O.V.*, *Biologia Marina Mediterranea*, 5(1), 596–599.
- P. MARIORANO, F. MASTROCARO, S. BEQUIRAJ, G. COSTANTINO, L. KASHTA, M. GHERARDI, L. SION, P. D'AMBROSIO, R. CARLUCCI, G. D'ONGHIA & A. TURSI (2011), *Bioecological Study of the Benthic Communities on the Soft Bottom of the Vlorë Gulf (Albania)*, *Journal of Coastal Research*. 270. 95–105. 10.2112/SI_58_9.
- S. MODUGNO, A. J. DE GRISSAC, G. MYFTIU, Z. DEDEJ & A. ZARROUK, (2021), *Preliminary results of the Marine Spatial Planning process in Vlorë Bay*. AJNTS No 53 / 2021 (XXVI), *Albanian Journal of Natural and Technical Sciences - Published By The Academy Of Sciences Of Albania*. Pagg. 47–62. ISBN: 2074-0867.
- A. MECOLLARI (2022), *Underwater naval history and cultural heritage in Vlorë bay: resting area of 806 Italian sailors and soldiers*, CIP Katalogimi ne botim BK Tirane, UNDP Albania. – Tirane : Gent Grafik, 2022 72 f. : me foto ; 21x29.7cm. ISBN 978- 9928-294-69-2
- N. PANO, M. LAZARIDOU & A. FRASHERI (2005), *Coastal management of the ecosystem Vlorë Bay-Narta Lagoon-Vjosa River Mouth*, *Albanian J. Nat. Techn. Sci.*, 11, 141–157.
- SAVINI, A., CORSELLI, C., DURMISHI, C., MARKU, S., MORELLI, D., TESSAROLO, C. (2011), *Geomorphology of the Vlorë Gulf Seafloor: Results from Multibeam and High-Resolution Seismic Data*. *Journal of Coastal Research*(58), 6–16 [10.2112/SI_58_2].

Il ruolo della Geologia Ambientale nella valutazione di potenzialità turistica e sostenibilità dell'arrampicata sportiva su pareti rocciose naturali

Michele Motta

Dipartimento di Scienze della Terra di Torino

E-mail: michele.motta@unito.it

The assessment of environmental impact and sustainability of sport climbing

Parole chiave: Pericolosità geomorfologica, Valutazione d'impatto ambientale, Sostenibilità ambientale, Arrampicata sportiva
Key words: Geomorphologic hazards, Environmental impact assessment, Environmental sustainability, Climbing

ABSTRACT

This paper shows the role of Environmental Geology in the design and management of sport climbing sites. The preventive evaluation of the tourist-sporting quality of the rock wall is fundamental for an effective success of the climbing site, in other words to ensure that the tourism created by the new site repays the investments in equipment and facilities. Equally important is the role of the Environmental Geologist in the prevention and mitigation of the "collateral damage" of climbing: soil erosion, falling debris, etc.

This paper describes some cases, both negative and positive, of enhancement and management of walls. They show that good governance is always the starting point that allows sport climbing to fully develop its characteristics of low hazard and strong attraction for sustainable tourism.

PREMESSA

Da tempo gli sport su roccia all'aria aperta non sono "sport estremi" riservati a pochi, ma attività praticate in sicurezza, almeno saltuariamente, da diverse decine di migliaia di italiani. Non richiedono investimenti importanti: attrezzare una via di arrampicata sportiva costa circa 15 – 100 euro di materiale e qualche ora di lavoro, una parete rocciosa con una ventina di vie può già richiamare un discreto afflusso di sportivi. In altri termini, con poche migliaia di euro si può creare un importante richiamo turistico anche in un'area priva di altre risorse, generandovi un indotto economico di tutto rispetto. Numerosi esempi come, per citarne solo qualcuno del territorio

italiano, le aree della Val Pennavaire e del finalese in Liguria, del lecchese in Lombardia, della Valle del Sarca nel Trentino, di San Vito lo Capo in Sicilia,

di Cala Gonone in Sardegna (Fig. 1), dimostrano senza dubbi che in tutta Italia la presenza di pareti rocciose utilizzabili per l'arrampicata, aventi adeguata qua-



Figura 1. Posizione dei siti descritti nel testo

lità sportiva (Motta & Motta, 2005a) e buona situazione climatica (Brandolini *et al.*, 2007), può diventare un potente motore di sviluppo del turismo sostenibile. Anche località ben provviste di lucrose risorse turistiche, come Finale Ligure con le sue spiagge, Bard con i suoi musei, Briançon con le sue piste sciistiche, traggono grande beneficio dallo sviluppo dell'arrampicata, perché questo sport attrae visitatori e mantiene viva la località anche nelle "stagioni morte" dell'offerta turistica principale. Nonostante ciò, persiste in molti amministratori locali una diffidenza verso questo tipo di turismo sportivo, dovuta sia al timore che il successo degli sport su roccia sia effimero, sia a perplessità sulla sostenibilità ambientale. Quando si passa da una frequentazione sporadica a una massiva, in effetti, gli sport su roccia comportano un sia pure limitato impatto ambientale, per l'attività di per sé (caduta pietre, erosione accelerata del suolo sottostante, danni alla flora, allontanamento della fauna) e per i soliti effetti collaterali della pressione turistica eccessiva che ogni attività outdoor di successo crea: parcheggi selvaggi, rumore, sconfinamenti in proprietà private, ecc. Effetti che possono essere molto pesanti per gli abitanti locali, se la zona non è stata adeguatamente predisposta all'aumento del carico turistico.

Le autorità locali, un tempo perlopiù indifferenti allo sviluppo di attività outdoor o timorose di nuove responsabilità, oggi sono da un lato molto più consapevoli del potenziale economico degli sport su roccia ma, d'altro canto, spesso si domandano quale sia il rapporto costo – benefici per i cittadini che amministrano. Il presente lavoro vuole fornire degli spunti costruttivi per questa valutazione, con l'analisi di vari esempi italiani, da problematici a virtuosi.

DISCIPLINE DI SCALATA E PARETI ROCCIOSE IDONEE

A distanza di decenni dal periodo "pionieristico" in cui l'arrampicata era mal definita come sport e praticata da pochi, la scalata delle pareti rocciose naturali si è divisa in più discipline, che richiedono pareti rocciose con caratteristiche diverse.

- Alpinismo o arrampicata "trad" (= tradizionale): prevede la salita di pareti in cui l'attrezzatura presente va integrata con protezioni amovibili. Poiché queste ultime in genere sfruttano fessure della roccia, è necessario che la parete presenti in superficie fessure larghe 0,5

– 35 cm circa, non troppo discontinue: ciò limita i tipi di rocce sfruttabili (le più adatte sono gneiss, rocce intrusive, basalti). Più esigente delle altre forme di arrampicata, ha meno adepti, perciò muove flussi turistici minori; peraltro è il tipo di arrampicata vista più favorevolmente dai gestori delle aree protette. È una disciplina praticata da amanti del rischio, pertanto è accettato che si pratichi anche su pareti non messe in sicurezza riguardo a blocchi instabili, rischio di caduta pietre dal versante più a monte, ecc.

- Arrampicata sportiva su monotiri (o "di falesia"): la parete è attrezzata fino a un'altezza massima di 40 m, con punti di assicurazione a norme CE (ferle resinare, spit-fix, ecc.) a cui agganciare rinvii in cui far passare la corda, per impedire cadute pericolose. In Francia, progettazione e attrezzatura dei siti di questa disciplina sono frutto di una concertazione tra *Ministère de la Jeunesse et des Sports*, Prefettura, Consiglio regionale, Commissione turismo dipartimentale, Direzione dipartimentale di agricoltura e foreste, *Fédération Française Montagne et Escalade* (FFME). Se la FFME certifica la corretta posa dei punti di assicurazione e ne garantisce la manutenzione, la parete è classificata sito di scalata sportiva e pubblicizzata dagli enti di promozione turistica; eventuali incidenti attribuiti a pecche nell'attrezzatura della parete o mancata individuazione di instabilità geologiche, sono coperti da un'assicurazione. In caso contrario, il sito è classificato *terrain d'aventure*: la scalata non è vietata, ma praticabile a proprio rischio e pericolo (FFME, 1993). In Italia non c'è un ente nazionale equivalente alla FFME; in genere gli Enti locali che vogliono promuovere l'attrezzatura di pareti redigono una convenzione con una sezione locale delle Guide Alpine o del Club Alpino Italiano. Inoltre, il concetto che nell'arrampicata sportiva su pareti naturali il rischio geomorfologico dev'essere molto limitato si è affermato più lentamente che in Francia; a tutt'oggi, sebbene le sentenze dei tribunali relative a incidenti si orientino in tal senso, ciò non è ancora esplicitato da una legge nazionale.

In Europa l'arrampicata su monotiri è di gran lunga la più praticata, e sfrutta moltissimi litotipi, in pratica tutti quelli con resistenza alla compressione maggiore di 250 – 300 kg/cm², non troppo fessurati e senza eccessiva fissilità. Le pareti con più successo sono le barre rocciose alte almeno 8-10 m, abbastanza lunghe da ospitare numero-

se vie l'una a fianco dell'altra, in modo che gli arrampicatori possano salirne diverse nello stesso giorno senza spostarsi molto. Queste caratteristiche le hanno specialmente le pareti create dall'erosione selettiva in formazioni rocciose sedimentarie con resistenza all'erosione molto maggiore delle rocce limitrofe, le pareti create dall'erosione lineare esercitata da ghiacciai o fiumi lungo le valli, le falesie create dall'erosione marina.

- Arrampicata sportiva su "vie lunghe": sfrutta pareti rocciose alte più di 40 m, che presentino roccia sana per tutta la loro altezza. Possono anche essere speroni rocciosi troppo stretti per ospitare un numero interessante di monotiri, salti rocciosi intervallati da cenge vegetate, o pareti con la base molto scoscesa e poco comoda. Vengono attrezzate interamente come i monotiri, ma per tutta la loro altezza. Le pareti più adatte sono quelle il cui tempo di accesso a piedi dal più vicino parcheggio è meno di un paio d'ore.

- Sassimo o *bouldering*: usa in genere massi alti da 2,5 a 10 m (soprattutto erratici o di crollo), su cui scalare slegati o assicurati dall'alto (Motta & Motta, 2004, 2005b).

È pratica corrente nell'attrezzatura di itinerari di arrampicata sportiva, il preventivo disaggio (che richiede non comune capacità professionale, perché si deve rimuovere i blocchi potenzialmente instabili senza distruggere gli appigli necessari alla scalata!) e la rimozione di terriccio e vegetazione (*gardening*), particolarmente accurata sui monotiri.

La manutenzione prevede soprattutto la sostituzione dell'attrezzatura corrosa dal tempo (tempi variabili da alcuni decenni a pochi anni, se in vicinanza del mare) o usurata dallo sfregamento della corda (ancoraggi di calata). Nei litotipi più delicati occorre anche consolidare o disgiungere i blocchi destabilizzati nel tempo dai processi di disgregazione fisica (crioclastismo, ecc.) e, se gli appigli vengono levigati o asportati dal continuo passaggio, occorre ritracciare la via di salita, o ripristinare con varie tecniche gli appigli danneggiati. Non di rado, se la parete è lasciata a sé stessa, l'attrezzatura invecchia pericolosamente e il sito viene abbandonato; la vegetazione torna a svilupparsi, e la risistemazione della parete diventa non meno onerosa dell'attrezzatura primigenia.

In Francia è la FFME ad occuparsi della manutenzione; in Italia la situazione è molto più problematica. Molte pareti sono state attrezzate da volontari che, al momento della necessaria manutenzione, non sono più in attività. Se a

questo punto nessuno controlla più l'attrezzatura, la parete viene abbandonata o, peggio, accadono incidenti. Esempio è il caso del Paretone di Machaby, presso Bard (AO), percorso da vie lunghe di arrampicata sportiva molto frequentate, attrezzate da volontari negli anni '70 - '80: una catena di sosta corrosa ha ceduto al peso degli arrampicatori appesi ad essa, causando un incidente mortale, e un altro incidente mortale è occorso a un cliente di guida che si è perso nel sentiero di discesa. In seguito a questi fatti il comune si è assunto la gestione del sito, incaricando le Guide Alpine di riattrezzare interamente parete e sentieri di accesso e discesa: una soluzione onerosa, ma che ha consentito di mantenere alto l'afflusso di arrampicatori, con le conseguenti benefiche ricadute sull'economia locale.

Un'altra soluzione è quella di finanziare associazioni di volontari che si occupano della richiodatura, contribuendo alle spese vive: è la soluzione, ad esempio, praticata nel Finalese ligure, dove l'enorme numero di vie (quasi 3000!) rende troppo onerosa una soluzione tipo Machaby, e gli amministratori pubblici, non essendo praticanti dello sport, avrebbero difficoltà nell'individuare le priorità d'intervento.

PROSPETTIVE DI SVILUPPO DELL'ARRAMPICATA SPORTIVA NELL'ITALIA NW

La Fig. 2 mostra la tipica evoluzione di un centro di arrampicata sportiva, quello di Castelbianco - Colletta - Veravo, nato in una valle dell'entroterra ligure, la Pennavaire, in precedenza pressoché priva di risorse turistiche. La valle ha una struttura tettonica a falde poco inclinate, in cui l'erosione selettiva modella le pareti calcaree alte sui 10 - 50 m e lunghe da qualche decina ad alcune centinaia di metri. Troppo difficili e brevi per gli alpinisti di un tempo, sono state "scoperte" solo nel 1989, da arrampica-

tori che abitualmente attrezzavano vie nella vicina zona di Finale Ligure. Dopo le prime sporadiche chiodature (1989 - 2002), le pareti della valle hanno rapidamente acquistato fama di ottima qualità. Il ritmo di chiodatura di nuove vie, pur presentando oscillazioni (dovute al tempo necessario per predisporre alla chiodatura nuove pareti), è diventato molto alto, senza calare nemmeno nel periodo del COVID. A marzo 2022 le vie sono già ben 1810 e le strutture ricettive locali, nel 1989 una sola e con attività molto modesta, oggi superano la trentina.

L'esempio della Val Pennavaire mostra senza dubbio che, nonostante in Italia NW l'arrampicata sportiva sia comparsa circa un secolo fa, è tutt'ora in fase di espansione; a maggior ragione si può prevedere la nascita e lo sviluppo di molti siti di scalata nelle aree rocciose degli Appennini finora poco sfruttate dagli sport *outdoor* per la scarsa quota, che per lo stesso motivo sono al contrario adattissime all'arrampicata sportiva, consentendola per quasi tutto l'anno.

IL RUOLO DELLA GEOLOGIA AMBIENTALE

Gli aspetti di competenza del Geologo Ambientale sono essenzialmente tre.

Valutazione della potenziale qualità turistico-sportiva, calcolando un indice che, partendo dai parametri morfologici e climatici della parete rocciosa (o di un gruppo di pareti) e dalla sua posizione rispetto alle *facilities*, ne misuri l'attitudine a diventare abbastanza attraente da attivare un flusso turistico che ripaghi gli investimenti necessari per attrezzare le vie di scalata e le necessarie strutture di complemento (base parete, sentiero di accesso, parcheggi, cartellonistica...).

Valutazione delle pericolosità attinenti l'attività sportiva sulla specifica parete (distacco spontaneo di blocchi, distacchi provocati di appigli, pericolosità climatica...).

Mitigazione degli impatti ambientali: erosione accelerata al piede della parete e lungo l'accesso, delimitazione e protezione delle proprietà private limitrofe, ecc.

LA QUALITÀ TURISTICO-SPORTIVA

Sono rari i casi limite come quello della parete di Mezenile (TO), dotata di ottima attrezzatura CE e cartellonistica grazie a fondi Leader+ europei, ma abbandonata immediatamente dopo l'inaugurazione per la pessima qualità sportiva (<https://www.gulliver.it/itinerari/mezenile-roc-picoun-falesia/>), che sarebbe stata immediatamente evidenziata da un'analisi preliminare. Sono però non rare le concessioni di contributi pubblici per la chiodatura di siti non del tutto infrequentabili, ma che non ripagheranno mai dell'investimento: ad esempio, in Piemonte, Lou Roc (Ingria). Un analogo errore di valutazione è fatto talvolta anche da volontari non pagati: così, la schiodatura di due vie al Caire di Porcera (Valle Gesso) è, come pubblicato il 14.11.2022 su www.cuneoclimbing.it, "dovuta alle poche ripetizioni (...), il materiale recuperato verrà riutilizzato per qualcosa di più appetibile".

È ovvio che, agli albori dell'arrampicata sportiva i chiodatori, attrezzando di tasca propria, abbiano scelto le pareti con roccia e conformazione più adatta, più comode, nei paesaggi più belli. È altrettanto ovvio che, col tempo, si attrezzino pareti sempre più distanti, sempre meno interessanti, sino a "raschiare il fondo del barile", sfruttando anche pareti decisamente poco adatte, a volte non per una minore qualità dell'arrampicata, ma per problemi di stabilità geomorfologica della parete o del versante di accesso, conflittualità con i proprietari dei terreni, nidificazione di specie protette, ecc. In questi casi enti di protezione ambientale o popolazione

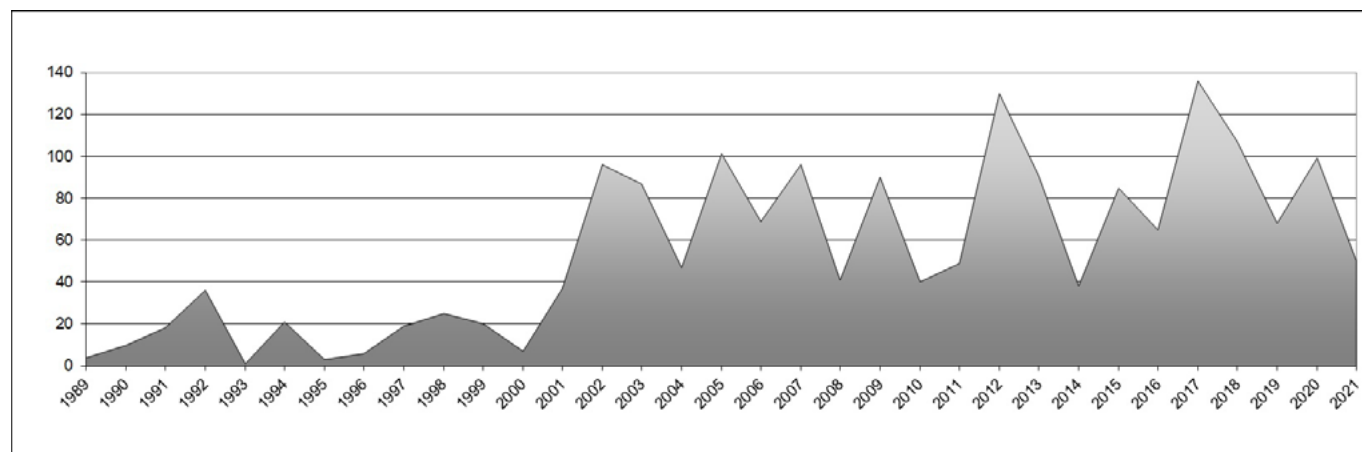


Figura 2. Numero di vie di roccia attrezzate ogni anno in Val Pennavaire. Dati elaborati da Burroni & Felanda, 2022).

locale spesso premono sui sindaci per limitare/vietare la scalata, e una decisione razionale in tal senso dovrebbe sempre derivare da una sorta di valutazione di impatto ambientale, ossia dal confronto fra benefici delle ricadute economiche e sociali, aspetti negativi, spese per gli eventuali interventi di mitigazione. Per una nuova parete da attrezzare è inoltre fondamentale il riconoscimento preventivo della sua potenzialità turistico-sportiva. A questo scopo Motta & Motta (2005a) presenta un indice di potenzialità d'uso delle pareti da scalata (IPTS), calibrato sulla situazione geomorfologica e sociale delle Alpi Occidentali. I punteggi dei parametri usati per calcolare l'indice sono stati calibrati misurando la frequentazione di un centinaio di siti già esistenti in Italia NW e Francia SE. Esso è stato applicato in diverse situazioni pratiche, dall'individuazione dei siti più promettenti nel Parco dell'Aveto (Brandolini, Faccini *et al.*, 2007), alla valutazione preventiva delle variazioni di *appeal* conseguenti le varie opzioni di un progetto di risistemazione dei siti d'arrampicata del comune di Borgone (TO). L'indice è valido non solo nell'Italia NW, ma anche in realtà europee con climi molto differenti, come le Canarie (Motta & Motta, 2007). Opportuni adattamenti nel punteggio delle varie voci vanno invece previsti per altri contesti sociali (ad esempio, nel Nordamerica la distanza dai centri abitati ha un'importanza molto minore che in Europa).

LA VALUTAZIONE DELLE PERICOLOSITÀ

Valutazioni più o meno dettagliate e aggiornate della pericolosità climatica sono disponibili in alcuni siti web specializzati (ad esempio, *meteoFrance* e *campocamp* in Francia, *gulliver* in Italia). In essi la pericolosità di una parete è valutata con un rudimentale sistema a posteriori, basato sui *feedback* di chi ci è stato (ad esempio, rischio di colpo di calore nei mesi caldi, parete molto pericolosa durante i temporali, ecc.). Nonostante gli evidenti limiti, questa valutazione è comunque più obiettiva di quella disponibile prima della diffusione di Internet, affidata al più o meno interessato ottimismo o catastrofismo dei redattori delle topoguide descrittive (Motta, 2007). Alcuni siti web pubblicano anche segnalazioni di pericolosità geomorfologiche, purtroppo il più delle volte poco affidabili, perché sensazionalistiche e provenienti da persone prive di competenze geologiche; inoltre certi siti tendono a smussare, se

non addirittura a censurare, segnalazioni che potrebbero provocare interventi di chiusura d'autorità dei siti.

Da una ventina d'anni (Amanti *et al.*, 1998; Motta *et al.*, 2005a e b; Brandolini *et al.*, 2007) è stata sviluppata una metodologia standardizzata di rilevamento e valutazione della pericolosità geomorfologica in aree turistiche, comprese le pareti per arrampicata sportiva (Motta *et al.*, 2010). Purtroppo non ha avuto la diffusione che meritava presso gli Enti locali, i cui provvedimenti variano fra l'eccesso di chiusure generalizzate in seguito a singole segnalazioni non verificate da professionisti (vedi l'esempio di Brossasco descritto più avanti) e l'eccesso opposto di un disinteressamento totale, quando il sito è un'attrazione così importante economicamente da escludere a priori divieti di accesso che rischiano di allontanare il turismo. Esempio il caso della scalata al Monte Bianco, che nell'estate 2022 formalmente è stata solo sconsigliata, nonostante l'aumento di pericolosità evidenziato dalla tragedia della Marmolada. Per fortuna, come vedremo, esistono anche esempi di atteggiamento costruttivo, che seguono criteri più scientifici.

LA "SCELTA DI CHIUSURA": I CASI DEL VALLONE DI GILBA (BROSSASCO, CN) E DELLA VALLE URTA (FINALE LIGURE, SV)

A Brossasco l'ENEL nel 2015 ha concesso l'uso di Rocca Curbiera, una ex-cava, per realizzarvi un sito di arrampicata sportiva. Arenatosi l'originario progetto di intervento comunale su contributo regionale, un istruttore del CAI ha attrezzato in volontariato, con materiale di ottima qualità CE, 65 vie nell'ex-cava e in due pareti vicine. Sul risultato ci sono stati alcuni pareri negativi per la fragilità e scivolosità della roccia (derivanti dell'antico uso come cava), comunque il sito è diventato immediatamente molto frequentato, apparentemente destinato a diventare il maggiore centro d'arrampicata sportiva della Val Varaita. Ma poco tempo dopo l'inaugurazione è accaduto un incidente: una guida alpina, afferrando un blocco (peraltro fuori via, e marcato come da non toccare!), l'ha fatto crollare, per fortuna senza gravi conseguenze. Polemiche seguite all'incidente hanno spinto il sindaco di Brossasco ad emettere il 19 luglio 2017 un'ordinanza di divieto di arrampicata a Rocca Curbiera "sino ad accertamento della sussistenza delle condizioni di sicurezza", e

di "divieto di utilizzo di qualsiasi sito di arrampicata sportiva, presente nel territorio comunale, che non sia regolarmente autorizzato e collaudato ai sensi della normativa vigente". L'ordinanza si traduce, non essendoci in Italia una normativa analoga a quella in precedenza descritta per la Francia, con un bando a tempo indeterminato dell'arrampicata sportiva dal Vallone di Gilba.

Altro esempio negativo è la Valle Urta (Finale Ligure). Ricca di pareti per l'arrampicata sportiva di altissima qualità (17, con diverse centinaia di vie), è attraente, ma ha pochi parcheggi ed è accessibile con una strada molto stretta, riservata al traffico dei residenti. In considerazione dell'indotto turistico, il comune ha comunque tollerato per anni che la strada fosse percorsa anche dalle auto degli scalatori, fino all'organizzazione di un *meeting* che ha attirato un tale numero di auto da bloccare completamente la valle per un paio di giorni. Alle più che giuste proteste dei residenti, è seguito il divieto di sosta in quasi tutta la valle. Ciò a sua volta ha irritato gli scalatori e, sebbene col ritorno alla normale frequentazione è tornata una certa tolleranza, oggi si nota un'evidente diminuzione degli arrampicatori nella valle, a beneficio delle altre valli liguri e a discapito dell'economia locale.

ESEMPI VIRTUOSI: CAVA DI BORGONE, LOS AREA, PARETE DEI TORNETTI

Vicenda opposta a quella di Brossasco è quella di Borgone (Valle Susa, TO). Anche qui un piccolo crollo, segnalato da una cordata al Comune, ha comportato un'ordinanza di chiusura di una ex-cava usata da anni per l'arrampicata sportiva. In questo caso, però, il Comune, riconoscendo l'indotto economico dell'arrampicata sportiva, si è immediatamente adoperato per creare le condizioni di riapertura del sito e, in attesa di un contributo pubblico per sistemare tutte le pareti (e i relativi parcheggi) del territorio comunale, ha rapidamente fatto mettere in sicurezza l'ammasso roccioso instabile. Borgone è così tornata a essere uno dei tre maggiori centri di scalata della Valle Susa, con un numero di presenze valutabile sulle 1200 - 8000 visite/anno.

Positivo anche il caso di Tornetti, una frazione della Valle di Viù (TO) sovrastata da una parete rocciosa. Qui l'attrezzatura delle vie di arrampicata sulla parete ha comportato il controllo sistematico e la messa in sicurezza dei blocchi instabili, con piena soddisfazione



Figura 3. Tipico sito di monotiri di arrampicata sportiva, Ferentillo (Umbria) ha la base parete spianata e liberata dagli arbusti, e la parete soprastante le vie di arrampicata consolidata per evitare distacchi di detriti rocciosi

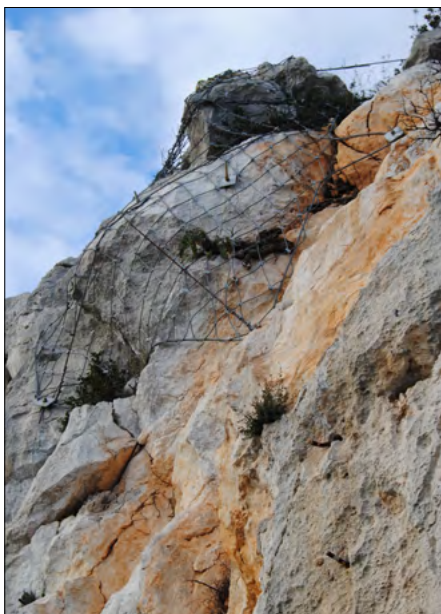


Figura 4. Alla Tête de Chien (Monte-Carlo) importanti lavori di stabilizzazione della parete Loubière, necessari per la sicurezza della strada sottostante, sono stati fatti con il minimo impatto visivo e senza impedire l'arrampicata nella parte inferiore della parete, per preservare quello che è uno dei maggiori centri di scalata della Costa Azzurra

ne degli abitanti, che perciò (al contrario che nella Valle Urta) sopportano di buon grado l'afflusso di gente estranea.

La vicenda della Los Area, parete sovrastante le case della frazione Colombé di Chianocco (TO) è stata un po' più travagliata. Ex-cava chiodata negli anni '80, per anni ha visto scontri verbali fra arrampicatori e alcuni abitanti delle case vicine, che vedevano violata la propria privacy e premevano per una sua chiusura. La pratica della scalata ha però permesso di scoprire, fortunatamente prima del crollo, lo sviluppo di una destabilizzazione dell'ammasso roccioso che avrebbe potuto avere conseguenze tragiche sulle case sottostanti. Gli interventi pubblici hanno comportato:

- la messa in sicurezza delle masse rocciose destabilizzate;
- la destinazione ufficiale del terreno alla base della parete ad area sportiva, debitamente delimitata e separata dai terreni privati;

- l'ammodernamento dell'attrezzatura delle vie di scalata e la loro armonizzazione con le opere di messa in sicurezza.

Grazie a tali opere, da alcuni anni abitanti e sportivi convivono civilmente.

LE OPERE DI MITIGAZIONE

La mitigazione degli impatti, visto l'ambiente naturale in cui si opera, è principalmente di competenza dell'Ingegneria Naturalistica, che a tale scopo ha sviluppato metodologie ampiamente collaudate, insegnate in molti corsi universitari e non. L'applicazione pratica di queste metodologie è però la norma solo nei siti di arrampicata gestiti più o meno direttamente dagli enti locali, mentre spesso non si fa niente, o si usano metodi inefficaci e materiali "bricolage" sotto-dimensionati, nelle pareti attrezzate da volontari e non gestite.

I principali interventi riguardano:

Blocchi instabili: vanno il più possibile stabilizzati e non disgiunti, per limitare l'impatto visivo e, sovente, perché rappresentano l'unica possibilità di salita. Perciò si preferiscono a soluzioni come georeti o copertura con cemento (Fig. 3), efficaci ma impattanti, soluzioni con minore impatto sulla superficie della parete, come ancoraggi pretesi, consolidamento dei punti di contatto con malta cementizia, ecc. (Fig. 4), che richiedono più progettazione e lavoratori specializzati (in genere Guide Alpine).

Base parete: vanno predisposte piazzole pianeggianti, sia per facilitare lo stazionamento in sicurezza di chi assicura gli scalatori, sia per limitare l'area di calpestio e la conseguente erosione del suolo. Le soluzioni più frequenti sono opere di legname simili a palizzate semplici, aventi il difetto di non essere durevoli poiché, al contrario che nelle opere di Ingegneria Naturalistica vere e proprie, il calpestio impedisce che nel tempo la vegetazione sostituisca il manufatto nell'azione di sostegno del terreno. Danno migliori risultati le opere in pietrame a secco (notevoli, ad esempio, quelle realizzate sotto la Parete dei Gumbi di Toirano, Fig. 5).

Accesso sentieristico: senza sentieri appositamente predisposti, gli scalatori tendono a creare tracce di accesso molto ripide, causa di intensa erosione dei suoli. Perciò, ad esempio, i sentieri di accesso alle pareti di Saou (Drome, F), su suoli rendzina molto fragili, sono stati sistematicamente ritracciati dai forestali, sbarrando le scorciatoie con arbusti (Fig. 6) e spezzando la continuità dei



Figura 5. La soluzione più duratura ed efficace di sistemazione di versanti scoscesi è la creazione di terrazze in pietrame a secco, che migliorano la qualità turistico-sportiva della parete e delimitano bene l'area usata dagli scalatori, limitando i danni a suoli e vegetazione circostanti (nella foto: parete dei Gumbi, Toirano, SV).

tratti più ripidi con gradini realizzati come le palizzate semplici.

CONCLUSIONI

L'arrampicata sportiva, se ben governata, ha alta sostenibilità e bassa pericolosità, ed è tutt'ora in forte sviluppo. Da un lato ciò assicura un ritorno agli investimenti in attrezzature; d'altro canto il progressivo aumento delle pareti attrezzate, estendendosi anche ad aree meno adatte, rende ormai quasi ineludibile lo studio di fattibilità per i nuovi siti, al fine di evitare sprechi di denaro pubblico o l'attrezzatura in zone pericolose. L'aumento progressivo di frequentazione delle pareti rocciose, l'evidente suc-

cesso turistico dei centri di scalata ben sviluppati, la crescente attenzione alle problematiche di responsabilità legale, sono fattori che richiedono maggiore professionalità nella progettazione e gestione dei siti di arrampicata su roccia naturale. È ampiamente prevedibile che il Geologo Ambientale sarà sempre più chiamato a supportare gli Enti locali chiamati a gestire siti di scalata.

Infine, i casi di studio descritti evidenziano la necessità di un approccio legislativo a livello nazionale, simile a quello francese, per contemperare le esigenze di sicurezza, definizione delle responsabilità, mantenimento dell'attività sportiva e dei suoi benefici economici sul territorio.



Figura 6. I siti di scalata tendono ad essere raggiunti con ripide scorciatoie, causa di erosione dei suoli. All'Aiguille de la Ceyte (Saou, F) è stato appositamente tracciato con la giusta pendenza e ben segnalato un solo sentiero ufficiale, mentre le scorciatoie sono state ostruite con ramaglie derivanti dai lavori di apertura del sentiero, in modo da permettervi la ricrescita della vegetazione

BIBLIOGRAFIA

- AMANTI M., PECCI M., SCARASCIA MUGNOZZA G., VITTORI E. (1998), *Rehabilitation of Decommissioned Rock Quarries for Recreation and Leisure: Case Studies in Italy*, II Int. Conference on Environmental Management - Wollongong (AUS) 10-13/02/1998, Environmental Management, Elsevier, Amsterdam, v. 2.
- BRANDOLINI P., FARABOLINI P., MOTTA M., PAMBIANCHI G., PELFINI M., PICCAZZO M. (2007), *La valutazione della pericolosità geomorfologica in aree turistiche*, in: PICCAZZO M. (ed.): *Clima e rischio geomorfologico in aree turistiche*, Patron, Bologna.
- BRANDOLINI P., FACCINI F., MOTTA M., SCHIAFFINO N. (2007), *Analisi della potenzialità turistico-sportiva e della pericolosità geomorfologica delle pareti per l'arrampicata nel Parco dell'Aveto*, in: PICCAZZO M. (ed.): *Clima e rischio geomorfologico in aree turistiche*, Patron, Bologna.
- BURRONI R., FELANDA M. (2022), *Roc Pennavaire (II ed.)*, Geko, Avegno.
- FFME (1993), *Consignes Fédérales de sécurité pour l'escalade en site naturel et l'alpinisme*, FFME CD 83, Toulouse.
- MOTTA L., MOTTA M. (2004), *Valore ambientale dei massi erratici valsusini e prospettive di sviluppo come risorsa turistica*, in: F. ADAMO (ed.): *Turismo e territorio in Italia. I. Contributi alle Giornate di Geografia del Turismo 2001-2002*, 365-399, Patron, Bologna.
- MOTTA L., MOTTA M. (2005a), *Valutazione della potenzialità d'uso turistico-sportivo di un sito naturale: l'esempio delle pareti rocciose usate per l'arrampicata*, in: TERRANOVA R., BRANDOLINI P., FIRPO M. (eds.): *La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale*, Patron, Bologna.
- MOTTA L., MOTTA M. (2005b), *Valutazione d'impatto ambientale negli usi possibili di un bene paesaggistico: l'esempio dei massi erratici valsusini*, in: TERRANOVA R., BRANDOLINI P., FIRPO M. (eds.): *La valorizzazione turistica dello spazio fisico come via alla salvaguardia ambientale*, Patron, Bologna.
- MOTTA L., MOTTA M. (2007), *Limitazioni geomorfologiche e climatiche dell'arrampicata sportiva sulle pareti di Tenerife (Canarie)*, in: DI BLASI L. (ed.): *Geografia Dialogo tra generazioni*, Patron, Bologna.
- MOTTA M. (2007) *La percezione del rischio geomorfologico negli sport all'aria aperta*, in: PICCAZZO M. (ed.): *Clima e rischio geomorfologico in aree turistiche*, Patron, Bologna.
- MOTTA M., PANIZZA V., PECCI M. (2005a), *Geomorfologia applicata. Arrampicata sportiva in cordata. Per conoscere meglio le pareti di roccia, valorizzarne le potenzialità e affrontarne le criticità (prima parte)*, SLM (Sopra il Livello del Mare) n. 23.
- MOTTA M., PANIZZA V., PECCI M. (2005b), *Geomorfologia e arrampicata sportiva in cordata. Per conoscere meglio le pareti di roccia, valorizzarne le potenzialità e affrontarne le criticità (seconda parte)*, SLM (Sopra il Livello del Mare) n. 24.
- MOTTA M., PANIZZA V., PECCI M. (2010), *Geomorphological hazard assessment on natural rock wall for free climbing practice*, in: CORATTA P., PANIZZA M. (eds.): *Geomorphology and Cultural Heritage*, Mem. Descr. Carta Geologica d'Italia n. 87.

Il potenziale geotermico del Viterbese

Marcello Viti

Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'Ambiente - Università degli Studi di Siena

E-mail: marcello.viti@unisi.it

The geothermal potential of the Viterbo area

Parole chiave: Energia geotermica, Lazio settentrionale, Vulcanismo plio-quadernario
Key words: Geothermal energy, Northern Latium, Pliocene-Quaternary volcanism

ABSTRACT

The magmatic processes that affected the Tyrrhenian sector of the Italian peninsula in the Pliocene and Quaternary are responsible for the conspicuous thermal anomaly, highlighted by the high surface heat flux and by the rapid increase in temperature with depth. Furthermore, the local geology has often allowed the formation and persistence of important hydrothermal geothermal systems, potentially exploitable for the production of electricity or for direct heating.

This paper deals with the situation in the Viterbo area, where the geothermal systems of Latera and Torre Alfina were discovered decades ago. The analysis of the rich documentation contained in the inventory of Italian geothermal resources has made it possible to evaluate the geothermal potential of each municipality in the Viterbo province (*Provincia di Viterbo*), in order to plan further research aimed at identifying and exploiting geothermal reservoirs, in compliance with the environmental protection and resource sustainability.

1. INTRODUZIONE

La recente crisi internazionale ha posto in primo piano il problema energetico italiano. L'aumento incontrollato dei prezzi delle materie prime e la riduzione delle forniture di gas naturale dall'estero hanno compromesso la ripresa economica, da tutti auspicata dopo l'emergenza pandemica. In modo repentino, siamo tornati al clima degli anni Settanta del secolo scorso, segnati dalle crisi petrolifere legate alle turbolenze politiche del Vicino Oriente.

In quella stagione, si pensava di risolvere la debolezza energetica italiana mediante un piano di sviluppo dell'industria elettronucleare, tenendo conto dell'esempio francese. Tale impostazione è stata poi abbandonata, sia per i problemi legati alla sicurezza nucleare, sia per la maggiore disponibilità globale di combustibili fossili, in particolare del gas naturale che ha ormai assunto un

ruolo centrale. Inoltre, la relativa stabilità dei prezzi sui mercati internazionali ha determinato la progressiva riduzione della produzione nazionale di idrocarburi, peraltro da sempre molto inferiore alla domanda interna.

In definitiva, l'attuale crisi ha colpito un Paese assai dipendente dalle forniture estere ed ancora lontano dal completamento della cosiddetta transizione energetica, basata sulle fonti rinnovabili come l'energia solare (termica e fotovoltaica), l'energia eolica e le biomasse. A tali fonti si deve aggiungere l'energia geotermica, che può essere usata sia per la produzione dell'energia elettrica, sia per la climatizzazione degli edifici (riscaldamento e raffrescamento), aiutando così a ridurre l'uso di combustibili fossili e contrastare la concomitante crisi climatica globale.

Questa nota descrive le potenzialità geotermiche del territorio viterbese. L'obiettivo principale è quello di rendere noto il vasto archivio di pubblico dominio, denominato *Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali*, che raccoglie quanto emerso dalle indagini portate avanti in tutto il territorio italiano da oltre mezzo secolo.

2. GEOLOGIA DEL VITERBESE

L'autore di questa nota ha già fornito un quadro aggiornato dell'industria geotermoelettrica italiana su *Geologia dell'Ambiente* (Viti, 2021). Altri recenti contributi precisano i molteplici aspetti geologici, ingegneristici ed ambientali dell'industria geotermica (Viti e Tavarnelli, 2018; Viti, 2019a,b; 2020). Pertanto, in questo studio verranno richiamate solo le informazioni utili per la discussione, mentre per i dettagli si rimanda alle pubblicazioni sopra citate ed agli studi specifici reperibili in letteratura (e.g., Barberi *et al.*, 1994; Buonasorte *et al.*, 1995; Vignaroli *et al.*, 2013; Petracchini *et al.*, 2015).

L'ambito della presente trattazione è ristretto al Viterbese, che faremo coincidere con l'attuale Provincia di Viterbo

adottando un criterio amministrativo piuttosto che storico. D'altra parte, restringere la zona geografica di interesse rende possibile una discussione approfondita, pur rispettando i vincoli editoriali.

Il territorio viterbese, come sopra definito, abbraccia un'area di 3.615,24 chilometri quadrati, abitata da 312.864 residenti secondo i dati del censimento nazionale 2011 (www.istat.it). Tale superficie è frazionata in 60 Comuni, come illustrato dalla *Fig. 1*.

La strutturazione dell'attuale sistema Mar Tirreno-Catena appenninica è stata accompagnata da imponenti processi magmatici, che hanno prodotto le province vulcaniche toscana, romana, campana, sarda e sicula (Peccerillo, 2005). In particolare, il più recente magmatismo quaternario è ritenuto responsabile dell'anomalia termica che caratterizza le principali zone geotermiche italiane, come il Lazio settentrionale cui appartiene l'area considerata in questo studio.

La geologia del Viterbese può essere descritta cominciando dalla distribuzione degli affioramenti delle Unità tettono-stratigrafiche la cui età di formazione è precedente al Miocene superiore (Tortoniano, circa 12 milioni di anni fa). Tale substrato pre-tortoniano è formato da una pila di falde tettoniche che dall'alto verso il basso comprende le Unità Liguri, la Falda Toscana, la Successione Umbro-Marchigiana ed il sottostante Basamento paleozoico. Il substrato, assai deformato, è il prodotto della tettonica compressiva che ha generato l'Appennino settentrionale e della successiva estensione crostale post-tortoniana, che ha generato anche il Mar Tirreno settentrionale.

Nel Viterbese e dintorni si distinguono tre importanti dorsali strutturali e morfologiche pre-tortoniane, disposte circa nord-sud (*Fig. 1*). La più occidentale è la dorsale del Monte Amiata, che borda la valle del fiume Paglia. Ad oriente di tale depressione si distende la dorsale del Monte Cetona. La Val di

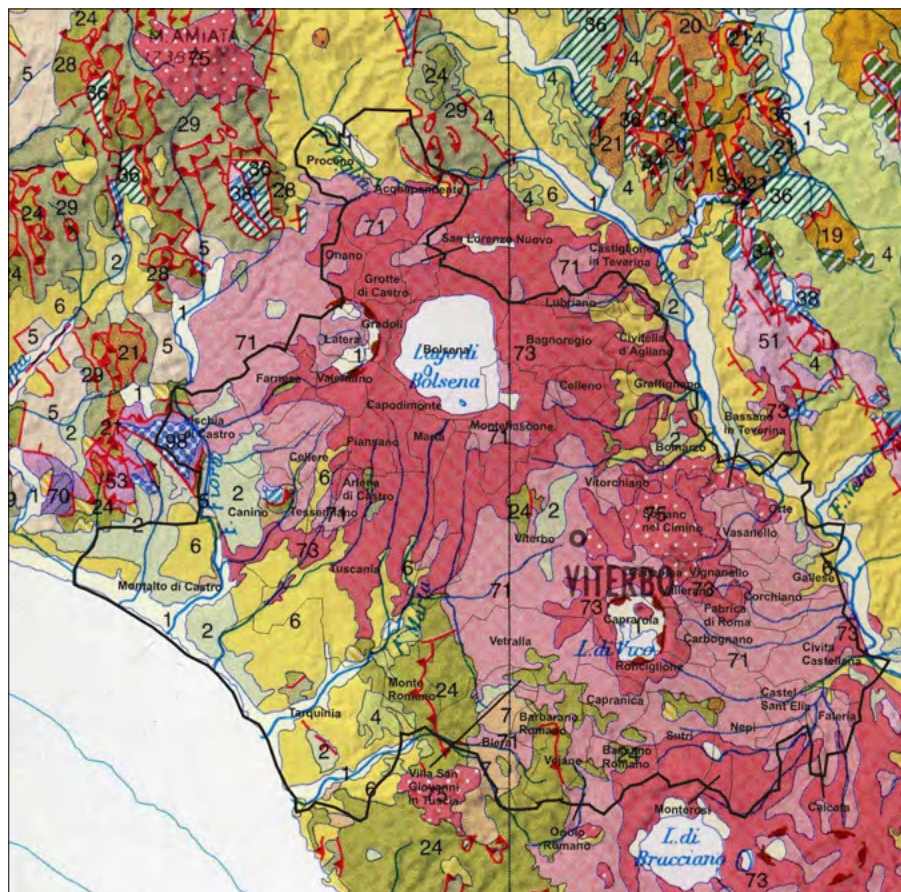


Figura 1. Geologia del Viterbese e zone circostanti, tratta dalla Geological Map of Italy (Compagnoni & Galluzzo, 2004). I numeri sopra i colori indicano le Unità tettono-stratigrafiche: 1) depositi continentali e paralicci (Olocene) 2) depositi continentali e paralicci (Pleistocene) 4) depositi continentali e paralicci (Pliocene-Pleistocene) 5) depositi continentali e paralicci (Miocene superiore) 6) depositi marini (Pliocene-Pleistocene) 7) depositi marini (Messiniano) 19) depositi sin-orogenici d'avanfossa (Langhiano-Tortoniano) 20) depositi sin-orogenici d'avanfossa (Aquitano-Langhiano) 21) depositi sin-orogenici d'avanfossa (Oligocene-Burdigaliano) 24) depositi sin-orogenici d'avanfossa (Cretaceo superiore-Eocene) 28) depositi su dominio oceanico ed associate ofioliti (Cretaceo superiore-Eocene) 29) depositi su dominio oceanico ed associate ofioliti (Giurassico medio-Oligocene) 34) depositi su dominio continentale (Cretaceo-Tortoniano) 36) depositi su dominio continentale (Cretaceo-Miocene inferiore) 38) depositi su dominio continentale (Giurassico-Cretaceo inferiore) 51) calcari e dolomie (Triassico-Giurassico inferiore) 53) dolomie ed evaporiti (Triassico medio-superiore) 70) depositi continentali e paralicci (Carbonifero superiore-Triassico medio) 71) rocce vulcaniche: rioliti, riodaciti, trachiti e latiti (Pleistocene-Olocene) 73) tefriti, fonoliti, foiditi, melilititi e carbonatiti (Pleistocene-Olocene) 75) rocce vulcaniche: rioliti, riodaciti, pantelleriti (Pliocene-Pleistocene-Olocene) 98) rocce metamorfiche: filladi, micascisti, gneiss e marmi (ciclo ercinico)

Chiana e la valle del fiume Tevere separano tale rilievo dall'allineamento Monte Peglia - Monti Amerini - Monti di Narni. Al confine con la Toscana, lungo la valle del fiume Fiora, viene a giorno il complesso metamorfico paleozoico del Monte Bellino.

Occorre notare che nel Viterbese il substrato pre-tortoniano affiora con una certa continuità solo nel settore meridionale (da Monte Romano a Sutri), essendo altrove coperto dai depositi continentali e marini post-tortoniani e dalle vulcaniti pleistoceniche. Per esempio, il substrato scompare sotto la spessa coltre vulcanica dei Monti Vulsini, per poi venire di nuovo a giorno con il piccolo lembo del Monte Razzano, presso Viterbo.

I depositi post-tortoniani affiorano presso le valli del Paglia (Proceno ed Acquapendente) e del Tevere (Civitella d'Agliano, Graffignano, Bomarzo, Orte e Gallese). Maggior rilievo ha il vasto

bacino di Montalto di Castro - Tarquinia - Tuscania, che copre la costa tirrenica dalla valle del Fiora ai Monti della Tolfa, i quali segnano il confine con la Provincia di Roma.

Gran parte del Viterbese è coperto da vulcaniti pleistoceniche di composizione varia, ancorché caratteristica (Fig. 1). Infatti, si rinvencono carbonatiti, foiditi, fonoliti, latiti, melilititi, pantelleriti, riodaciti, rioliti, tefriti e trachiti, con abbondanti depositi piroclastici (Peccerillo, 2005). Le rocce vulcaniche più antiche, con età da 1,3 a 0,8 milioni d'anni, appartengono alla Provincia petrologica toscana (Torre Alfina e Monti Cimini). Le rocce più recenti, con età da 0,6 a 0,1 milioni d'anni, appartengono invece alla Provincia romana (Monti Vulsini e Lago di Vico). Le strutture vulcano-tettoniche (caldere) di Latera, del Lago di Bolsena e del Lago di Vico giocano un ruolo preminente sia dal punto di vista geomorfologico che strutturale.

Il regime di deformazione che ha accompagnato i suddetti episodi vulcanici è di tipo transtensivo, con faglie normali orientate da nord-ovest a sud-est, tagliate da faglie trascorrenti (o normali oblique) sinistre, orientate da nord-est a sud-ovest (Acocella e Funicello, 2006). Tale fitto reticolo di fratture ha favorito la risalita dei magmi e la formazione di vasti edifici vulcanici, ubicati proprio all'intersezione dei principali sistemi di faglie. Sebbene i suddetti vulcani appaiano al momento inattivi, la presenza nella crosta di magma, rocce in parte fuse o intrusioni solide di età inferiore al milione di anni giustifica la cospicua anomalia termica osservata nel Viterbese.

3. GEOTERMIA NEL VITERBESE

Molteplici rilievi di tipo geologico e geofisico hanno permesso di formulare modelli attendibili sull'assetto stratigrafico e tettonico del Lazio settentrionale. La perforazione di numerosi pozzi ha poi precisato le ipotesi iniziali, soprattutto per quanto riguarda la porzione più superficiale della crosta, comprendente l'intera copertura sedimentaria (Triassico-Attuale).

Nel Viterbese, tra il 1970 ed il 1980 sono stati scoperti i due sistemi geotermici idrotermali di Latera e Torre Alfina (nel comune di Acquapendente). Il serbatoio di tali sistemi è costituito dai calcari mesozoici fratturati della Falda Toscana, mentre la copertura impermeabile è garantita dalle Unità Liguri e dalle soprastanti vulcaniti quaternarie. Il serbatoio di Latera è contraddistinto da una piega antiforale rovesciata, generata dall'orogenesi appenninica, che coinvolge le suddette unità liguri e toscane.

Nei due campi geotermici il substrato pre-tortoniano forma un alto strutturale bordato da faglie normali (*horst*). Pertanto il tetto del serbatoio è relativamente superficiale: 500 metri di profondità alla sommità e circa 2000 m ai lati dell'alto strutturale.

Entrambi i serbatoi sono sormontati da un livello saturo di anidride carbonica con tracce di acido solfidrico (*gas cap*). A Latera, il sottostante geofluido è una soluzione acquosa compressa con salinità di 8-12 grammi per litro, tenore dei gas disciolti pari al 3,5% in peso e temperatura di 190-230 °C. A Torre Alfina, la salinità, il tenore dei gas disciolti e la temperatura del liquido in pressione raggiungono rispettivamente 6 grammi per litro, 1-2 % in peso e 130-140 °C.

Il campo geotermico di Latera ha prodotto energia elettrica dal 1999 al

2003 mediante una centrale con potenza installata di 26 megawatt. La centrale è costituita da un impianto a doppia evaporazione (21 MW) e da un impianto a ciclo binario (5 MW), serviti da 5 pozzi di estrazione e 5 pozzi di reiniezione del geofluido esausto. A causa dell'eccessiva e non controllabile emissione di acido solfidrico, tale centrale è inattiva dal 2003, mentre nel 2008 i pozzi di estrazione sono stati sigillati in via definitiva.

Le perforazioni condotte nell'area del Lago di Bolsena non hanno individuato orizzonti produttivi sfruttabili. Nel comune di Marta, due soli pozzi hanno rivelato l'esistenza, alla profondità di circa 2 km, di liquido compresso a 200 bar con salinità di 20-40 g/l, tenore in gas del 2% in peso e temperatura di 180-190 °C. Infine, tra il Lago di Vico ed i Monti Cimini alcune perforazioni condotte sino a 3 km di profondità hanno messo in luce temperature elevate delle rocce (sino a 230 °C), ma ben scarsa permeabilità delle formazioni carbonatiche.

Secondo Buonasorte *et al.* (1995), la permeabilità dei suddetti serbatoi è elevata solo presso la sommità dei rispettivi alti strutturali. Inoltre, il geofluido estratto è sempre ricco di sali e gas indesiderati, come il biossido di carbonio ed il solfuro di idrogeno. La salinità del geofluido favorisce la deposizione di vene idrotermali, che tendono a chiudere le fratture che dovrebbero mantenere il flusso idraulico nelle rocce. La natura acida del geofluido, associata all'elevata temperatura, favorisce la trasformazione mineralogica delle rocce incassanti (metasomatismo), a scapito della permeabilità del serbatoio. In particolare, il pozzo profondo "Alfina 15", ubicato nel campo geotermico di Torre Alfina, ha attraversato tre scaglie della Falda toscana sovrapposte alla Successione umbromarchigiana. Grazie al raddoppio tettonico, i carbonati mesozoici raggiungono uno spessore complessivo di 3700 metri. Tuttavia, la permeabilità di tale cospicuo serbatoio potenziale è risultata invero assai modesta (Buonasorte *et al.*, 1991).

In definitiva, Buonasorte *et al.* (1995) suggeriscono che nel Viterbese la zona produttiva sia confinata alla parte più superficiale del serbatoio carbonatico, mentre è assai poco probabile lo sviluppo in profondità del sistema geotermico. Tale valutazione negativa ha certamente influito sullo scarso sviluppo dell'industria geotermica nel territorio considerato.

D'altra parte, oggi sarebbe utile riconsiderare la potenzialità geotermica

del Viterbese ricorrendo ai moderni metodi di indagine geofisica e geochemica, come l'analisi dell'ampiezza del segnale sismico, le indagini magnetotelluriche e la stima del flusso superficiale di anidride carbonica (Bracke *et al.*, 2013). Inoltre, nel territorio in esame mancano conoscenze dirette sul basamento metamorfico pre-triassico, che nella Toscana meridionale ospita il serbatoio geotermico profondo. Infatti, la sopra citata perforazione "Alfina 15", pur raggiungendo la considerevole profondità di 4826 metri è rimasta nella Successione Umbro-Marchigiana, senza intercettare il basamento paleozoico.

In effetti, in anni recenti è stata valutata la produttività di varie zone del Viterbese, stimando il volume dei rispettivi serbatoi, la portata attesa del geofluido e la sua probabile temperatura (Doveri *et al.*, 2010; Cinti *et al.*, 2015, 2018). Il risultato di tali analisi è illustrato dai tre quadri riportati nella Tab. 1. Le zone geotermiche elencate nella tabella prendono il nome dai comuni cui appartengono (Fig. 1). Occorre solo ricordare che il Lago di Vico rientra nei comuni di Caprarola e Ronciglione. Falerii Novi si trova nel comune di Fabrica di Roma, mentre Grotte Santo Stefano, Ferento, La Rocca e Magugnano sono frazioni del comune di Viterbo.

Per la discussione della Tab. 1 è utile premettere che la normativa vigente definisce la risorsa geotermica di *bassa, media e alta entalpia* quando la temperatura del geofluido è rispettivamente minore di 90 °C, tra 90 e 150 °C oppure maggiore di 150 °C (Decreto Legislativo 11 Febbraio 2010, n. 22). Tale distinzione è importante in quanto gli impianti geotermoelettrici tradizionali (*dry steam, single flash e double flash*) sono convenienti solo se alimentati con geofluidi di alta entalpia. D'altra parte, i moderni impianti a ciclo binario permettono la generazione di energia elettrica anche mediante geofluidi di media entalpia (DiPippo, 2012; Macchi e Astolfi, 2017).

Secondo Doveri *et al.* (2010), le risorse più pregiate appartengono ai comuni di Bolsena, Capranica, Caprarola, Latera, Monterosi, Ronciglione e Torre Alfina. Tuscania può contenere geofluidi di media entalpia, mentre gli altri comuni (Canino, Celleno, Fabrica di Roma e Viterbo) rientrano nella categoria della bassa entalpia. Tale informazione è importante per interpretare la stima della potenza termica estraibile, in quanto l'energia pur cospicua dei geofluidi più freddi di solito è destinata all'uso diretto (riscaldamento di edifici,

serre ed impianti industriali), piuttosto che alla produzione di energia elettrica.

In definitiva, Doveri *et al.* (2010) suggeriscono che i geofluidi di alta entalpia del Viterbese potrebbero offrire una potenza termica di 990-1197 MW per la produzione elettrica. Nei moderni impianti geotermici, in grado di garantire il minimo impatto ambientale, l'efficienza di conversione tra calore ed elettricità è dell'ordine del 10% (Bruscoli *et al.*, 2015). Pertanto, il potenziale geotermoelettrico dell'area considerata sarebbe attorno a circa 100 MW. Tale valore può essere confrontato con la situazione della Toscana meridionale, ove le centrali presenti in 9 comuni delle province di Grosseto, Pisa e Siena raggiungono una potenza elettrica di 914 MW.

Le stime di Cinti *et al.* (2015, 2018) considerano anche altre zone geotermiche del Viterbese, come Monte Romano-Blera e Nepi (Tab. 1). Tuttavia, corre obbligo notare la notevole variabilità dei risultati pubblicati, che riflette le molteplici incertezze associate a questo tipo di valutazioni. Per esempio, la temperatura del geofluido e la potenza termica estraibile dal sistema di Monte Romano-Blera aumentano da 90-120 °C e 54-79 MW (Cinti *et al.*, 2015) a ben 150-175 °C e 432-527 MW (Cinti *et al.*, 2018). Lo stesso avviene per le zone di Nepi (da 100-150 °C e 30-51 MW a 150-200 °C e 216-316 MW) e Tuscania (da 75-100 °C e 70-105 MW a 175-200 °C e 584-700 MW).

Infine, le pubblicazioni sopra discusse prendono in esame solo le risorse più facilmente accessibili, ovvero il geofluido contenuto nel serbatoio geotermico superficiale, ubicato alla profondità di 500-2000 metri. D'altra parte, l'esperienza acquisita nei campi geotermici della Toscana meridionale suggerisce la possibilità che importanti riserve risiedano a profondità decisamente maggiori, entro il basamento paleozoico fratturato. Per questo motivo è essenziale avere a disposizione un quadro più completo dello stato termico della crosta, che descriva l'andamento della temperatura sino ad almeno 3 chilometri di profondità.

4. LE INFORMAZIONI SULLO STATO TERMICO DELLA CROSTA

Molti decenni di esplorazione e produzione hanno permesso di costituire un cospicuo *Inventario delle Risorse Geotermiche Nazionali*, consultabile sul portale del Ministero dello sviluppo economico, Direzione generale per la

Tabella 1. Stime recenti sulla produttività di varie zone geotermiche del Viterbese, disponibili in letteratura (Doveri *et al.*, 2010; Cinti *et al.*, 2015; 2018)

Zona geotermica	Serbatoio geotermico				Temperatura media (minima-massima) (°C)	Portata del geofluido (t/ora)	Potenza termica estraibile, minima e massima (MW)
	Profondità media del tetto (km)	Spessore medio (km)	Area (km ²)	Volume (km ²)			
Bolsena	2.50	0.50	20	10.00	185 (160-210)	400	63-86
Canino	1.50	1.50	19	29.00	70 (60-80)	1163	47-74
Capranica	1.92	1.08	22	24.00	190 (180-200)	972	175-198
Celleno	2.10	0.90	13	12.00	65 (50-80)	479	14-31
Falerii Novi	2.20	0.80	8	6.00	60 (50-70)	240	7-13
Ferento	1.51	1.49	8	11.00	70 (60-80)	447	18-29
La Rocca	1.90	1.10	5	6.00	75 (70-80)	220	12-14
Latera	1.19	1.81	32	57.00	210 (190-230)	2295	440-547
Magugnano	0.73	2.27	4	10.00	45 (40-50)	381	7-11
Monterosi	2.00	1.00	19	19.00	190 (180-200)	768	138-156
Tuscania	1.90	1.10	42	47.00	90 (80-100)	1870	120-163
Torre Alfina	1.20	1.80	21	37.00	132 (125-140)	1498	174-200
Vico	2.58	0.42	1	0.34	205 (180-230)	13	2-3
Viterbo	0.37	2.63	35	92.00	60 (50-70)	3682	107-193

Fonte: Doveri *et al.* (2010)

Zona geotermica	Serbatoio geotermico				Temperatura minima e massima (°C)	Portata del geofluido (t/ora)	Potenza termica estraibile, minima e massima (MW)
	Spessore medio (km)	Area (km ²)	Volume (km ²)				
Capranica-Lago di Vico	1.1-1.9	41	61.5		100-170	2460	215-416
Grotte S. Stefano	2.3	13.4	30.8		50-80	1233	36-79
Monte Romano-Blera	2.0	8.9	17.8		90-120	712	54-79
Nepi	1.3	6.7	8.7		100-150	348	30-51
Orte-Montecchie	1.5	23	34.5		25-50	1380	0-40
Tuscania	2.3	13	29.9		75-100	1196	70-105
Vejano	1.7	5	8.5		80-100	340	22-30
Viterbo	2.5	30.8	77		50-75	3080	90-180

Fonte: Cinti *et al.* (2015)

Zona geotermica	Serbatoio geotermico				Temperatura minima e massima (°C)	Portata del geofluido (t/ora)	Potenza termica estraibile, minima e massima (MW)
	Spessore medio (km)	Area (km ²)	Volume (km ²)				
Capranica	2.5	6	15		100-150	600	53-90
Monte Romano-Blera	2.0	36	72		150-175	2880	432-527
Nepi	1.5	24	36		150-200	1440	216-316
Orte-Montecchie	2.6	50	130		25-50	5200	0-163
Tuscania	1.9	42	80		175-200	3192	584-700
Viterbo-Grotte S. Stefano	2.2	82	180		60-80	7216	310-497

Fonte: Cinti *et al.* (2015)

sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche-UNMIG (<https://unmig.mase.gov.it/risorse-geotermiche/inventario-delle-risorse-geotermiche-nazionali/>).

Tale ricca documentazione ha permesso di valutare i parametri utili ad

individuare sul territorio italiano un serbatoio di geofluido, sfruttabile per la produzione di energia elettrica.

Lo stesso Ministero dello sviluppo economico ha pubblicato le *Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia* (Terlizze-

se, 2016). Tali indicazioni, elaborate di concerto con il Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare, le Amministrazioni regionali interessate ai progetti geotermici, gli operatori di settore ed i rappresentanti del mondo universitario e della ricerca scientifi-

ca, individuano i criteri generali per lo sfruttamento in sicurezza della risorsa geotermica.

Le *Linee guida* sono state seguite dalla *Zonazione geotermica del territorio italiano* (Terlizzese, 2017), che ha lo scopo di identificare le potenziali aree di interesse geotermico, sulle quali eventualmente avviare ulteriori approfondimenti.

Nel dettaglio, la *Zonazione geotermica* (<https://unmig.mase.gov.it/risorse-geotermiche/zonazione-geotermica-del-territorio-italiano/>) contiene le seguenti informazioni, riferite a ciascun Comune italiano:

- il valore minimo, medio e massimo del flusso di calore emesso dalla superficie terrestre;
- la temperatura minima, media e massima attesa ad 1, 2 e 3 chilometri di profondità;
- l'ubicazione delle formazioni permeabili, potenzialmente idonee ad ospitare un sistema geotermico. Per ciascun comune è riportata la quota sul livello del mare (minima, media e massima) del tetto del complesso carbonatico mesozoico, che di solito costituisce il serbatoio geotermico superficiale.

I dati relativi ai comuni viterbesi sono presentati nelle carte seguenti, le quali mettono in evidenza significative variazioni dei suddetti parametri all'interno del territorio considerato.

5. CARATTERISTICHE GEOTERMICHE DEL VITERBESE

La Fig. 2 descrive il flusso termico superficiale medio attribuito a ciascuno dei 60 comuni considerati. Tale parametro termico definisce la potenza termica che esce dall'unità di area del suolo per andare a disperdersi nell'atmosfera. L'unità di misura adottata è il millesimo di watt per metro quadrato (mWm^{-2}). Come riferimento, ricordiamo che il comune di Castelnuovo di Val di Cecina (provincia di Pisa) presenta il flusso di calore più alto dell'intero territorio italiano ($428,21 mWm^{-2}$).

La conoscenza dettagliata del flusso termico superficiale è assai importante, in quanto numerosi studi condotti in varie zone del mondo hanno messo in luce che valori superiori a $90 - 100 mWm^{-2}$ spesso segnalano l'esistenza in profondità di sistemi geotermici idrotermali, potenzialmente sfruttabili.

Nell'area viterbese, il più grande valore registrato ($287,25 mWm^{-2}$ per Gradoli) supera di circa sette volte il

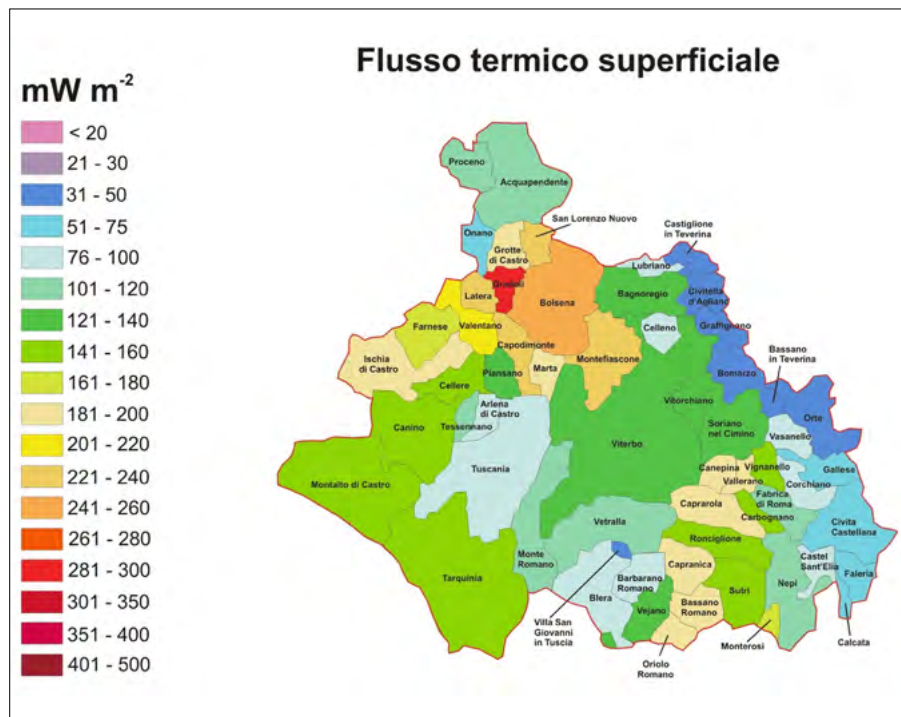


Figura 2. Flusso di calore superficiale medio per i comuni della Provincia di Viterbo. I dati usati per la costruzione di questa e delle carte seguenti sono tratti dalla Zonazione geotermica del territorio italiano (Terlizzese, 2017), discussa nel testo

valore più piccolo ($41,28 mWm^{-2}$ per Castiglione in Teverina).

Nei comuni che affacciano sulla valle del Tevere il flusso termico è inferiore a $50 mWm^{-2}$ (Castiglione in Teverina, Gradignano, Civitella d'Agliano, Bomarzo, Bassano in Teverina ed Orte), oppure è compreso tra 50 e $75 mWm^{-2}$ (Gallese, Civita Castellana, Faleria e Calcata).

Il flusso di calore aumenta in modo repentino ad ovest della Valtiberina, raggiungendo i valori più alti ($>160 mWm^{-2}$) nei Monti Vulsini (San Lorenzo Nuovo, Grotte di Castro, Grado-

li, Latera, Valentano, Farnese, Ischia di Castro, Capodimonte, Marta, Bolsena e Montefiascone), nei Monti Cimini (Canepina, Caprarola, e Vallerano) ed al confine con la Provincia di Roma, al margine della caldera pleistocenica del Lago di Bracciano (Capranica, Bassano Romano, Oriolo Romano e Monterosi).

Nei rimanenti comuni viterbesi il flusso termico si attesta tra 75 e $160 mWm^{-2}$, con i valori più elevati tra i Monti Vulsini e la costa tirrenica (Cellere, Canino, Montalto di Castro e Tarquinia) e tra i Monti Cimini ed il Lago

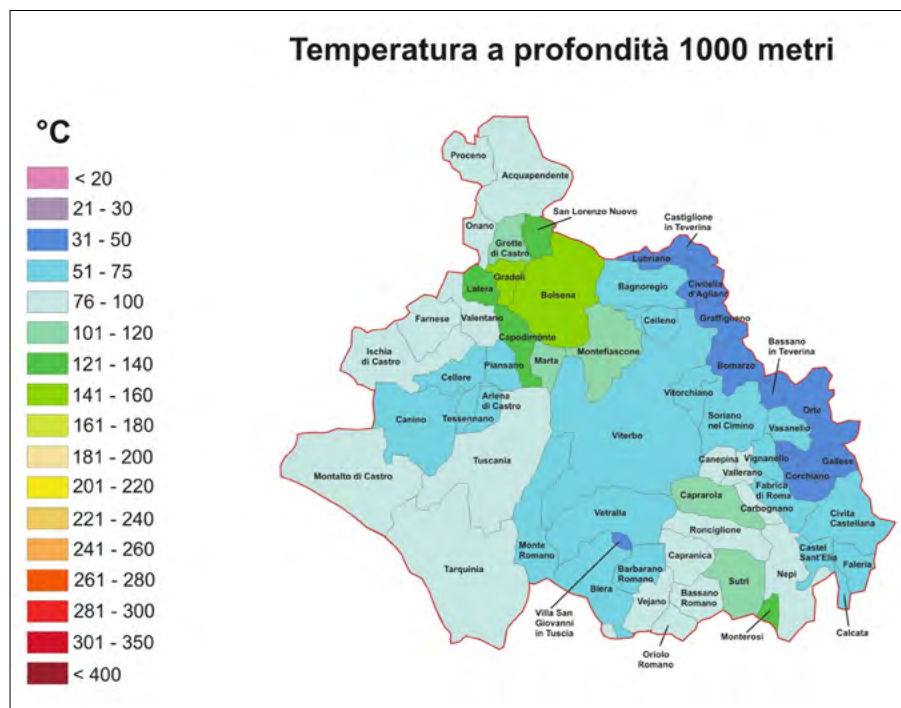


Figura 3. Temperatura attesa alla profondità di un chilometro per i comuni della Provincia di Viterbo

di Bracciano (Vignanello, Carbognano, Ronciglione e Sutri).

La Fig. 3 riporta la temperatura media attesa in ogni comune del Viterbese alla profondità di 1000 metri dalla superficie. È importante ricordare che, nella parte più superficiale della crosta, il cosiddetto *gradiente termico normale* prevede l'aumento di circa 30°C per ogni chilometro di profondità. Pertanto, in assenza di anomalie termiche significative, la temperatura si attesta intorno a 30°C, 60°C e 90°C rispettivamente alla profondità di 1, 2 e 3 chilometri. La discrepanza tra tali valori di riferimenti e la temperatura indicata nella carta indica per l'appunto l'azione di un'anomalia termica, di solito rappresentata da un plutone o una camera magmatica in raffreddamento. Inoltre, il rapido incremento della temperatura con la profondità è talora ben correlato con un elevato valore del flusso termico superficiale (Fig. 2).

Tuttavia, corre obbligo rimarcare che la conoscenza del flusso termico è necessaria ma non sufficiente per caratterizzare in modo completo lo stato termico della crosta. Il gradiente di temperatura DT/Dz è il rapporto tra la variazione della temperatura DT e l'incremento della profondità Dz . Ammettendo che nelle rocce il calore si trasmetta per conduzione, si può dimostrare che vale la relazione $DT/Dz = q_0/k$, ove q_0 è il flusso termico superficiale e k la conducibilità termica delle rocce.

Tale formulazione chiarisce il ruolo giocato dalla conducibilità termica. Infatti, a parità di flusso di calore emesso in superficie, maggiore è la conducibilità della crosta e minore è la variazione di temperatura con la profondità. Al contrario, una minore conducibilità delle rocce determina un maggiore incremento della temperatura con la profondità. In altre parole, la presenza di uno strato isolante vicino alla superficie favorisce la persistenza di temperature elevate in profondità, anche se il flusso di calore in uscita dal sottosuolo è relativamente modesto.

Pertanto, le variazioni della conducibilità termica con la profondità - legate alla natura delle formazioni che formano la successione stratigrafica - possono spiegare le eventuali, apparenti discordanze tra la carta del flusso termico e le carte della temperatura.

Dalla Fig. 3 si nota che la temperatura non supera 50 °C in 9 comuni affacciati sulla valle del Tevere ed a Villa San Giovanni in Tuscia. In 21 comuni, compreso il capoluogo provinciale, la

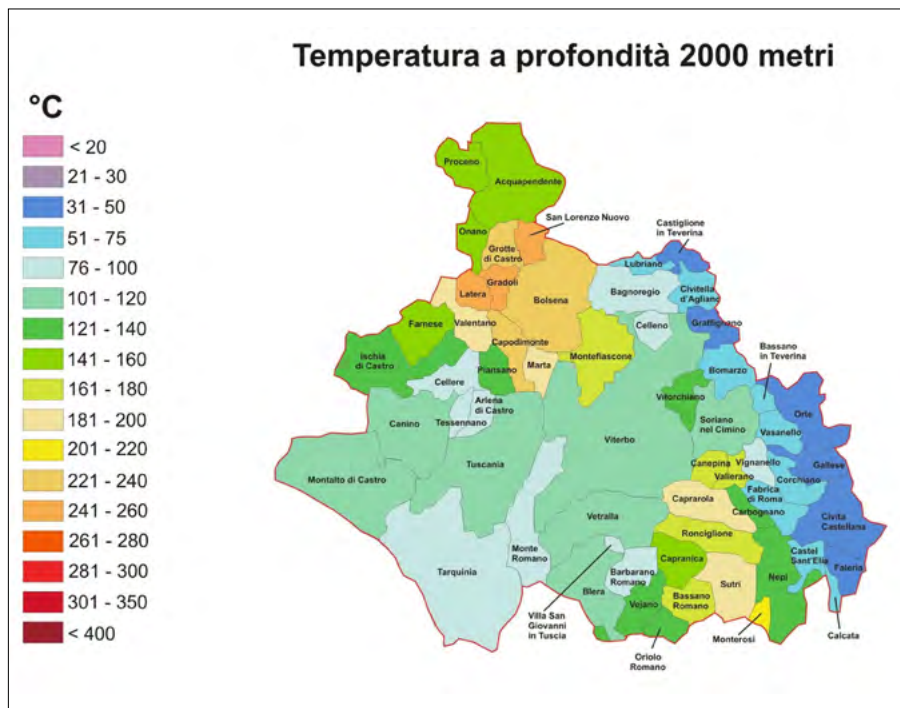


Figura 4. Temperatura attesa alla profondità di due chilometri per i comuni della Provincia di Viterbo

temperatura è compresa tra 50 e 75 °C. Altri 18 comuni presentano una temperatura più alta, tra 75 e 100 °C. Intorno agli apparati vulcanici dei Monti Vulsini la temperatura ad 1 km di profondità sale a valori piuttosto elevati (120-160 °C a San Lorenzo Nuovo, Latera, Capodimonte, Gradoli e Bolsena), così come nel piccolo comune di Monterosi.

La Fig. 4 descrive la temperatura media attesa alla profondità di 2000 metri dalla superficie. La Valtiberina conferma temperature piuttosto basse, mentre si accentua l'anomalia termica dei Monti Volsini e dei Monti Cimini. Interposta tra tali rilievi, una fascia

intermedia, con moderata anomalia, si delinea nel settore centrale tra il grande comune di Viterbo e la costa tirrenica.

La Fig. 5 delinea la temperatura media attesa alla profondità di 3000 metri dalla superficie. La distribuzione della temperatura conferma e rafforza le considerazioni precedenti. Il Viterbese appare suddiviso in più fasce, che presentano caratteristiche termiche differenti. Come già osservato, il settore più freddo - orientato circa nord-sud - comprende i comuni prossimi alla valle del Tevere. La fascia centrale con temperatura moderata (100-120 °C) separa le due zone più calde, corrispondenti ai

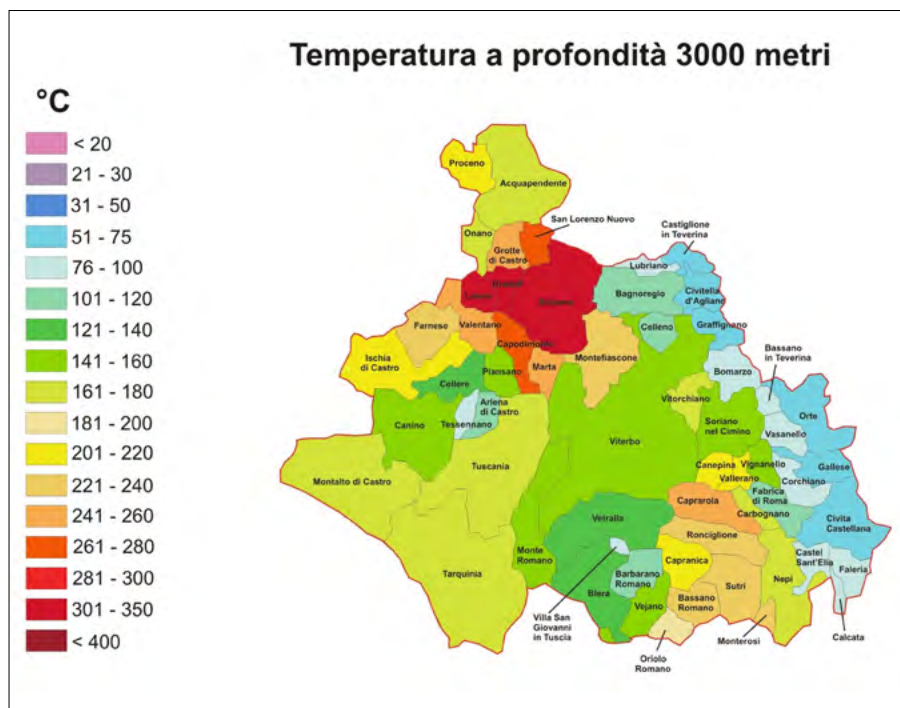


Figura 5. Temperatura attesa alla profondità di tre chilometri per i comuni della Provincia di Viterbo

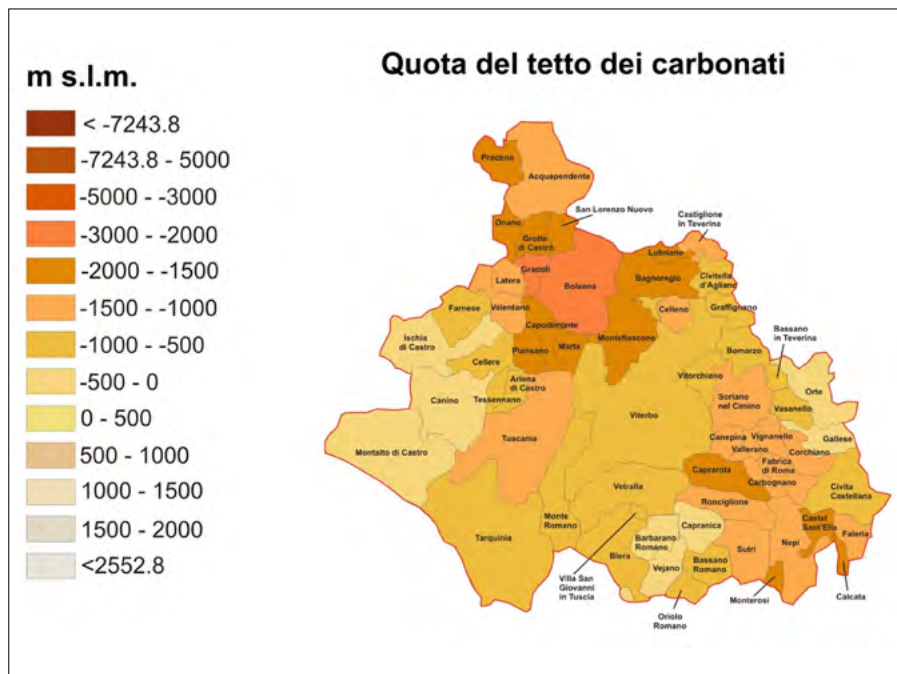


Figura 6. Quota media del tetto dei carbonati mesozoici per i comuni della Provincia di Viterbo

Monti Volsini e Cimini. Temperature molto elevate (300-350 °C) sono attese nei comuni di Bolsena, Gradoli e Latera. Seguono Capodimonte e San Lorenzo Nuovo (260-280 °C), poi Caprarola, Grotte di Castro, Marta e Valentano (240-260 °C). Infine, per molti altri comuni del Viterbese la temperatura a 3 km di profondità è compresa tra 120 e 240 °C (Fig. 5).

Il fatto che le rocce della crosta terrestre raggiungano temperature elevate a profondità relativamente basse è una condizione necessaria ma non sufficiente per l'esistenza di un sistema geotermico naturale. Infatti, tale sistema richiede che una porzione della crosta (il serbatoio geotermico) ospiti e lasci circolare il fluido geotermico, ovvero una miscela di acqua liquida con sostanze disciolte, vapor d'acqua e gas come anidride carbonica ed acido solfidrico.

La Fig. 6 riporta per ciascun comune del Viterbese la quota media sul livello del mare del tetto del complesso carbonatico mesozoico delle Successioni toscana ed umbro-marchigiana, ovvero dell'insieme di formazioni che costituiscono il serbatoio geotermico superficiale.

Com'era prevedibile dall'analisi della geologia superficiale (Fig. 1), i carbonati mesozoici si trovano a profondità maggiori laddove è più spessa la copertura post-tortoniana, rappresentata dai depositi marini e continentali plio-quadernari (come nel Bacino di Montalto di Castro-Tarquinia-Tuscania) o dalle vulcaniti pleistoceniche (Monti Volsini e Cimini).

L'informazione descritta dalla Fig. 6 è importante per programmare le even-

tuali attività di esplorazione volte alla ricerca del serbatoio geotermico. Infatti, occorre tener conto che i costi di perforazione sono sempre cospicui e lievitano in modo deciso con l'aumento della profondità del serbatoio.

6. DISCUSSIONE E CONCLUSIONI

I dati archiviati nella *Zonazione geotermica* e riportati nelle carte precedenti (Figg. 2-6) delineano un quadro piuttosto completo per il Viterbese. L'anomalia termica, definita dal flusso termico superficiale e dall'andamento della temperatura con la profondità, cresce in modo significativo nei comuni ubicati presso i maggiori centri vulcanici quaternari (Monti Volsini e Monti Cimini).

Nei Monti Volsini, i comuni più promettenti sono Bolsena, Gradoli e Latera, seguiti da Capodimonte, Grotte di Castro, Marta, San Lorenzo Nuovo e Valentano. Come già ricordato, in questi territori la temperatura dovrebbe superare 240 °C a 3 km di profondità. I comuni periferici di Farnese, Ischia di Castro, Montefiascone e Proceno si collocano tra 200 e 240 °C.

Nei Monti Cimini spicca Caprarola, seguita da Bassano Romano, Monterosi, Ronciglione, Sutri; per tutti questi comuni la temperatura a 3 km supera 220 °C. Per Canepina, Capranica e Vallerao tale temperatura si attesta tra 200 e 220 °C. Oriolo Romano raggiunge 180-200 °C.

Infine, per molti altri comuni viterbesi la temperatura a 3 km è compresa tra 120 e 180 °C e suggerisce la presenza di geofluidi con medio-alta entalpia

(Acquapendente, Blera, Canino, Carbognano, Cellere, Montalto di Castro, Monte Romano, Nepi, Onano, Piansano, Soriano nel Cimino, Tarquinia, Tuscania, Vejano, Vetralla, Vignanello, Viterbo, Vitorchiano).

Ovviamente, ulteriori ricerche geologiche, geofisiche e geochemiche sono necessarie per stabilire l'effettiva presenza di serbatoi geotermici sfruttabili nei territori sopra citati. Inoltre, ogni eventuale progetto di ricerca e sviluppo delle fonti geotermiche deve tener conto dei vincoli ambientali e paesaggistici, come specificato nelle citate *Linee guida* ministeriali.

L'esperienza del campo geotermico di Latera, prima esplorato, poi sfruttato e poco dopo abbandonato deve far riflettere sulla corretta progettazione dell'impianto che usa il geofluido per produrre energia elettrica. Sotto questo aspetto, i moderni impianti a ciclo binario forniscono soluzioni adeguate ai problemi tecnici ed ambientali posti dai geofluidi ricchi di sostanze indesiderate (Macchi e Astofi, 2017). In tali impianti, il geofluido riscalda un apposito fluido di lavoro, di solito un idrocarburo a basso punto di ebollizione come il normal-pentano o il ciclo-pentano, il cui vapore muove le turbine del gruppo elettrogeno. Dopo lo scambio termico, il geofluido freddo ritorna nel sottosuolo mediante appositi pozzi di iniezione. Pertanto, il fluido geotermico non viene mai a contatto con l'ambiente esterno, con evidente, drastica riduzione dell'impatto ambientale e del logorio delle attrezzature, dovuto alla corrosione ed alla deposizione di croste solide nelle tubazioni metalliche.

Possiamo concludere ricordando che importanti anomalie termiche sono riscontrate in diversi comuni appartenenti alle zone confinanti con il Viterbese.

Nella Provincia di Terni, il flusso termico superficiale e la temperatura a 3 km di profondità raggiungono rispettivamente 146,87 mWm⁻² e 153,14 °C a Castel Viscardo e 212,13 mWm⁻² e 195,40 °C a Castel Giorgio. Tali territori sono ubicati sul bordo orientale dei Monti Volsini, in prossimità del sistema geotermico di Torre Alfina.

Come già accennato, il confine meridionale del Viterbese con Provincia di Roma si affaccia sulla caldera del Lago di Bracciano, ove l'anomalia termica è assai accentuata. Particolarmente elevati sono il flusso termico superficiale e la temperatura a 3 km di profondità nei comuni romani di Anguillara Sabazia (225,63 mWm⁻² e 275,80 °C), Braccia-

no (218,99 mWm⁻² e 254,13 °C), Campagnano di Roma (216,45 mWm⁻² e 245,34 °C), Canale Monterano (177,57 mWm⁻² e 196,92 °C), Formello (151,62 mWm⁻² e 234,77 °C) e Trevignano Romano (250,35 mWm⁻² e 300,22 °C).

Inoltre, dal 1974 è noto il sistema geotermico di Cesano nel comune di Bracciano. Il serbatoio è costituito da calcari fratturati della Successione umbro-marchigiana. Il geofluido è costituito da una soluzione acquosa surriscaldata (145-300 °C), estremamente ricca in cloruri e solfati di sodio e potassio (salinità sino a 350 grammi per litro). In tempi recenti, tale densa salamoia (*brine*) ha attirato l'attenzione in quanto possibile fonte di elementi strategici come il litio, sempre più usato per le batterie di alta prestazione, indispensabili per i veicoli a trazione elettrica. Infatti, nella salamoia estratta dai pozzi di Cesano sono state riscontrate elevate concentrazioni di litio (380 milligrammi per litro), rubidio (450 mg/l) e cesio (80 mg/l). Tale arricchimento in metalli alcalini può essere stato causato dall'interazione tra il geofluido e le rocce vulcaniche che coprono l'area del Lago di Bracciano (Dini *et al.*, 2022). Anche il geofluido estratto nel campo geotermico di Latera contiene concentrazioni significative di elementi come il litio (da 0.84 a 13.5 mg/l), il cesio (sino a 7,7 mg/l) e soprattutto il boro (sino a 576 mg/l).

Secondo Stringfellow e Dobson (2021), il modo più efficiente per estrarre il litio dalla salamoia geotermica è l'adsorbimento selettivo dello ione Li⁺ nei cosiddetti "setacci ionici", ovvero cristalli inorganici come gli ossidi di alluminio, manganese e titanio. Particolarmente promettente e conveniente è l'impiego dell'idrossido di alluminio (Al(OH)₃), sia in forma cristallina (minerali bayerite, gibbsite e nostrandite) che amorfa (previa reazione con cloruro di litio per formare cristalli di LiCl·2Al(OH)₃).

Rendendo la salamoia neutra o basica (con pH tra 6.5 e 10), i suddetti materiali intrappolano i piccoli ioni litio, rilasciando al contempo idrogenioni. Ponendo il materiale adsorbente in una soluzione acida si verifica il processo opposto, per cui il litio può essere recuperato dalla soluzione stessa ed al contempo il setaccio ionico è rigenerato.

Al momento, tali procedure sono applicate al recupero del litio dalle salamoie dei laghi salati (*salar*) dell'America meridionale e testate per le salamoie estratte dal campo geotermico di Salton Sea (California meridionale).

BIBLIOGRAFIA

- ACOCELLA V., FUNICIELLO R. (2006), *Transverse systems along the extensional Tyrrhenian margin of central Italy and their influence on volcanism*. Tectonics, 25, TC2003, <http://dx.doi.org/10.1029/2005TC001845>.
- BARBERI F., BUONASORTE G., CIONI R., FIORELISIA., FORESI L., IACCARINO S., LAURENZI M.A., SBRANA A., VERNIA L., VILLA I.M. (1994), *Plio-Pleistocene geological evolution of the geothermal area of Tuscany and Latium*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 49, 77-133.
- BRACKE R., HARVEY C., RUETER H. (Editors) (2013), *Geothermal Exploration Best Practices - Geology, Exploration Drilling, Geochemistry, Geophysics*. IGA ACAD-EMY Report 01/2013, IGA Service GmbH, Bochum, Germany (www.geothermal-energy.org).
- BRUSCOLI L., FIASCHI D., GIAMPAOLO M., TEMPESTI D. (2015), *Improving the environmental sustainability of flash geothermal power plants - A case study*. Sustainability, 7, 15262-15283, doi:10.3390/su71115262.
- BUONASORTE G., PANDELI E., FIORDALISI A. (1991), *The Alfina 15 well: deep geological data from northern Latium (Torre Alfina geothermal area)*. Bollettino della Società Geologica Italiana, 110, 823-831.
- BUONASORTE G., CAMELI G.M., FIORELISI A., PAROTTO M., PERTICONE I. (1995), *Results of geothermal exploration in Central Italy (Latium-Campania)*. In: Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence, Italy, 18-31 May 1995, vol. 2, pp. 1293-1298.
- CINTI D., PROCESI M., PONCIA P.P., TASSI F., VASELLI O., QUATTROCCHI F. (2015), *Application of the revised volume method for the evaluation of the geothermal potential in the Vicano-Cimino hydrothermal reservoir (Central Italy)*. Proceedings World Geothermal Congress, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- CINTI D., PROCESI M., PONCIA P.P. (2018), *Evaluation of the theoretical geothermal potential of inferred geothermal reservoirs within the Vicano-Cimino and the Sabatini volcanic districts (Central Italy) by the application of the volume method*. Energies, 11, 142, doi:10.3390/en11010142.
- COMPAGNONI B. & GALLUZZO F. (2004), *Geological Map of Italy 1:250.000 Scale*. Dipartimento Difesa del Suolo - Servizio Geologico d'Italia, Especially Printed for the 32nd International Geological Congress, Florence, 20-28 August 2004, SELCA.
- DINI A., LATTANZI P., RUGGIERI G., TRUMPY E. (2022), *Lithium occurrence in Italy - An overview*. Minerals, 12, 945, <https://doi.org/10.3390/min12080945>.
- DIPIPPO R. (2012), *Geothermal Power Plants: principles, applications, case studies, and environmental impact, Third edition*. Butterworth-Heinemann/Elsevier, UK-USA, ISBN 978-0-08-098206-9.
- DOVERI M., LELLI M., MARINI L., RACO B. (2010), *Revision, calibration, and application of the volume method to evaluate the geothermal potential of some recent volcanic areas of Latium, Italy*. Geothermics, 39, 260-269, doi:10.1016/j.geothermics.2010.06.002.
- MACCHI E., ASTOLFI M. (Editors) (2017), *Organic Rankine Cycle (ORC) Power Systems. Technologies and Applications*. Woodhead Publishing - Elsevier Ltd., ISBN 978-0-08-100510-1.
- PECCERILLO A. (2005), *Plio-Quaternary Volcanism in Italy. Petrology, Geochemistry, Geodynamics*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg, Germany, ISBN 978-3-540-25885-8.
- PETRACCHINI L., SCROCCA D., SPAGNESI S., MINELLI F. (2015), *3D geological modeling to support the assessment of conventional and unconventional geothermal resources in the Latium region (central Italy)*. Proceedings World Geothermal Congress 2015, Melbourne, Australia, 19-25 April 2015.
- STRINGFELLOW W.T., DOBSON P.F. (2021), *Technology for the recovery of lithium from geothermal brines*. Energies, 14, 6805, <https://doi.org/10.3390/en14206805>.
- TERLIZZESE F. (2016), *Linee guida per l'utilizzazione della risorsa geotermica a media e alta entalpia*. Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione Generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse, Roma, Ottobre 2016 (<https://unmig.mase.gov.it/risorse-geotermiche/linee-guida-per-lutilizzazione-della-risorsa-geotermica-a-media-e-alta-entalpia/>).
- TERLIZZESE F. (2017), *Zonazione geotermica del territorio italiano*. Ministero dello Sviluppo Economico, Direzione Generale per la sicurezza anche ambientale delle attività minerarie ed energetiche - Ufficio Nazionale minerario per gli idrocarburi e le georisorse, Roma, Marzo 2017 (<https://unmig.mase.gov.it/risorse-geotermiche/zonazione-geotermica-del-territorio-italiano/>).
- VIGNAROLI G., PINTON A., DE BENEDETTI A.A., GIORDANO G., ROSSETTI F., SOLOGO M., BERARDI G. (2013), *Structural compartmentalisation of a geothermal system, the Torre Alfina field (central Italy)*. Tectonophysics, 608, 482-498, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2013.08.040>.
- VITI M., TAVARNELLI E. (2018), *Geotermia nella Toscana meridionale: una risorsa importante da gestire con cura*. Etrurianatura, una finestra sul territorio. Accademia dei Fisiocritici, Siena, XII - Volume Speciale sulle acque termali, 10-24, ISSN 2282-2607.
- VITI M. (2019a), *Geotermia in Toscana: nuove conoscenze ed innovazioni tecnologiche*. Il Geologo, 108, 8-23 (www.geologitoscana.it).
- VITI M. (2019b), *L'impatto ambientale della geotermia in Toscana*. Il Geologo, 110, 12-21 (www.geologitoscana.it).
- VITI M. (2020), *Termogeologia: la nuova frontiera della geotermia*. Il Geologo, 111, 8-19 (www.geologitoscana.it).
- VITI M. (2021), *Geotermia in Italia. Aspetti geologici, tecnologici ed ambientali*. Geologia dell'Ambiente, 2/2021, 25-31, ISSN 1591-5352.

Le materie prime strategiche, usi industriali, la posizione italiana, ricorrenze e mercati

The raw strategic materials, industrial use, National position and market

Parole chiave: Materie prime strategiche, produzione e usi industriali
Key words: Raw strategic materials, production and industrial uses

ABSTRACT

At the beginning of this century in the western industrialized world, the problem of the supply of strategic raw materials was raised, promoting policies and recommendations to ensure the development of the hightech industry. The raw strategic materials are in fact of paramount importance for Europe and USA also for the transition towards climate neutrality. Antimony, barite, bauxite, beryllium, bismuth, borates, carbon coke, cobalt, spatofluoro, gallium, germanium, graphite, hafnium, indium, lithium, magnesium, natural rubber, natural graphite, niobium, phosphorus, phosphates, platinum metals (PGM = Platinum Group Metals), rare earths (TR), scandium, silicon metal, strontium, tantalum, titanium, tungsten and vanadium are the elements take in to account in to UE reports. China, Russia, the Democratic Republic of Congo, Brazil and Australia are the world's largest producers of raw materials, in many cases other aggravating factors are added to this geographical concentration of production, such as the low degree of substitutability and low recycling rates. In Italy, due to its geological constitution, resources are really scarce, but in parallel we have never developed a mining research policy. With the end of Montedison, Rimin, Aquater or large industrial groups with investment capacity and access to large financing on world stock exchanges, small and medium-sized national enterprises, in addition to have not the technological culture, also have not the economic dimensions to enter in to the markets. The African situation is symbolic of the race to hoard the available resources, Russia and France are militarily present in Africa, while China is present in almost all African countries through agreements and strong investments. Some national problems could be solved by the recycling obsolete electronic equipment, but although there are ten

recycling consortia, today it is not possible to know what is recycled and on what market the recovered materials end up.

INTRODUZIONE

Già nel 2008 l'Unione Europea promuoveva una consultazione e un confronto internazionale nel settore delle materie prime non energetiche, concretizzatasi nel 2010 con la presentazione di un rapporto redatto da un "working group" creato ad hoc (UE, 2010). La disponibilità delle materie prime strategiche a prezzi competitivi era stata definita di importanza fondamentale per l'industria europea, il loro impiego è infatti strategico, essendo utilizzate in diversi settori. Si tratta di 41 elementi o gruppi di elementi fra i quali i seguenti quattordici erano a maggiore rischio di approvvigionamento: antimonio, berillio, cobalto, spatofluoro, gallio, germanio, grafite, indio, magnesio, niobio, platinoidi (PGM = Platinum Group Metals), terre rare (TR), tantalio e tungsteno. Nel 2020 a questa prima lista si aggiungono: hafnio, barite, bauxite, bismuto, borati, carbon cooke, fosforo, fosfati, gomma naturale, grafite naturale, litio, scandio, silicio metallico, stronzio, titanio e vanadio (UE, 2020), nell'ambito di una comunicazione al Parlamento Europeo dal titolo: "Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability". Nella comunicazione si sottolineava come l'accesso alle risorse fosse una questione strategica di sicurezza, per l'ambizione dell'Europa di realizzare il *Green Deal*. La nuova strategia industriale per l'Europa, propone di rafforzare l'autonomia strategica, poiché la transizione dell'Europa verso la neutralità climatica potrebbe sostituire l'odierna dipendenza dai combustibili fossili con altre materie prime. Molte di queste provengono infatti da paesi extra UE e per le quali la concorrenza globale sta diventando sempre più feroce. L'autonomia strategica dell'UE in questi settori

Francesco Zarlenga
ENEA (1986 - 2017),
Green Mining S.r.l. Consultant
Nexus associates
E-mail: francescozarlenga115@gmail.com

dovrà pertanto continuare ad essere ancorata a un accesso diversificato e senza distorsioni ai mercati globali delle materie prime. Allo stesso tempo, e al fine di ridurre le dipendenze esterne e le pressioni ambientali, il problema di fondo del rapido aumento della domanda globale di risorse deve essere affrontato riducendo e riutilizzando i materiali attraverso il riciclaggio. Negli USA la legge sull'energia del 2020 (USGS, 2022) definisce critici quei minerali, essenziali per l'economia o la sicurezza nazionale; pertanto è necessario avere una scorta sufficiente per svolgere una funzione essenziale nella fabbricazione di un prodotto, la cui assenza avrebbe conseguenze significative per la sicurezza economica o nazionale degli Stati Uniti. I minerali definiti critici in USA sono: alluminio (bauxite); antimonio; arsenico; barite; berillio; bismuto; cromo; cobalto; fluorite; gallio; germanio; grafite; indio, litio, magnesio, manganese, niobio, palladio (platinum-group metal), platino, potassio, Terre Rare, renio, scandio, stronzio, tantalio, tellurio, titanio, tungsteno, vanadio e zirconio.

USI INDUSTRIALI DELLE MATERIE PRIME STRATEGICHE E LORO IMPORTANZA

Le materie prime non energetiche, definite "materie prime critiche", sono impiegate in tutti i settori e in tutte le fasi della catena di approvvigionamento, in particolare nell'industria "high tech". Il progresso tecnologico e la qualità della vita sono intimamente connessi e dipendono anche dall'accesso a un numero crescente di materie prime. Uno *smartphone* può contenere fino a 50 diversi tipi di metalli che contribuiscono alle sue ridotte dimensioni, leggerezza e funzionalità. Nel settore della transizione ecologica, "le tecnologie pulite" sono possibili soltanto con la disponibilità di materie prime strategiche, insostituibili

Tabella 1. Principali utilizzi industriali delle materie prime strategiche

Elementi	Usi industriali
Antimonio	Dispositivi a semiconduttore, come i diodi ed i rivelatori a infrarossi; le leghe di antimonio sono anche usate in batterie, metalli a bassa frizione, tipi di metallo e guaine per cavi
Berillio	Leghe berillio-rame sono utilizzate nell'industria della difesa e aerospaziale. Diagnosi attraverso raggi X (è trasparente ai raggi X) e nella realizzazione di vario equipaggiamento per computer.
Cobalto	È utilizzato per produrre superleghe ove è richiesta resistenza a condizioni estreme (motori a reazione o trapani ad alta velocità). Magneti al cobalto alnico e samario, elettrodi primari nelle batterie agli ioni di litio, al nichel cadmio e al nichel-metallo idruro. Catalizzatori al cobalto
Spatofluoro	È usato come agente fondente nella produzione dell'acciaio, nella realizzazione di vetri opalini, smalti per utensili da cucina. È la fonte primaria per la produzione di di fluoro (F ₂) e fluoruro di idrogeno (HF) e quindi per la chimica del fluoro. inoltre fluoruro di calcio (CaF ₂) utilizzati per lenti di apparecchiature ottiche o contenitori di campioni di spettrometri
Gallio	Specchi brillanti. Il gallio si lega facilmente alla maggior parte dei metalli, quindi è usato per formare leghe. Le armi nucleari sfruttano una lega di gallio per stabilizzare le forme allotrope del plutonio. Circuiti integrati analogici, dispositivi optoelettronici (diodi laser e diodi luminescenti). In forma di arsenide di gallio (GaAs), è in grado di convertire elettricità in luce ed è usata nei diodi luminescenti (LED) per la visualizzazione elettronica e di orologi. In alcuni termometri a temperatura elevata.
Germanio	Come semiconduttore: transistori ed i circuiti integrati. Aumenta l'indice di rifrazione; tale vetro è usato in obiettivi a largo-angolo ed in dispositivi a infrarossi.
Grafene	Batterie nanotecnologiche o anche supercapacitori per lo sviluppo di automobili ibride, cellulari di lunga durata o dispositivi flessibili. Da aggiungere a plastiche o materiali compositi per renderli più resistenti o elettricamente conduttivi. I materiali compositi utilizzano già additivi come fibre di carbonio o di vetro per questi scopi.
Indio	In leghe a bassa fusione e come piastra protettiva per i cuscinetti ed altre superfici metalliche. I fogli di indio sono all'interno dei reattori nucleari e come filtro chiaro in lampade a sodio a bassa pressione di vapore.
Magnesio	I composti di magnesio sono usati come refrattari nelle fornaci per la produzione di ferro e acciaio, dei metalli non ferrosi, di vetro e cemento. I composti del magnesio sono ampiamente usati anche in agricoltura.
Niobio	Produzione di leghe resistenti ad alte temperature e di acciai inossidabili speciali per i reattori nucleari, in Jet, missili, utensili per il taglio, condutture, super magneti ed in canne per saldatura.
Platinoidi	Industria aerospaziale, Industria chimica, Industria automobilistica, Industria elettronica, Odontoiatria, Industria farmaceutica, Strumenti chirurgici Manufacturing, gioielleria
Tantalio	Condensatori molto piccoli con alta capacità (telefoni cellulari e automobili). Chiodi ossei, protesi, staffe e viti mascellari sono realizzati in tantalio
Terre Rare	<ul style="list-style-type: none"> • Magneti permanenti (automobili elettriche e ibride per turbine eoliche [Pr, Nd, Dy, Tb]) • Batterie ricaricabili (veicoli ibridi, dispositivi elettronici e strumenti [La, Ce, Nd, Pr]) • Catalizzatori per auto (convertitori catalitici [La, Ce]) • Catalizzatori Fluid Cracking (FCC utilizzati nella raffinazione del petrolio greggio [La, Ce]) • Polveri lucidanti (lucidatura di vetri, lenti, chip di silicio, schermi e monitor [Ce]) • Additivi per il vetro (proprietà variabili del vetro [Ce, La]) • Fosfori (fosfori per LCD e TV a colori [Eu, Tb, Y]) • Trasporti e veicoli (motori elettrici di automobili ibride e veicoli elettrici; batterie; convertitori catalitici) • Aerospace and Defence (applicazioni elettroniche, satellitari, ottiche, radar e magnetiche; sistemi di precisione missilistica) • Health Care (magneti permanenti per i dispositivi di imaging medico, come la risonanza magnetica; moderne macchine chirurgiche, come quelle per ambulatori robotizzati) • Energia pulita (tecnologie energetiche avanzate, turbine eoliche, batterie per auto elettriche e luci ad alta efficienza energetica; fibra ottica; refrigerazione magnetica) • Elettronica (prodotti più veloci, più piccoli e più leggeri; display a colori; dispositivi di comunicazione e informatica; tecnologia intelligente) • Petrochimica (raffinazione di petrolio greggio; leghe metalliche speciali) • Vetro e ceramica (produzione, composti lucidanti e additivi per il vetro)
Tungsteno	Lampadine fluorescenti e filamenti di tubi a raggi catodici. elementi riscaldanti per forni elettrici utilizzati nelle fonderie. bersaglio del fascio di elettroni nei tubi a vuoto producendo raggi X per l'imaging medico e industriale. Il metallo puro è anche utilizzato per pesi da pesca senza piombo, pallini per fucili a piombo senza piombo, aste di saldatura e freccette ponderate ad alta tecnologia utilizzate per competizioni sportive. carburo di tungsteno incredibilmente duro. Questo materiale viene utilizzato in mazze da golf, punte da trapano, frese da taglio, punte da taglio al tornio, lame da taglio, mole da taglio, punte da fresare, ugelli tagliacuci a getto d'acqua e gusci di artiglieria perforanti.

nei pannelli fotovoltaici, nelle turbine eoliche, nei veicoli elettrici e nell'illuminazione a risparmio energetico. Il tungsteno fa vibrare i telefoni, il gallio e l'indio sono parti integranti della tecnologia a diodi elettroluminescenti (LED), i semiconduttori hanno bisogno di silicio metallico e le celle a idrogeno e le celle elettrolitiche necessitano di metalli del gruppo del platino. Nella Tab. 1 si è sintetizzato l'uso industriale di tutte le materie prime. In aggiunta alle problematiche di approvvigionamento, la pandemia di COVID e l'incremento della richiesta di apparecchiature elettroniche da utilizzare nello "smart working" ha determinato una forte scarsità di semiconduttori, mettendo in crisi tutto il settore tecnologico. I "microcips" utilizzati in elettronica sono transistor la cui produzione in silicio ha permesso di renderli talmente piccoli da poter essere inseriti in un chip realizzato su un *wafers* di silicio. Il *wafers* è una sottilissima fetta di silicio opportunamente lavorata che funge da base per un chip, formando circuiti integrati. In ogni automobile ci sono tantissimi chip, in un numero che varia da 50 a 3 mila. I chip possono essere realizzati in Fe Silicio, Mn Silicio o in Carburato di Silicio, inoltre il silicio ad altissima purezza può essere anche drogato con boro, gallio, fosforo o arsenico per essere utilizzato nella produzione di transistor, celle solari, raddrizzatori e altri dispositivi ampiamente utilizzati nell'industria elettronica. Nel settore della microelettronica l'azienda italo-francese STMicroelectronics è leader europeo nella produzione di *wafers* al silicio, producendo anche chip in carburato di silicio, di recente adottati dalla Tesla. Anche INTEL sta per realizzare una fabbrica di chips in Piemonte o in Veneto per un valore di 4,5 miliardi di Euro. Taiwan con la TSMC è diventato il primo produttore mondiale di chip (50-60 per cento del totale), seguita dalla Samsung e dalla Huawei. Si tratta di un'industria che secondo le stime fornite da Bloomberg oggi vale circa 2.000 miliardi di US \$ a livello globale (Bloomberg, 2022).

I PRINCIPALI PRODUTTORI MONDIALI DI MATERIE PRIME

In Fig. 1 ed in Tab. 2 sono evidenziati i maggiori produttori mondiali di materie prime. Dalle previsioni del Rapporto UE del 2011 si evidenziava che entro il 2030 la domanda si sarebbe potuta triplicare rispetto a quella del 2006 e che il rischio maggiore, relativo alla loro fornitura, era legato al fatto che i maggiori produttori mondiali erano e

sono tuttora un numero ristretto di paesi: Cina (antimonio, spatofluoro, gallio, germanio, grafite, indio, magnesio, terre rare e tungsteno), Russia (PGM), Repubblica democratica del Congo (cobalto e tantalio) e Brasile (niobio e tantalio). A questa concentrazione geografica della produzione si aggiungono in molti casi altri fattori aggravanti, quali il basso grado di sostituibilità ed i tassi ridotti di riciclaggio. Il Roskill Report già nel 2009 indicava che la Cina, che è attualmente il fornitore globale di TR, aveva già messo sotto stretto controllo l'attività mineraria, la produzione e l'export con l'obiettivo di massimizzare all'interno l'utilizzo di questa risorsa. Il risultato finale di questa politica è stato che negli ultimi anni si sono prodotti profondi cambiamenti nell'industria globale.

LA PRODUZIONE MINERARIA ITALIANA

Nel 2016 i siti produttivi sono stati 2.295 (2.227 cave e 68 miniere) dai quali si estraggono complessivamente circa 167,8 milioni di tonnellate di minerali non energetici (-3,2% rispetto al 2015). Le estrazioni nazionali, comprese le acque minerali, sono costituite per l'83,8% da minerali da cave, con 154 milioni di tonnellate (-3,2% rispetto al 2015); l'aggregato "calcare, travertino, gesso e arenaria" è il più rappresentativo (48,6% del totale estratto dalle cave). Circa il 44% delle estrazioni nazionali da cave si concentra nel Nord del Paese (68 milioni di tonnellate); in testa la Lombardia, per numero di cave in produzione (273) ed estrazioni (14,4% dei prelievi totali). Risultano tendenzialmente stabili rispetto al 2015 le estrazioni di minerali solidi da miniere, con 13,7 milioni di tonnellate. In prevalenza sono estratti "minerali ceramici e industriali" (5,7 milioni di tonnellate) e "marna da cemento" (5,5 milioni di tonnellate). Il 58,5% del

totale nazionale proviene da Sardegna, Toscana e Umbria (ISTAT, 2020).

Italkali Spa (<https://italkali.com>) è la principale azienda italiana per l'estrazione, la lavorazione e l'esportazione del salgemma nelle miniere di Racalmuto e Realmonte in provincia di Agrigento e nella miniera di Petralia in provincia di Palermo. La produzione annua è di 2 milioni di tonnellate. Minerali Industriali Spa (<https://www.mineraliindustriali.it>) si occupa di estrazione, trattamento e commercializzazione di materie prime quali sabbie, feldspati, argille e caolino destinate alle industrie del vetro, della ceramica, dei sanitari e dei colorifici; e riciclo e recupero di scarti industriali non pericolosi. Le miniere sono localizzate a Masserano, in provincia di Biella, miniera ex ACDAL di Lozzolo, in provincia di Vercelli. A Santa Severa, Roma, esiste una piccola miniera di caolino, da cui si ottengono prodotti famosi per sanitari e smalti ceramici. Nel sito di Verbania viene prodotto feldspato sodico potassico partendo da granito bianco e rosa, destinato all'industria ceramica delle piastrelle, dei sanitari e all'industria vetraria. Nella miniera di riolite di Boca, in provincia di Novara, si producono circa 150.000 tonnellate all'anno destinate all'industria ceramica delle piastrelle. La miniera di quarzo di Sondalo (Sondrio), attualmente coltivata in sotterraneo presenta un contenuto in silice di oltre il 99%: vengono estratte circa 60.000 tonnellate all'anno destinate agli impianti di macinazione di Bernate Ticino (MI) e Cacciano di Masserano (BI) per l'impiego nell'industria del E-stone, della ceramica sanitaria, dei colorifici ceramici e come materia prima per il settore delle ferroleghie. A Malesco (VB), è attiva una miniera di olivina ad elevato tenore di MgO con caratteristiche di elevato interesse per il settore delle fonderie.

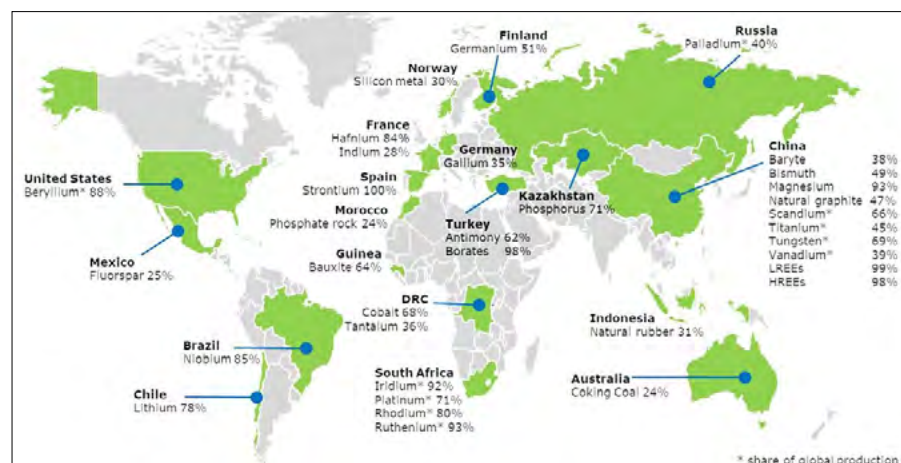


Figura 1. Mappa con la localizzazione dei principali produttori mondiali di materie prime strategiche (Fonte: European Commission report on the 2020 criticality assessment)

Tabella 2. Principali produttori mondiali di materie prime

	Primo paese produttore	Produzione in paese leader (ton)	Produzione totale mondiale (ton)	Percentuale di totale mondiale
Alluminio (Bauxite)	Australia	110.000.000	390.000.000	28
Antimonio	China	60.000	110.000	55
Arsenico	Peru	27.000	59.000	46
Barite	China	2.800.000	7.300.000	38
Berillio	United States	170	260	65
Bismuto	China	16.000	19.000	84
Cromo	South Africa	18.000.000	41.000.000	44
Cobalto	Congo (Kinshasa)	120.000	170.000	71
Fluorite	China	5.400.000	8.600.000	63
Gallio	China	420	430	98
Germanio	China	95	140	68
Grafite	China	820.000	1.000.000	82
Indio	China	530	920	58
Litio,	Australia	55.000	100.000	55
Magnesio	China	800.000	950.000	84
Manganese	South Africa	7.400.000	20.000.000	37
Niobio,	Brazil	66.000	75.000	88
Palladio (platinum-group metal)	South Africa	80	200	40
Platino (platinum-group metal)	South Africa	130	180	72
Potassio	Canada	14.000.000	46.000.000	30
Terre Rare	China	168.000	280.000	60
Renio	Chile	29	59	49
Scandio	China	-	-	-
Stronzio	Spain	150.000	360.000	42
Tantalio	Congo (Kinshasa)	700	2.100	33
Tellurio	China	340	580	59
Titanio	China	120.000	210.000	57
Tungsteno	China	120.000	210.000	57
Vanadio	China	73.000	110.000	66
Zirconio	Australia	400.000	1.200.000	33

Fonte: USGS, 2020

LE IMPORTAZIONI DELL'INDUSTRIA ITALIANA DALL'ESTERO

La produzione industriale nazionale dipende, per 564 miliardi di euro (pari a circa un terzo del Pil al 2021) da importazioni extra-Ue (www.greenandblue.it in www.repubblica.it 20/09/2022). Uno scenario aggravato anche dall'attuale conflitto russo-ucraino in quanto l'Italia importava dalla Russia palladio (35%), rodio (33%), platino (28%) e alluminio primario (11%) per 107 miliardi di euro. Nello specifico, nel nostro Paese, ben 26 CRM su 30 sono indispensabili per l'industria aerospaziale (87% del totale), 24 per quella ad alta intensità energetica (80%), 21 per l'elettronica e l'*automotive* (70%) e 18 per le energie rinnovabili (60%). Un settore, quest'ultimo che con

la transizione ecologica ed energetica è destinato a forti potenziali di crescita della domanda di materie prime critiche, essenziali allo sviluppo dell'industria dell'eolico, del fotovoltaico e della mobilità elettrica.

LE IMPRESE ITALIANE OPERANTI ALL'ESTERO

Nel 2019 operavano all'estero 226 imprese italiane nel settore delle cave e miniere con un totale di 32.852 addetti e con un fatturato netto di 16.671 milioni di Euro (ISTAT-ICE 2020).

Minerali Industriali è presente con 1 unità produttiva in Asia, 3 in Nord Africa e 7 in Centro e Sud America impiegando circa 600 unità di personale. Le materie prime sono destinate alla produzione di vetro (sia vetro cavo

per profumeria, farmaceutici, bottiglie e bicchieri che vetro piano per auto, edilizia ed architettura), di ceramica (sia piastrelle che sanitari), per l'edilizia (pitture e vernici, intonaci tecnici e finiture, engineered-stone, premiscelati) e per usi industriali vari (gomme, plastiche, siliconi, silicato sodico per detersivi, dentifrici, etc) (<https://www.minerali-industriali.it>). Italtrezi (Arezzo) ha partecipazioni in società quotate nella Borsa di Toronto (<https://www.italpreziosi.it/it/partecipazioni>):

Starcore International Mines LTD che ha una concessione mineraria di oro a San Martín, Messico. La società detiene concessioni minerarie anche negli Stati Uniti, non ancora sfruttate, né capitalizzate. *Gold X Mining* possiede alcune concessioni minerarie in centro e sud America,

ed in particolare, in British Guyana, sta sviluppando quello che è considerato oggi come uno dei maggiori progetti minerari di estrazione di oro in sud- America. *Caldas Gold Corp* opera in Colombia, acquisendo una parte delle concessioni minerarie di Gran Colombia Gold Corp (Marmato), con prospettive di una significativa espansione della fase di estrazione, che è già attualmente in essere.

Mintata S.A. opera in Colombia, ove sta estraendo oro alluvionale nel pieno rispetto della tutela dell'ambiente e delle condizioni di lavoro.

Goldlake IP è una società che ha realizzato dal 2008, tra i primi al mondo, un progetto di tracciabilità di filiera, dall'estrazione mineraria, alla raffinazione ed alla successiva vendita in esclusiva a Cartier di oro etico.

COSA STA ACCADENDO NEL MONDO

La Cina è presente in modo massiccio in Africa (Alden *et al.*, 2008; Lafargue, 2005) mediante la creazione dell'FCSA che è un accordo tra Cina e 49 paesi africani. Nelle sue tre edizioni (2000, 2003 e 2006), gli incontri bilaterali sui temi degli aiuti e degli accordi commerciali si sono svolti parallelamente agli incontri d'affari che facilitano transazioni e contratti tra Cina e aziende africane. Questo forum è importante come luogo di incontro per verificare eventuali progressi, firmare pubblicamente accordi o delineare relazioni future. Tuttavia non dispone di un apparato istituzionale avanzato che goda di alcuna autonomia rispetto alla politica africana della Cina. Né sembra essere un attore significativo nell'orientamento delle relazioni al di là del suo ruolo ufficiale di coordinamento e di rappresentanza pubblica. I meccanismi di cooperazione sono molteplici e non solo definiti centralmente. Altri impulsi vengono dati dalle province cinesi o da alcuni dipartimenti di ministeri centrali. La rilevanza della FCSA va collocata all'interno delle sezioni governative cinesi responsabili della politica africana, tra cui in particolare il principale gruppo degli Affari Esteri del Comitato Centrale del PCC, responsabile dello sviluppo della politica estera. Il Dipartimento per gli Affari Africani (DAA) integrato nel Ministero degli Affari Esteri attua le politiche degli alti dirigenti cinesi, anche attraverso la FCSA (che ha un "Comitato di follow-up" cinese composto da più di venti agenzie statali guidate dal Segretario Generale del DAA). Oltre al Ministero del Commercio, gli altri ministeri chiave, il Dipartimento per gli affari dell'Asia occidentale e dell'Africa e il Dipartimento

per gli aiuti ai paesi esteri, sono di particolare importanza per la formulazione della politica cinese in Africa. Questi vari organismi sono alimentati da una rete di organizzazioni di ricerca e accademici le cui raccomandazioni sono spesso rivolte direttamente ai dirigenti.

Attualmente l'Africa e le sue risorse minerarie sono presidiate militarmente da Francia e Russia (Fig. 2) e dalla Cina non militarmente ma tramite gli accordi di cooperazione. I francesi hanno basi militari a Djibuti, Dakar, Abjan e Libreville mentre i mercenari russi della Wagner sono presenti in Libia, Repubblica Centrafricana, Sudan e in Mali. Tuttavia hanno accordi di cooperazione militare con la Russia i seguenti stati: Tunisia, Libia, Egitto, Sudan, Chad, Niger, Camerun, Repubblica Centrafricana, Etiopia, Kenia, Tanzania, Mozambico, Madagascar, Zambia, Botswana, Angola e Repubblica Democratica del Congo.

Nel corso del 2022 si è svolto a Bruxelles il sesto vertice Unione Europea – Unione Africana (17 e 18 febbraio 2022), occasione per gettare le basi per il rinnovo e l'approfondimento del partenariato tra i due Continenti, basato sulla reciproca fiducia e la comunione di interessi. Per quanto riguarda direttamente l'Italia gli accordi attualmente in vigore, validi per il triennio 2021-2023, hanno identificato 20 Paesi prioritari, scelti per legami storici, relazioni bilaterali consolidate, ragioni di politica estera, stabilità e sicurezza internazionale: **Egitto, Tunisia, Etiopia,**

Kenya, Somalia, Sudan, Burkina Faso, Mali, Niger, Senegal e Mozambico. Nei paesi contrassegnati in neretto sono operative sedi dell'Agenzia Nazionale per la Cooperazione (www.aics.gov.it/home/ita/agenzia/sedi-estere).

IL PROBLEMA DELLE IMPRESE ITALIANE

Le sempre scarse risorse minerarie italiane, connesse alla costituzione geologica del territorio, hanno determinato in Italia non solo la chiusura di società che operavano in campo minerario ma anche la fine della ricerca e dell'insegnamento dell'arte mineraria. Il sistema paese non ha più pertanto la capacità di intervento in questo settore strategico, avendo delegato in toto alle società di import/export la delicata materia dell'approvvigionamento delle materie prime strategiche (Zarlenga, 2011; 2011a e 2011b). Tuttavia se questa politica poteva considerarsi accettabile in una fase di tranquillità dei mercati, oggi non sembra più perseguibile. Va anche evidenziato come altri paesi, ove sono presenti società con capacità di accesso a fondi di investimento internazionali e/o alle varie borse internazionali stiano cercando di acquisire le concessioni minerarie ancora disponibili, soprattutto in Africa.

Dopo Montedison, IRI, Aquater, Rimin, Progemisia e Agip Mineraria, in Italia non esistono più imprese di grandi dimensioni, tali da disporre di finanziamenti idonei da supportare grandi in-



Figura 2. Mappa dell'Africa e zone d'influenza russa, cinese e francese per il controllo delle materie prime

vestimenti in ricerca e sviluppo all'estero. I problemi per una nostra Piccola e Media Impresa (PMI) sono relativi ai costi di investimento particolarmente elevati. A titolo di esempio puramente indicativo si fornisce una stima dei costi molto approssimati necessari per un'impresa che intenda operare all'estero su un progetto minerario.

- Apertura sede in loco = 150.000 US \$ x anno
- Richiesta e acquisizione concessione mineraria esplorativa con tasse = 10.000 US \$ x anno
- Esplorazione speditiva sulla concessione = 300.000 US \$
- Studio bancabile sulla concessione con Impianto Pilota: Sondaggi per km², trenches, geofisica, diffratometrie, analisi chimiche x fluorescenza e IPC Mass, eseguite possibilmente da un ente certificatore (Tipo SGS), calcolo delle riserve e delle risorse, life time della miniera, business plan e cash flow = 3-4 M US \$
- Jorc sul progetto = 1 M US \$
- Ottenimento finanziamento per attività mineraria da banche o borse
- Progetti esecutivi ed inizio attività estrattiva

L'investimento necessario per l'apertura di una miniera di dimensioni medie, che opera in depositi primari è stimabile grosso modo fra 40 e 50 M US \$ comprensivi di capex ed opex ed avvio delle attività a regime. Tali costi si incrementano qualora sia necessario realizzare impianti di raffinazione e fusione, a valore crescente in funzione delle dimensioni e delle tipologie degli impianti. Leggermente inferiore può essere l'investimento, circa 26 M US \$ se si opera su sabbie pesanti o su depositi secondari (Zarlenga *et al.*, 2020).

In un settore così particolarmente ricco è chiaro che le possibilità di raggrigi e truffe sia particolarmente elevata, per tale motivo è stato creato ad hoc lo JORC (Joint Ore Reserves Committee, 2012). Si tratta del codice australiano per la valutazione dei risultati di un'esplorazione mineraria; è un codice di condotta professionale che stabilisce standard minimi per la pubblicizzazione dei risultati di un'esplorazione mineraria. Esso fornisce un sistema obbligatorio per la classificazione dei risultati della quantificazione delle risorse minerarie e delle riserve di minerali in base ai livelli di fiducia delle conoscenze geologiche e

alle considerazioni tecniche ed economiche. La trasparenza richiede che ad un investitore che si basa su un Rapporto Pubblico siano fornite informazioni sufficienti, la cui presentazione sia chiara e non ambigua, per comprendere il rapporto e non essere fuorviato da false informazioni o dall'omissione di informazioni sostanziali, note alla Persona competente. La significatività richiede che un Report Pubblico contenga tutte le informazioni rilevanti per gli investitori che si aspetterebbero ragionevolmente di trovare nella relazione, al fine di formulare un giudizio motivato ed equilibrato in merito ai risultati dell'esplorazione. La competenza richiede che il Rapporto Pubblico sia basato sul lavoro di cui è responsabile una persona adeguatamente qualificata ed esperta, soggetta a un codice etico. Una "persona competente" è un professionista dell'industria mineraria che è un membro di The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, o dell'Australian Institute of Geoscientists, o di una "Organizzazione professionale riconosciuta" (RPO), come inclusa in un elenco disponibile sul JORC e siti Web ASX. Queste organizzazioni hanno processi

Tabella 3. Chi può eseguire uno JORC

Organizzazione Professionale	Appartenenza minima richiesta
Istituto dei Materiali, Minerali e Miniere	Membro (MIMMM) o Associato (FIMMM)
Società Geologica di Londra	Geologo Socio, Socio Scienziato o Geologo Europeo
Istituto dei Geologi d'Irlanda	Geologo Professionista
Federazione Europea dei Geologi	Geologo Europeo (EuroGeol)
Società Mineraria e Metallurgica d'America	Professionista qualificato
Istituto Americano dei Geologi Professionisti	Geologi professionisti certificati
Società per le miniere, la metallurgia e l'esplorazione	Membro registrato SME
Consiglio dei ingegneri del Sud Africa	Ingegneri professionisti
Consiglio Sud Africano per le professioni nel campo delle scienze naturali	Professionisti in Scienze Naturali
Società Geologica del Sud Africa	Membri o associati
Ingegneri Professionisti dell'Ontario	Ingegneri professionisti
Associazione degli ingegneri e geologi di Manitoba	Ingegneri e geologi professionisti
Associazione degli ingegneri e geologi della British Columbia	Ingegneri e geologi professionisti
Associazione degli ingegneri e geologi del Labrador	Ingegneri e geologi professionisti
Associazione degli ingegneri, geologi e geofisici dei Territori del Nord Ovest	Ingegneri, geologi e geofisici professionisti
Associazione dei geologi professionisti della Nuova Scozia	Geologi professionisti
Associane degli Ingegneri e Geologi professionisti del New Brunswick	Ingegneri e Geologi professionisti
Associazione degli Ingegneri, Geologi e Geofisici di Alberta	Ingegneri, Geologi e Geofisici professionisti
Associazione degli Ingegneri e Geologi di Saskatchewan	Ingegneri e geologi professionisti
Ordine dei Geologi del Québec	Geologi professionisti
Ordine degli Ingegneri del Québec	Ingegneri professionisti
Commissione certificante le competenze in Risorse e Riserve minerarie (Commissione Mineraria Cilena)	Membri iscritti
Società Russa degli Esperti del Sottosuolo (OERN)	Esperti

disciplinari applicabili tra cui il potere di sospendere o espellere un membro. Come si evince dalla *Tab. 3*, coloro che possono eseguire uno JORC sono soltanto membri di associazioni anglofone in parte legate al Commonwealth con l'eccezione di un'Associazione Russa, della Federazione Europea dei Geologi e di un'Associazione Cilena.

POTENZIALITÀ MINERARIE ITALIANE

La ricerca del Litio nel Lazio, con domanda di ricerca esplorativa alla Regione, riguarda l'area di Campagnano e Galeria a Cesano, in un'area di 3.240 ettari in cui sono stati perforati più di 800 pozzi. Le domande interessano i permessi di ricerca sui tanti pozzi che sono stati già utilizzati in passato per la ricerca geotermica e oggi dismessi. La ricerca deve valutare se i tenori di Litio contenuti nei fluidi idrotermali sono di interesse. Piombo e Zinco sono d'interesse per l'Australiana Altamin che opera in Italia con le consociate Energia Minerals Italia e Strategic Minerals Italia. L'azienda da anni porta avanti il progetto Gorno, relativo al complesso minerario Riso-Parina, che va a interessare i comuni di Gorno, Oltre il Colle e Oneta in provincia di Bergamo, prevedendo la riattivazione di una miniera di zinco e piombo (blenda e galena) chiusa dall'Eni oltre vent'anni fa. In questo sito sono stati spesi oltre 16 milioni di euro per una serie di interventi e attività di ricerca. Tra i programmi anche la ricerca per l'eventuale utilizzo di altri materiali particolarmente ricercati come Cobalto. Il progetto riguarda le vecchie miniere del 1700 di Usseglio e Balme in Piemonte. L'intenzione è quella di riattivare quella che gli addetti ai lavori hanno definito il più grande sito di cobalto d'Europa. In Sardegna, a Silius, la Mineraria Gerrei è al lavoro per rimettere in produzione il sito minerario di Muscadroxiu, per l'estrazione di fluorite, ma anche galena e terre rare. Per portare avanti il progetto è stato predisposto un piano di investimenti da 40 milioni di euro e un progetto industriale che prevede l'impiego di strumenti ad alta tecnologia che spazierà dallo studio e ricerca dei tenori all'organizzazione del lavoro sino ad arrivare alla possibilità di guida dei mezzi in sottosuolo da remoto (Il Sole 24ore, 2020).

Ricerche svolte in passato da RIMIN hanno individuato Terre Rare (di seguito REE) in concentrazioni misurabili nelle seguenti località:

- Basamento sudalpino dell'area di Bressanone;

- Vulcaniti del Lazio;
- Piemonte Nord-Est.

Le ricerche condotte sul basamento sudalpino di Bressanone sono state individuate tre aree principali, con frequenti segnalazioni della presenza di allanite con concentrazioni comprese fra 10 e 30%.

Nelle vulcaniti laziali sono stati esaminati i depositi fluoritici, di Pianciano, a SO del lago di Bracciano, dove sono stati individuati depositi con contenuti di REE variabili tra 867 e 2,228 ppm, con forte prevalenza di Cerio-Lantanio (Ce+La). Ad Acquaforte, a SO del lago di Bolsena, con contenuto di Ce+La variabile da 1,443 a 2,297 ppm. A Monte Razzano, a E del lago di Bracciano, caratterizzata da minerale calcitico-fluoritico con valori anomali di Ce+La variabili tra 970 e 1,272 ppm e % di HREE (Terre rare pesanti) superiori a quelle delle aree precedenti. A Cornazzano, a S del lago di Bracciano, dove le fluoriti presentano valori anomali di REE variabili tra 1229 e 1290 ppm, in cui la componente Ce+La è sempre superiore all'80%. Infine a Campagnano Romano, a E del lago di Bracciano, dove per meglio definire il deposito fluoritico del vicino Monte Razzano è stato campionato un livello palustre nei tufi cineritici freatomagmatici della caldera di Baccano con valori di Ce+La molto elevati (8,145÷18,000 ppm) e con rapporti LREE/HREE sempre elevati (50 ca.).

Nel Piemonte nord-orientale, furono individuate anomalie di barite e fluorite nella zona di Lozzolo, con concentrazioni anomale di Ce+La variabili tra 505 e 1,444 ppm, con prevalenza di cerio. In corrispondenza degli affioramenti del Complesso dei "porfidi quarziferi" del Biellese, furono anche rinvenuti "materiali feldspatici e minerali di metalli rari" nei depositi alluvionali della Val Vigezzo, caratterizzati dalla "presenza localizzata di filoni pegmatitici e/o aplitici noti anche per le segnalazioni di minerale di Nb-Ta e REE e da estesi affioramenti di ortogneiss granitoidi".

Per quanto riguarda Nichel e Cobalto, le ricerche individuarono concentrazioni misurabili in Italia Settentrionale e nelle mineralizzazioni nelle ofioliti. Il Complesso Basico della Zona Ivrea-Verbano, al cui interno sono localizzate le principali miniere italiane di pirrotina nicheliferi (Alvani e Pennino Grande, in alta Valle Strona nel territorio del comune di Valstrona), attive fino a tutta la prima metà del XX secolo. Oltre a queste emergenze già oggetto di attività estrattiva, si segnalano estesi

settori, in particolare intorno a Finero, con minerali di nichel in forma disseminata, all'epoca della ricerca considerati a livelli subeconomici. Le metaofioliti (ultramafiti più o meno serpentinite) della Zona Piemontese-Ligure, con particolare riguardo al settore Gruppo di Voltri, con presenza di minerali di nichel disseminati in corrispondenza alle mineralizzazioni aurifere. Sono invece ben note ai fini economici le lateriti nichel-cobalto-cromifere derivate dalla demolizione delle rocce serpentinitiche.

ALCUNE PROIEZIONI RIGUARDO AL LITIO

Per le batterie dei veicoli elettrici e lo stoccaggio dell'energia, l'UE avrebbe bisogno, rispetto all'attuale approvvigionamento della sua intera economia, di una quantità di litio fino a 18 volte superiore e di una quantità di cobalto fino a 5 volte superiore nel 2030 e di una quantità di litio 60 volte superiore e di una quantità di cobalto 15 volte superiore nel 2050. Se non affrontato, questo aumento della domanda potrebbe causare problemi di approvvigionamento. (Market Index, 15/18 Settembre, 2022). Nel 2035 saranno necessarie 384 nuove miniere di grafite, litio, nichel e cobalto per coprire la domanda di batterie al litio. Il riciclaggio potrebbe soddisfare la domanda di cobalto, ma non quella di grafite per questo saranno necessarie 97 nuove miniere di grafite al 2035; attualmente nel mondo ne esistono 70 (Market Index 18/settembre 2022)

Ma le batterie del futuro Sodio/Aluminio (Market Index, 15 settembre 2022) allo stato solido (SASS) sono già una realtà (Fraunhofer, Germany). I vantaggi di questa nuova tipologia di batterie sono:

- Nessun rischio di combustione;
- climaticamente resilienti, possono operare in ambienti estremi;
- sono superiori a quelle con ioni di litio;

Per il momento non sostituiranno quelle al litio per automobili, ma saranno utilizzate per stoccare energia elettrica prodotta dalle rinnovabili.

IL RICICLAGGIO IN ITALIA

Ad oggi sono nati 10 consorzi di produttori di apparecchiature elettriche ed elettroniche (RAEE) proveniente da utenze "domestiche" ed è probabile che qualche altro consorzio si aggiunga ancora nei prossimi mesi. Già nel mese di marzo 2007 è stato costituito il Centro di Coordinamento: l'organismo multiconsortile con il compito di

“ottimizzare le attività di competenza dei sistemi collettivi di gestione dei RAEE” e rappresentare i consorzi dei RAEE domestici nei confronti degli interlocutori di riferimento. Ad oggi, i Produttori di Apparecchiature Elettriche ed Elettroniche hanno dato vita ad una serie di Sistemi Collettivi, alcuni dei quali specifici per tipologia di prodotti (rifiuti) e altri trasversali a tutti i RAEE.

- ECOTEC Recupero di Al, Fe, Sc, Ti e TR dai fanghi rossi di Macchia-reddu
- ECOLAMP Consorzio per il recupero e lo smaltimento delle sorgenti luminose e degli apparecchi di illuminazione.
- RE.MEDI@ Consorzio operante nei settori dell'elettronica di consumo, dell'informatica, delle telecomunicazioni, della climatizzazione, dei giocattoli, degli strumenti musicali e degli orologi
- ERP European Recycling Platform è un società attiva già in altri Paesi UE per la gestione di tutte le tipologie di RAEE.
- ECOLIGHT Consorzio per il recupero e lo smaltimento delle apparecchiature di illuminazione e delle sorgenti luminose.
- ECOPED Consorzio per il trattamento dei piccoli elettrodomestici.
- EcoR'it Consorzio per la gestione di tutte le tipologie di RAEE.
- RIDOMUS Consorzio per il recupero e lo smaltimento di condizionatori, climatizzatori e deumidificatori ad uso domestico.
- ECOSOL Consorzio per la gestione di tutte le tipologie di RAEE

Alcuni dati nazionali (Fonte: Green & Blue, in Repubblica, 8/10/2022) non derivanti da istituzioni competenti, indicano che oltre il 90% dei rifiuti è smaltito fuori dai canali ufficiali; il 44% viene gestito, ma solo il 5-10% è riciclato, mentre il resto finisce in flussi sconosciuti. Trattandosi di operatori del libero mercato i metodi di raccolta, trattamento e recupero non sono né tracciati, né rendicontati con il risultato finale di un export non controllato.

Per confronto con la caotica realtà nazionale si mette in evidenza il riciclaggio di alcuni elementi negli USA (USGS, 2022), dove tutti i materiali sono tracciati ed i dati sono trasferiti all'US Geological Survey, pur trattandosi di un paese dove il libero mercato rappresenta la filosofia di base.

- L'alluminio recuperato dai vecchi rottami equivale a circa il 30% della richiesta;

- Le industrie che operano col berillio hanno istituito un programma di riciclaggio completo, recuperando circa il 40%;
- Il bismuto recuperato dai rottami di leghe costituisce tra il 5% e il 10% del consumo degli Stati Uniti;
- Le salamoie di formiato di cesio sono utilizzate nell'esplorazione di petrolio e gas vengono ritratte per le successive operazioni di perforazione, recuperando quasi l'85%;
- Il cromo riciclato (contenuto nelle ricevute di rottami di acciaio inossidabile) ha rappresentato il 20% del consumo;
- Il cobalto contenuto nei rottami rappresentava circa il 24% del consumo;
- Il rame recuperato dai rottami ha contribuito per circa il 32% alla fornitura di rame degli Stati Uniti.

Circa 115.000 chilogrammi di palladio e platino sono stati recuperati a livello globale da rottami nuovi e vecchi nel 2021, inclusi circa 53.000 chilogrammi recuperati dai convertitori catalitici delle automobili negli Stati Uniti.

CONCLUSIONI

La posizione italiana rispetto all'approvvigionamento di materie prime strategiche appare dettata da alcuni fattori insiti nelle nostre capacità di intervento nel settore:

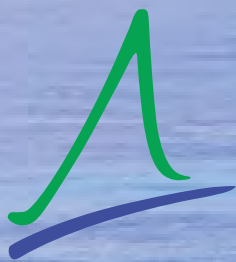
- Non esistendo grandi imprese minerarie nazionali, le nostre PMI non sono in grado sia di competere sui mercati internazionali, sia di accedere alle grandi possibilità di finanziamento esistenti sui mercati stessi. Fatta esclusione da questo novero soltanto ENI che tuttavia opera soltanto sui minerali energetici;
- Le nostre imprese “high tech” si riforniscono direttamente sul mercato con un saldo negativo di 564 miliardi di Euro;
- Non esiste una *road map* nazionale per la ricerca di materie prime strategiche;
- Lo stato non ha una politica nazionale riguardo al riciclaggio, avendo dato carta bianca ai consorzi per il riciclaggio delle apparecchiature elettroniche obsolete, che non comunicano a nessuno cosa stiano riciclando e a chi rivendono i materiali recuperati;
- Le potenzialità minerarie italiane sono estremamente ridotte a causa della natura geologica del territorio, anche se alcune risorse potrebbero essere sfruttate.

BIBLIOGRAFIA

- CHRIS ALDEN C., DAN LARGE D. & RICARDO SOARES DE OLIVEIRA R. (2008), *Chine-Africa: facteur et résultante de la dynamique mondiale*. Dans *Afrique contemporaine* 2008/4 (n° 228), 119-133.
- DINI A., LATTANZI P., RUGGIERI G. & TRUMPY E. (2022), *Lithium Occurrence in Italy - An Overview*. Minerals. 12, 945, 1-27.
- ISTAT-ICE (2022), *Commercio estero e attività internazionali delle imprese*. Edizione 2022.
- JOINT ORE RESERVES COMMITTEE (2012), *The JORC Code 2012 Edition*. Joint Ore Reserves Committee of The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Australian Institute of Geoscientists and Minerals Council of Australia (JORC), 44 pp.
- LAFARGUE F. (2005), *China's Presence in Africa*. Chinese perspectives, 61, September/October.
- ROSKILL REPORT (2009), *The Economics of Tantalum*, 10th edition. www.roskill.com/reports/minor-and-light-metals/tantalum.
- UE (2010), *Critical raw materials for the EU*. The ad-hoc Working Group is a sub-group of the Raw Materials Supply Group and is chaired by the European Commission Version of 30 July. E.U., Enterprises and Industry. MEMO/10/263.
- UE (2020), *Critical Raw Materials Resilience: Charting a Path towards greater Security and Sustainability*. COM/2020/474 final.
- U.S. GEOLOGICAL SURVEY (2022), *Mineral commodity summaries 2022*. U.S. Geological Survey, 202 pp.
- ZARLENGA F. (2011), *Materie prime strategiche nell'industria "high tech". Le terre rare, il tantalio ed il niobio. Usi industriali, ricorrenze e mercato. Nuove possibilità di approvvigionamento*. Geologia dell'Ambiente, 1, 35-43.
- ZARLENGA F. (2011a), *Le risorse naturali vanno utilizzate con efficienza*. Energia e Innovazione, 4-5, 27-29.
- ZARLENGA F. (2011b), *Allarme sul futuro sviluppo delle tecnologie energetiche per le rinnovabili. Il problema è serio ma non vanno fatti allarmismi*. Energia e Innovazione, 6, 30-31.
- ZARLENGA F., MAROCCHINO E. & VACCARO C. (2020), *Le ricerche sulle sabbie pesanti della piana alluvionale del Fiume Zambesi (Repubblica del Mozambico). Potenzialità minerarie e valutazione economica*. Geologia dell'Ambiente, 4, 7-15.

CITAZIONI RILEVATE SUL WEB

- www.greenandblue.it in www.repubblica.it
- www.bloomberg.com/opinion/articles/2022-11-20
- www.marketindex.com.au (2022)
- www.marketindex.com.au (2022)
- www.mineraliindustriale.it/wp-content/uploads/2020/12/Company-Profile-ITA
- www.italpreziosi.it/it/partecipazioni
- www.aics.gov.it/home-ita/agenzia/sedi-estere/sites.google.com/view/miniere-italia/alle-gati/ricerche-minerarie-rimin-aquater-progemia?pli=1
- <https://italkali.com>
- www.ilsolo24ore.com/art/1-italia-miniere



ARPACAL

Agenzia Regionale per la Protezione dell'Ambiente della Calabria

Agisce per la tutela dell'ambiente in Calabria

*“L'ambiente è un trattato di pace:
richiede conoscenza, cooperazione
e azioni sostenibili”*



PROTEGGERE L'AMBIENTE

è nella nostra natura

PREVISIONE E PREVENZIONE DEI RISCHI DI ORIGINE NATURALE INFORMAZIONI DI CARATTERE AMBIENTALE



Processi ed effetti

Arpa si occupa di studi e monitoraggi nel campo della geologia e geomorfologia, in particolare dei processi di modellamento naturale attivi sul territorio (piene fluviali e torrentizie, frane) e dei processi in ambiente di alta quota (ghiacciai, valanghe, permafrost). L'aggiornamento del quadro conoscitivo del dissesto del territorio, soprattutto in seguito ad eventi alluvionali, è fondamentale per l'individuazione delle zone soggette a pericolosità geomorfologica



Previsioni

Le competenze geologiche confluiscono nel sistema di allerta del Centro funzionale per la previsione dei rischi naturali, con valutazioni sulla probabilità di innesco di fenomeni gravitativi di diversa tipologia



Monitoraggio

Arpa gestisce la Rete Regionale di Controllo sui Movimenti Franosi, con più di 200 siti di monitoraggio sul territorio regionale, con strumenti di misura di tipo superficiale e profondo. Gestisce inoltre la Rete di monitoraggio del permafrost nelle Alpi piemontesi: direttamente collegato alle caratteristiche climatiche, il permafrost è un importante indicatore per la comprensione dei cambiamenti climatici in area montana, dei rischi naturali in alta quota e del ciclo idrologico delle terre alte



Geoportale

I dati ambientali raccontati da noi.
Raccolta di mappe, testi, e grafici che descrivono l'ambiente





Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

www.sigeaweb.it

5X1000



Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

Aiutaci a promuovere
la **CULTURA GEOLOGICA**
e la **TUTELA DELL'AMBIENTE**

DESTINA IL

CINQUE X MILLE ALLA **SIGEA-APS**

C.F. 04336801008



Società Italiana di Geologia Ambientale - APS

www.sigeaweb.it - info@sigeaweb.it