

GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico di Scienze della Terra dell'Ordine dei Geologi della Puglia

ISSN: 1974-1189

Poste Italiane s.p.a. - Spedizione in abbonamento postale - D.L. 353/2003 (conv. in L. 27/02/2004 n° 46) art. 1 comma 1, DCB BA

**INSTABILITÀ ED ARRETRAMENTO DELLE FALESIE COSTIERE IN ROCCE TENERE:
ANALISI DEI PROCESSI E METODOLOGIE DI STUDIO**

Piernicola Lollino

**RISPOSTA BAROMETRICA E RICARICA METEORICA
IN UNA FALDA "SUPERFICIALE"
(2017-2025, CAMPUS ECOTEKNE, LECCE)**

Marco Delle Rose, Luca Ciricugno, Luca Orlanducci

ATTIVITÀ DELL'ORDINE AD UN ANNO DALL'INSEDIAMENTO



I PRATI ARMATI® sono l'unica tecnologia antierosiva in grado di rispettare e superare tutte le prescrizioni imposte dal **Reg. (UE) 2020/852 e dal Principio DNSH**: *«...gli obiettivi ambientali cui deve contribuire un'attività economica per essere considerata ecosostenibile, devono contribuire in modo sostanziale alla mitigazione dei cambiamenti climatici e non arrecare alcun danno a nessun altro obiettivo ambientale»*. I PRATI ARMATI® consentono la risoluzione di problemi geotecnici, idraulici, ambientali, mediante l'utilizzo di un'unica tecnologia, in perfetta sintonia con l'ambiente, con consumi energetici e di inquinamento trascurabili, bassi rischi di cantiere e assenza di manutenzione: LA NATURA CHE SALVA SE STESSA



Studi, tesi, ricerche, sperimentazioni compiute presso le principali università italiane e centinaia di cantieri realizzati in Italia e all'estero, hanno dimostrato che con i **PRATI ARMATI® è possibile**:

- 01 Bloccare l'erosione in qualunque condizione pedoclimatica**, anche su litotipi sterili e inquinati: ad esempio su smarino tal quale, senza necessità di terreno vegetale o altri manufatti e materiali.
- 02 Diminuire l'infiltrazione ed aumentare la traspirazione**, contribuendo a migliorare, anche in profondità, i principali parametri geomeccanici dei terreni, quali saturazione, coesione etc. mitigando anche il rischio di frana a media profondità.
- 03 Incrementare la resistenza al taglio degli strati superficiali dei terreni** iniettando una coesione aggiuntiva, dovuta all'apparato radicale.
- 04 Eliminare il terreno vegetale** che si erode e scivola a valle ed ogni altro manufatto e materiale plastico quali geocelle, geostuoie, georeti, ed anche biostuoie, mulch, matrici di fibre di legno legate, juta liquida, idrosemine rinforzate, etc..
- 05 Eliminare le tradizionali opere civili di captazione e regimazione superficiale delle acque meteoriche** (canalette, finsider, embrici, fossi di guardia, etc.) lavorando direttamente sul terreno tal quale con forti vantaggi tecnici, risparmi economici, di tempo, drastica riduzione di permanenza e rischi di cantiere, durabilità nel tempo.
- 06 Eliminare ogni manutenzione** con risparmi economici, logistici ed energetici.
- 07 Diminuire il consumo di energia**: per realizzare un impianto di PRATI ARMATI® si riducono infatti le emissioni da 10 a 100 volte rispetto alle tecniche antierosive tradizionali.
- 08 Sottrarre fino al 400% in più di CO₂**: gli impianti di PRATI ARMATI® assorbono fino al 400% in più di CO₂ rispetto a impianti antierosivi tradizionali.
- 09 Mitigare i cambiamenti climatici**: per la realizzazione di un impianto antierosivo di PRATI ARMATI® si riduce fino a 100 volte l'emissione di CO₂, CO, SO_x, NO_x, Particolato, rispetto alle soluzioni tradizionali.
- 10 Adattarsi ai cambiamenti climatici**: I PRATI ARMATI® resistono a temperature estreme comprese tra -35 < T < 60 °C e a reazioni del terreno comprese tra 3 < pH < 11 adattandosi a tutte le condizioni pedoclimatiche, riducendo oltretutto le temperature al suolo.
- 11 L'uso sostenibile e la protezione delle acque e delle risorse marine**: PRATI ARMATI srl utilizza particolari specie azotofissatrici autoctone, al posto di concimi chimici evitando l'eutrofizzazione delle acque. I PRATI ARMATI® operano anche una bioremediation in situ.
- 12 La transizione verso un'economia circolare** PRATI ARMATI srl raccoglie molte delle proprie sementi nelle varie zone di utilizzo: si tratta quindi di una tecnologia a km ZERO.
- 13 La prevenzione e la riduzione dell'inquinamento**: si riducono fino a 100 volte i costi energetici e le emissioni inquinanti durante l'installazione, si eliminano molte opere in metallo e in grigio (manufatti in cemento quali canalette ed embrici, finsider etc). Si ricorda che per produrre 1 kg di cemento si emette circa 1 kg di CO₂.
- 14 La protezione e il ripristino della biodiversità** mediante l'utilizzo di fiori e specie mellifere che favoriscono il rientro degli insetti impollinatori, ricreando così un habitat naturale.



GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale
dei Geologi - Puglia
Anno XXIII - n. 1/2026

Direttore editoriale:

Caputo Giovanni

Direttore responsabile:

Alfarano Espedito

Comitato di redazione:

Andriani Gioacchino Francesco,
Bonora Davide, Caputo Giovanni,
Cavallo Francesca, Dibenedetto Michele,
Ieva Maria Costantina, Natuzzi Giuliana,
Orlanducci Luca, Pitullo Alfredo

Comitato scientifico:

Baldassarre Giuseppe, Borri Dino,
Capolongo Domenico, Cotecchia Federica,
Del Gaudio Vincenzo, Dellino Pierfrancesco,
Di Fazio Antonio, Doglioni Angelo,
Fornelli Annamaria, Gallicchio Salvatore,
Leucci Giovanni, Limoni Pier Paolo,
Lollino Piernicola, Monterisi Luigi,
Negri Sergio, Pagliarulo Rosa,
Paglionico Antonio, Parise Mario, Pastore Nicola,
Polemio Maurizio, Ricchetti Giustino, Sabato Luisa,
Sansò Paolo, Santaloia Francesca,
Simeone Vincenzo, Specchio Vito,
Spilotro Giuseppe, Walsh Nicola

Coordinamento scientifico:

Andriani Gioacchino Francesco, Valletta Salvatore

Segreteria di redazione:

Divella Serena, Frustace Mariacarmela

Redazione, Amministrazione e Pubblicità:

Ordine dei Geologi - Puglia
Via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari
www.geologipuglia.it - info@geologipuglia.it

Stampa:

Sagraf Srl - Z.I. Capurso (BA)

Autorizzazione del Tribunale di Bari:
n. 29 del 16.06.2004

Chiuso in tipografia il 17 Aprile 2026

SOMMARIO

2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia

Giovanni Caputo

3

**INSTABILITÀ ED ARRETRAMENTO
DELLE FALESIE COSTIERE IN ROCCE TENERE:
ANALISI DEI PROCESSI E METODOLOGIE
DI STUDIO**

Piernicola Lollino

13

**RISPOSTA BAROMETRICA E RICARICA
METEORICA IN UNA FALDA "SUPERFICIALE"
(2017-2025, CAMPUS ECOTEKNE, LECCE)**

Marco Delle Rose, Luca Ciricugno, Luca Orlanducci

23

**ATTIVITÀ DELL'ORDINE
AD UN ANNO DALL'INSEDIAMENTO**



*Foto di copertina:
Sant'Andrea, Melendugno (LE).
Dal calendario Ordine dei Geologi
Puglia e SIGEA, 2021.
(Foto di Massimo Rolando)*

e

Care colleghe e cari colleghi,

ormai questi eventi eccezionali, non ci devono sorprendere più. Con gli effetti del cambiamento climatico in atto, assistiamo ad eventi sempre più intensi e frequenti.

l

La nostra professione si sta sempre evolvendo, da una figura puramente “descrittiva” (che studiava la storia delle rocce) a una figura sempre più progettuale e tecnologica, diventando centrale nella gestione del territorio, delle emergenze climatiche e della transizione energetica.

a

Pertanto il Consiglio dell’Ordine è impegnato a tracciare una strada che porti a sviluppare sempre più la nostra figura professionale e sostenere l’inserimento dei giovani nel mondo del lavoro, ciò anche in vista delle grandi opportunità che arriveranno e dovranno vederci preparati e formati a queste nuove sfide.

i

L’azione del nuovo Consiglio è altresì orientata, oggi più che mai, a richiedere di istituire presso la Regione Puglia una Sezione Geologica che, oltre a gestire dati e informazioni territoriali, segua e proponga studi su temi geologici, rischi idrogeologici e sismici, anche in collaborazione con enti di ricerca, con particolare riguardo ad aspetti che possono rappresentare un pericolo per la popolazione e le infrastrutture quali: idrogeologia, geomorfologia, sprofondamenti catastrofici (sinkhole), individuazione di faglie attive e capaci. Una specifica Sezione con geologi ed altre figure tecniche che possa curare costantemente i rapporti con il Dipartimento della Protezione Civile Nazionale per le tematiche del rischio idrogeologico e in materia di geologia a supporto delle Amministrazioni locali.

r

o

t

La visione di tali temi non può prescindere da una attenta pianificazione del territorio da parte di un Geologo Progettista in tutte le fasi a partire da quelle preventive, di manutenzione, esecuzione, monitoraggio e sino ad arrivare alla gestione dell’emergenza, chiaramente in termini di interdisciplinarietà con gli altri ordini professionali ed Enti preposti.

i

Si è voluto, quindi, proprio in questo numero della rivista, illustrare le attività svolte nei primi dodici mesi del Consiglio che rappresentano le basi per tracciare la strada del futuro della nostra bella professione.

d

Ed in questo percorso siamo pronti ad accogliere contributi, idee, suggerimenti e anche critiche aventi come obiettivo una migliore affermazione della Geologia Professionale.

E

Bari, aprile 2026

Giovanni Caputo

INSTABILITÀ ED ARRETRAMENTO DELLE FALESIE COSTIERE IN ROCCE TENERE: ANALISI DEI PROCESSI E METODOLOGIE DI STUDIO

Piernicola Lollino

Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, piernicola.lollino@uniba.it

1. INTRODUZIONE

La Puglia presenta un esteso sviluppo costiero, di cui una frazione pari circa al 20% è rappresentata da pareti rocciose subverticali, di altezza variabile tra 5 e 20 m. Tali settori di coste rocciose alte, usualmente note come falesie, possono essere affetti da processi di instabilità e fenomeni di crollo, talvolta anche frequenti, con conseguente progressivo arretramento della linea di costa. La velocità di arretramento delle falesie rocciose è in genere variabile, poiché dipende da vari fattori, quali la tipologia di roccia costituente la parete rocciosa e le relative proprietà meccaniche, l'assetto litologico, l'assetto strutturale, il grado di fratturazione, la presenza o meno di una piattaforma rocciosa al piede della falesia. Per le falesie rocciose costituite da rocce tenere e porose, la velocità di arretramento può risultare elevata, in ragione delle basse resistenze meccaniche delle stesse rocce, nonché della elevata

suscettibilità ai processi di alterazione (*weathering*) di natura ambientale, che causano degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche. Tuttavia, le aree costiere caratterizzate dalla presenza di falesie rocciose rappresentano un motivo di particolare attrazione paesaggistica e naturalistica e sono spesso interessate da fenomeni di intensa urbanizzazione, con infrastrutture e/o strutture residenziali e turistiche, che incrementano il grado di esposizione e, quindi, le condizioni di rischio correlato ai processi di crollo delle falesie.

L'instabilità delle pareti rocciose costiere è un fenomeno che interessa molti settori delle coste pugliesi, dal Gargano sino al Salento, quest'ultimo interessato da falesie più alte, lungo il settore orientale, e meno alte, lungo il settore occidentale (Fig. 1; Margiotta 2024). Focalizzando l'attenzione specificamente sulle falesie in rocce tenere e porose, queste affiorano principalmente lungo le coste delle isole Tremiti,



Figura 1 - Distribuzione delle tipologie di costa nell'area del Salento (da Margiotta 2024).

lungo il settore meridionale del Gargano, dove sono prevalentemente costituite da conglomerati di origine alluvionale, lungo la fascia a Sud di Bari, dove affiorano falesie in Calcareni di Gravina, e lungo il Salento, dove si rinvencono falesie in calcareniti mioceniche del Salento. Detti settori rappresentano, infatti, le aree regionali dove i processi di crollo ed arretramento delle coste rocciose alte sono a più rapida evoluzione.

La valutazione del grado di stabilità delle falesie costiere rappresenta un problema complesso, la cui soluzione non è agevole, visto il numero significativo di fattori in gioco e delle loro correlazioni. Ne consegue la necessità di studi approfonditi sui fattori predisponenti ed innescanti rispetto ai fenomeni di instabilità, che richiedono necessariamente approcci multi-disciplinari modulabili in funzione della scala di applicazione. In questo senso, le metodologie di analisi oggi disponibili spaziano da approcci di tipo euristico, applicabili anche a scala vasta, fino all'applicazione di modelli di simulazione numerica, a scala di versante, questi ultimi in grado di analizzare il ruolo dei diversi fattori di controllo dei processi, come per esempio la geometria e l'assetto geo-strutturale degli ammassi rocciosi, le loro caratteristiche geotecniche e le proprietà delle discontinuità degli stessi.

Il presente contributo intende offrire uno stato dell'arte sulle conoscenze oggi disponibili circa i meccanismi di rottura che coinvolgono le falesie in rocce tenere, con specifico riferimento a quelle affioranti nel settore sud-orientale del Salento, ed i fattori che influenzano gli stessi processi, ai fini di possibili valutazioni dell'evoluzione futura dei processi ed, eventualmente, di scelte consapevoli degli interventi di mitigazione, laddove possibili. Gli studi fin qui condotti in tali aree evidenziano come i meccanismi di instabilità potenziali e in atto nonché la propensione al dissesto delle diverse aree siano fortemente legati ai caratteri geologici e geo-strutturali dei siti ed alle proprietà dei materiali coinvolti. Ne deriva che per una corretta gestione e pianificazione territoriale mirata alla prevenzione della pericolosità da frana in aree costiere risulta indispensabile elaborare modelli geologici e geotecnici di riferimento in cui assumono un ruolo fondamentale le caratteristiche geomeccaniche e geostrutturali degli ammassi rocciosi, congiuntamente agli effetti dei meccanismi di degrado dei materiali.

2. I PROCESSI DI INSTABILITÀ E CROLLO DELLE FALESIE IN ROCCE TENERE: CARATTERI E FATTORI DI CONTROLLO

Le coste rocciose alte sono sistemi naturali dinamici, che possono subire evoluzioni, anche rapide, in ragione di variazioni delle condizioni al contorno o di carico (Premaillon *et al.* 2018). I fattori di controllo possono essere naturali, come ad esempio gli eventi meteorici, l'erosione progressiva al piede o l'azione del moto ondoso, o di tipo antropogenico, come i processi di urbanizzazione lungo la stessa costa. L'ambiente costiero, e quindi anche le falesie costiere, possono essere altamente vulnerabili rispetto agli eventi meteorologici estremi, come tempeste marine o eventi pluviometrici ad intensità elevata, che registrano negli ultimi anni un trend in crescita (Gariano and Guzzetti 2016). Trattandosi

di ambienti di transizione, l'evoluzione della stabilità delle falesie nel tempo dipende dalla complessa interazione tra i processi marini, quelli sub-aerei ed i processi che interessano la piattaforma terrestre (Brooks and Spencer 2010; Andriani and Pellegrini 2014; Sunamura 2015; Premiaillon *et al.* 2018; Gerivani *et al.* 2020). Tra i fattori predisponenti rispetto all'evoluzione verso i fenomeni di crollo, occorre citare l'assetto litologico delle falesie e le proprietà meccaniche delle diverse litologie costituenti questi sistemi, che nel caso delle rocce tenere spesso risultano di modesto valore e, dunque, non in grado di garantire sempre condizioni di equilibrio rispetto alle sollecitazioni agenti (Sunamura 2015). Per questo motivo, in alcuni casi, le falesie in rocce tenere possono arrivare a recedere anche con velocità dell'ordine di 1 m/anno (Budetta *et al.* 2000; Lim *et al.* 2010; Sunamura 2015). A questo, si aggiunge l'elevata suscettibilità ai processi di weathering ambientale esibita dalle stesse rocce, ad opera di agenti atmosferici e spray marino, con progressiva degradazione delle resistenze meccaniche delle rocce. I processi di degradazione delle rocce tenere porose ad opera degli agenti ambientali sono correlati ai cicli di essiccamento ed imbibizione (Ciantia *et al.* 2015) e/o di cristallizzazione da sale marino (Andriani, 2025). L'assetto strutturale presente negli ammassi rocciosi costituenti le falesie possono altresì favorire l'attivazione di meccanismi di instabilità di settori specifici di falesia o di porzioni limitate di esse (Trenhaile *et al.* 1998; Anfuso *et al.* 2013). Tra i fattori preparatori o innescanti, occorre richiamare il ruolo dominante giocato dall'azione del moto ondoso, che può sollecitare le pareti rocciose sia come processo ripetuto capace di generare rottura delle rocce per "fatica" che come singolo carico impulsivo di intensità particolarmente elevata, tale da superare i valori di resistenza meccanica degli ammassi rocciosi. Anche l'erosione al piede può progressivamente condurre il sistema verso una configurazione non equilibrata, per cui con modeste variazioni delle condizioni di carico o al contorno possono instaurarsi fenomeni di col-

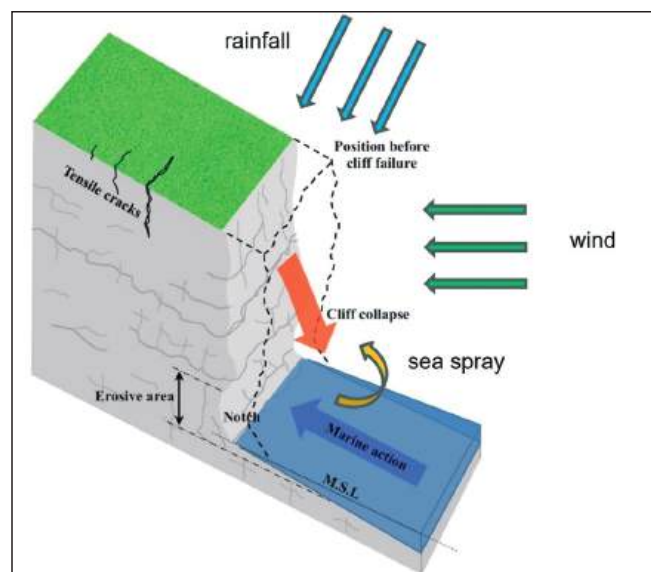


Figura 2 - Schema rappresentativo dei possibili fattori di innesco dei processi di instabilità di una falesia in roccia tenera (da Gong *et al.* 2018, modificato).

lasso generalizzati. Tra i fattori sub-aerei, invece, vanno menzionati l'erosione eolica, l'infiltrazione di acque meteoriche sia nelle rocce porose che all'interno delle discontinuità ed i processi di weathering che ne conseguono. In Figura 2 sono sintetizzati i principali fattori anzidetti, secondo lo schema proposto da Gong *et al.* (2018). Sunamura (2015) ha descritto nel dettaglio la tipica evoluzione morfologica che si osserva lungo le falesie in rocce tenere, la cui evoluzione può essere rallentata in alcuni casi dalla formazione di spiagge o accumuli di blocchi rocciosi al piede, che esercitano azione di protezione rispetto alla falesia stessa.

Un settore della Puglia caratterizzato da un'evoluzione particolarmente accentuata delle falesie in rocce tenere è rappresentato dall'area della costa del Salento sud-orientale. Qui, la pericolosità geomorfologica è rappresentata da processi di instabilità che spaziano da meccanismi di crollo

propriamente detti, molto frequenti, a ribaltamenti e scivolamenti di blocchi, meno frequenti. I meccanismi di crollo anzidetti sono schematizzabili secondo fenomeni di propagazione delle fratture verso l'alto a partire da aree in erosione al piede (Fig. 3a), collassi che si impostano lungo fratture sub-parallele rispetto al fronte delle falesie (Fig. 3b) o crolli favoriti dalla presenza di zone particolarmente deboli, quali sacche di terre rosse o inclusioni (Fig. 3c). Un esempio tipico di quest'ultimo meccanismo è mostrato in Figura 4.

In particolare, le falesie che si estendono nel tratto della costa di Melendugno compreso tra San Foca, a Nord, fino a Sant'Andrea, a Sud, sono costituite da rocce tenere afferenti alla formazione di Uggiano-La Chiesa (Pliocene medio-superiore) (Tropeano *et al.* 2004). Si tratta di livelli di calcisiltiti marnose alternati a livelli di calcareniti di granulometria fine o media, debolmente cementate. Tali rocce presentano

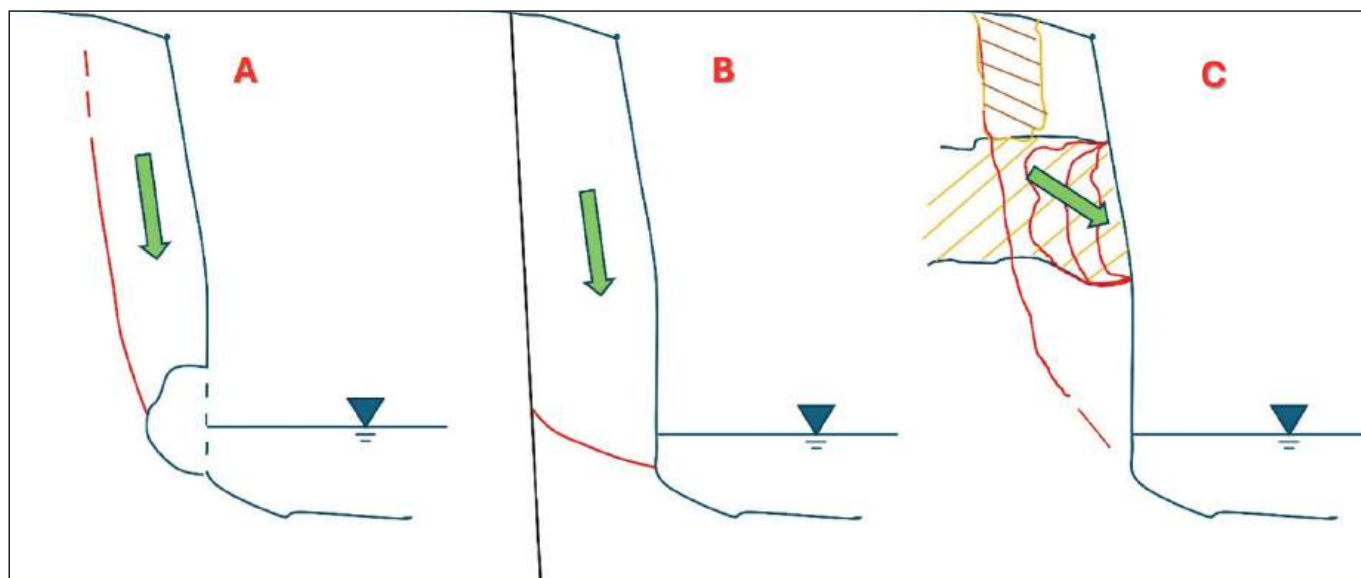


Figura 3 - Schemi di meccanismi di crollo che possono coinvolgere le falesie in rocce tenere del Salento: A) propagazione di fratture verso la sommità della falesia a partire da aree in erosione al piede; B) collassi che si impostano lungo fratture sub-parallele rispetto al fronte delle falesie; C) collassi favoriti dalla presenza di zone deboli, quali sacche di terre rosse o inclusioni.



Figura 4 - Esempio di fenomeno di collasso che ha coinvolto una zona interessata dalla presenza di terre rosse lungo la falesia.

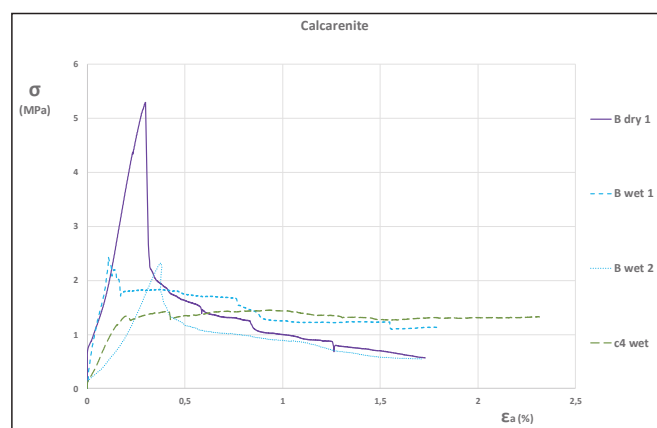


Figura 5 - Curve di sforzo-deformazione da prove di compressione monoassiale su provini di calcarenite afferente alla Formazione di Uggiano La Chiesa, in condizioni di materiale secco e dopo saturazione (da Fazio *et al.* 2019).

resistenze meccaniche significativamente basse, con valori di resistenza a compressione monoassiale per i livelli di calcarenite dell'ordine di 3-6 MPa, in condizioni di materiale secco, che si riducono a 1,5-3 MPa dopo imbibizione (Fig. 5; Fazio *et al.* 2019). Le calcisiltiti esibiscono, invece, valori di resistenza a compressione monoassiale addirittura dell'ordine di 1-1,5 MPa, con grado di saturazione nullo, e 0,3-0,6 MPa, a seguito di saturazione. Dall'osservazione di questi dati emerge, dunque, il forte impatto che hanno i processi di imbibizione

sulle resistenze meccaniche di questi materiali, come peraltro già documentato su rocce simili da Ciantia *et al.* (2015), Castellanza *et al.* (2018) e Andriani (2025). Rocce altamente porose possono esibire una significativa riduzione di resistenza nella transizione dalle condizioni di materiale secco a quelle di materiale saturo, con decrementi di resistenza anche superiori al 50 %, come osservato da vari autori in letteratura (Hashiba e Fukui 2015; Perrotti *et al.* 2020). Andriani (2025) ha invece descritto come l'acqua meteorica, lo spray marino e l'erosione eolica, le cui azioni risultano particolarmente intense nel corso delle tempeste marine, tendano a rimuovere le particelle fini dalla matrice rocciosa, contribuendo così alla degradazione e dissoluzione delle superficie esposte delle falesie. Pertanto, le basse resistenze meccaniche di questi materiali e la relativa suscettibilità rispetto ai processi di weathering e degradazione ambientale rappresentano un chiaro fattore predisponente rispetto all'attivazione di processi di rottura degli ammassi rocciosi costituenti le falesie. Anche l'assetto strutturale, con la presenza di fratture spesso ad andamento sub-verticale parallelo rispetto alla costa, può rappresentare un fattore predisponente rispetto allo sviluppo dei processi di collasso. Occorre ricordare a questo proposito anche l'azione dilavante delle acque meteoriche, che tende a modificare progressivamente le condizioni delle pareti delle stesse discontinuità, con peggioramento delle condizioni di equilibrio delle masse rocciose delimitate dalle stesse fratture.

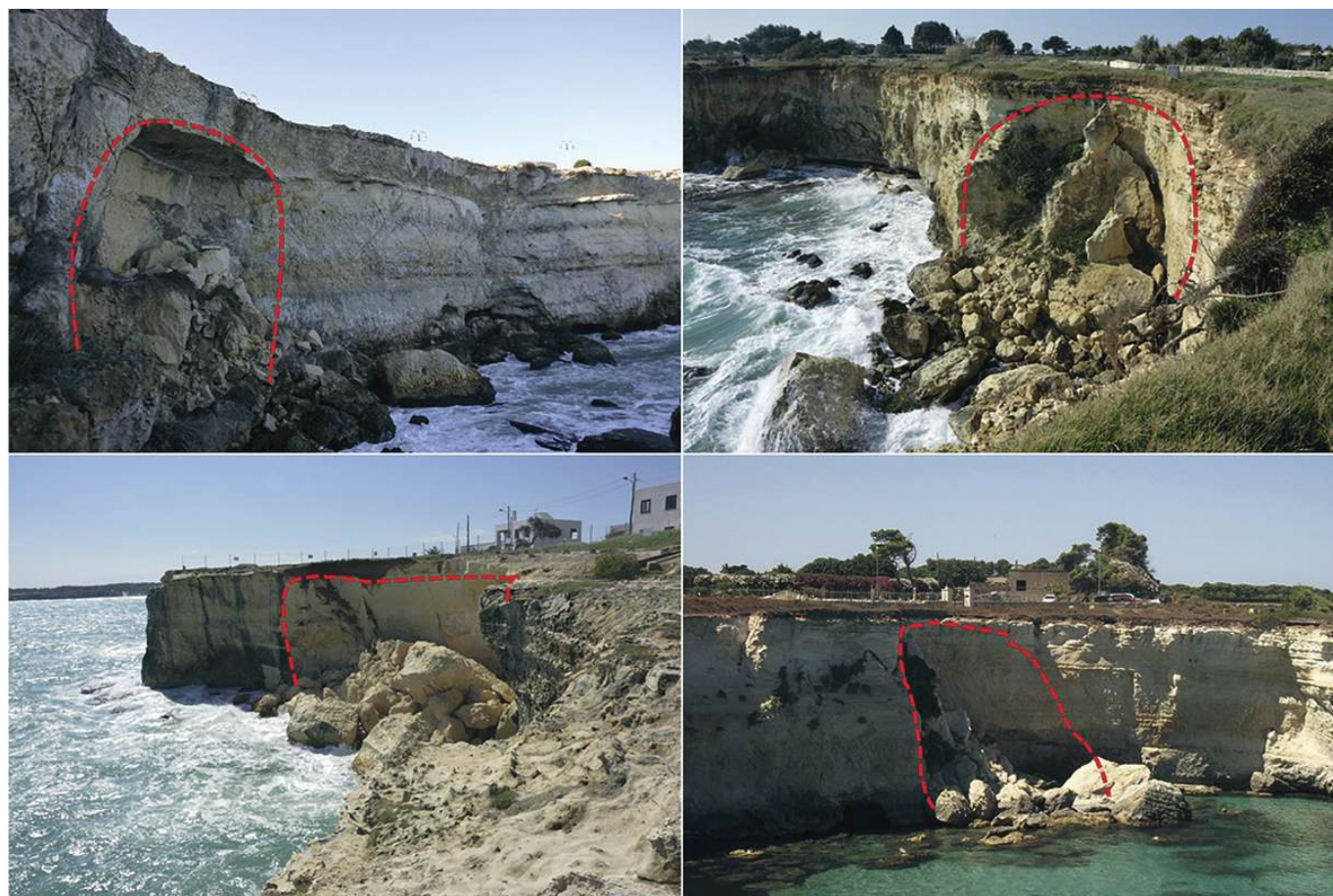


Figura 6 - Esempi di collassi di porzioni di falesie avvenuti nell'area della costa di Melendugno (da Fazio *et al.* 2019).

Il settore costiero del Salento sud-orientale è interessato dalla presenza di falesie sub-verticali, di altezza variabile tra 7 e 20 m, e, meno frequentemente, versanti ad inclinazione inferiore, piccole baie e spiagge (Sunamura 2015; Sansò *et al.* 2016). In alcune aree, le falesie si presentano interessate da erosione al piede (notch), mentre in altre le stesse falesie presentano piattaforme sub-orizzontali al piede che esercitano azione di protezione rispetto alla stessa parete rocciosa.

Sono numerosi i casi di crolli verificatisi lungo la stessa costa negli ultimi anni o decenni, secondo i tipici meccanismi descritti in Figura 3. Detti crolli generalmente si sviluppano in concomitanza di spiccati eventi meteo-marini, caratterizzati da moto ondoso di particolare intensità, con azione impulsiva esercitata alla base delle falesie, o apporto pluviometrico significativo e concentrato, che induce degradazione sulle rocce affioranti. In Figura 6 sono mostrati alcuni esempi di crolli recentemente avvenuti nell'area in esame, mentre in Figura 7 sono riportate foto pre- e post-evento dell'arco di Sant'Andrea, collassato a seguito della mareggiata verificatasi nel 14 Febbraio 2026. Detti meccanismi di collasso si verificano spesso secondo processi di natura fragile, per cui si manifestano in tempi estremamente ridotti e senza segni premonitori, così che eventuali attività di monitoraggio possono risultare complesse o di scarsa utilità.

Nell'ambito di un recente progetto di ricerca finanziato dal Ministero della Ricerca e dell'Università (Progetto INSPECTING), sono stati raccolti gli eventi che hanno determinato crolli lungo la costa del territorio comunale di Melendugno nel periodo compreso tra il 2011 ed il 2022. Gli stessi eventi sono quindi stati messi in correlazione con i valori di altezze d'onda ottenuti da simulazioni numeriche idrodinamiche, condotte nell'ambito del progetto Mediterranean Sea Waves Reanalysis (CMEMS Med-Waves, MedWAM3 system; Korres *et al.* 2021 Copernicus). Il grafico risultante, mostrato in Figura 8, attesta come tutti gli eventi in esame siano occorsi in concomitanza di altezze d'onda superiori a 4 m. A valle di necessarie validazioni, tale risultato potrebbe configurarsi come una possibile indicazione preliminare di valore di soglia delle condizioni meteo-marine per il possibile verificarsi di crolli.



Figura 7 - Foto dell'arco di Sant'Andrea prima e dopo il crollo, avvenuto il 14 febbraio 2026.

3. METODOLOGIE DI ANALISI

Le metodologie di valutazione delle condizioni di stabilità ed evoluzione delle falesie rocciose costiere possono essere raggruppabili secondo tre approcci, applicabili a scale diverse (Fig. 9). In particolare, a scala vasta, ossia a scala di un intero settore costiero, è possibile operare secondo approcci di tipo geomorfologico, basati sul confronto tra planimetrie, foto aeree e foto satellitari ad alta risoluzione riferiti a tempi diversi, che consentono di individuare i gradienti di regressione

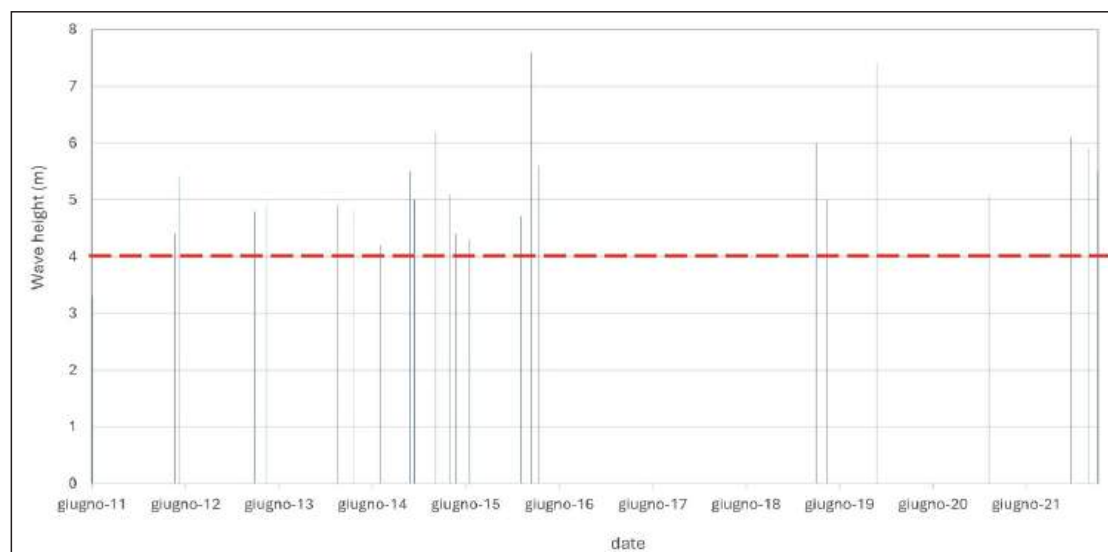


Figura 8 - Valori di altezza d'onda simulati in relazione alle date degli eventi di crollo lungo la fascia costiera di Melendugno, nel periodo tra il 2011 e il 2022.

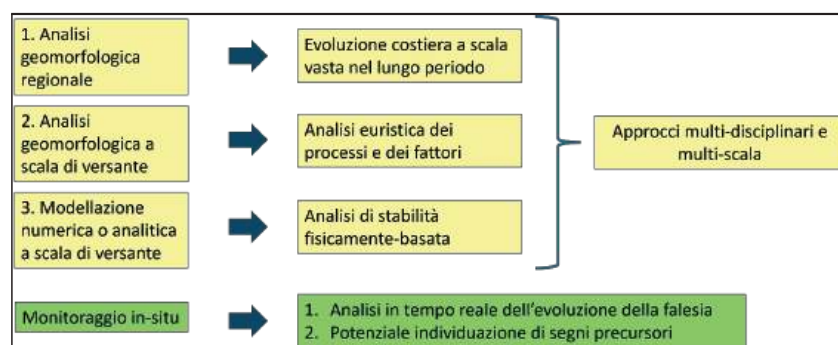
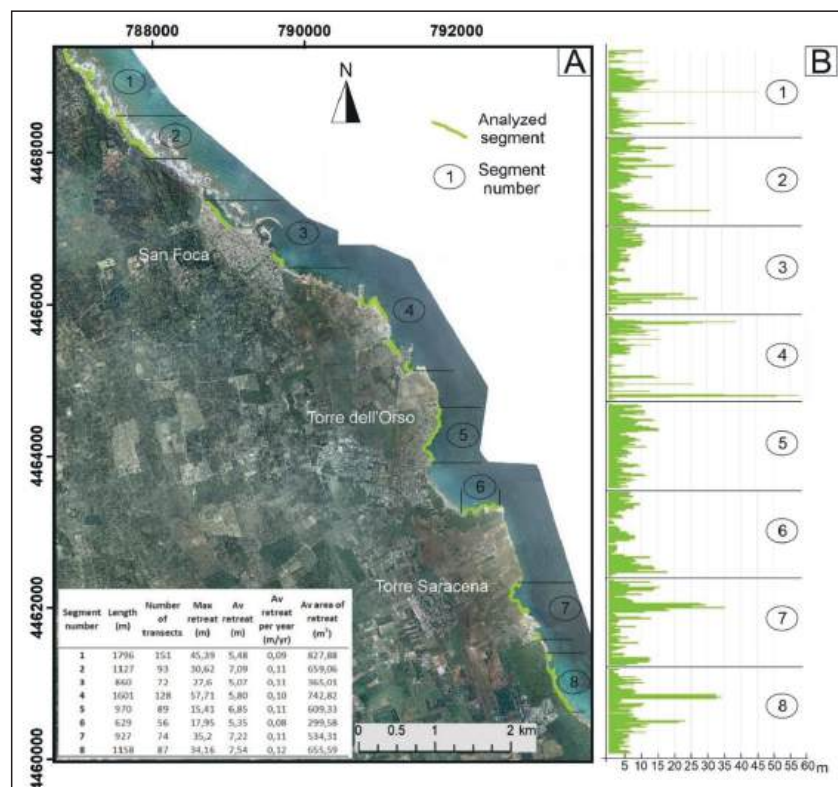
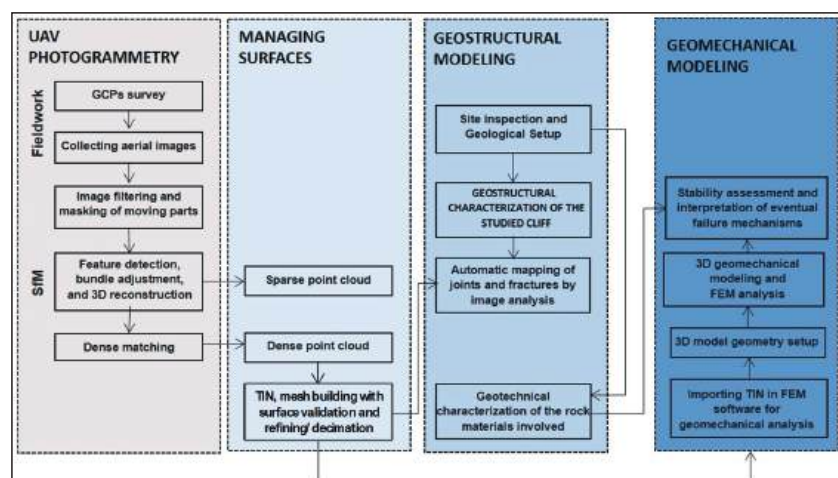


Figura 9 - Metodologie disponibili per la valutazione dell'evoluzione delle falesie costiere.

Figura 10 - Settori della fascia costiera di Melendugno analizzati (A) e valori stimati di arretramento delle falesie tra il 1954 ed il 2007 (B) (da Lollino *et al.* 2021).Figura 11 - Schema procedurale proposto per l'applicazione delle tecniche di analisi numerica allo studio di settori di falesia (da Fazio *et al.* 2019).

delle diverse aree costiere ed, in particolare, le aree maggiormente soggette ad arretramento (Costa *et al.* 2004; Dornbusch *et al.* 2008; Sunamura 2015; Lollino *et al.* 2021). Analisi di questo tipo possono essere integrate da correlazioni delle stesse velocità di arretramento con fattori di tipo morfologico, litologico, strutturale, di esposizione della costa, in grado di fornire indicazioni sulle cause dei diversi gradienti di arretramento. Questa tipologia di studio consente, d'altra parte, a valle di delicate operazioni di validazione dei trend osservati, di poter eventualmente avanzare ipotesi circa possibili evoluzioni future di evoluzione, qualora le condizioni al contorno del sistema dovessero permanere invariate. A scala di singolo versante, invece, è possibile condurre analisi di tipo geomorfologico, di natura qualitativa ed euristica, che consentono l'individuazione dei processi che conducono alla generazione dei fenomeni di instabilità delle falesie (Andriani & Pellegrini 2014; Sansò *et al.* 2016). Alla stessa scala, è altresì possibile sviluppare modelli numerici fisicamente basati, in grado di simulare il comportamento tenso-deformativo delle falesie fino al raggiungimento della rottura degli ammassi rocciosi e, quindi, di individuarne i fattori di controllo su base quantitativa (Calista *et al.* 2019; Fazio *et al.* 2019; Perrotti *et al.* 2020).

A titolo di esempio della prima metodologia, di seguito si cita lo studio geomorfologico multi-temporale condotto da Lollino e co-autori nel 2021 sull'evoluzione delle falesie rocciose della costa di Melendugno, tra il 1945 ed il 2007, condotto mediante confronto tra foto aeree di tempi diversi con l'ausilio della tecnica DSAS (Digital Shoreline Analysis System; United States Geological Survey). L'analisi specifica ha permesso di identificare le aree maggiormente soggette a regressione nell'intervallo temporale anzidetto, con arretramenti in alcuni settori anche superiori a 20 m (Fig. 10). L'analisi multi-temporale condotta ha consentito di individuare informazioni su fenomeni di regressione occorsi in frazioni più limitate dello stesso periodo di analisi. Gli stessi autori pongono i diversi tassi di arretramento osservati in relazione con alcuni specifici fattori di controllo ritenuti particolarmente influenti sul processo, come ad esempio l'assetto litologico delle falesie e la presenza eventuale di livelli più teneri di roccia, la presenza o meno di una piattaforma di abrasione al piede delle falesie, l'esposizione della costa rispetto alle direttrici più frequenti delle principali tempeste mari-

ne nell'area in esame.

Una simile analisi può, dunque, fungere come base di riferimento per lo sviluppo di analisi di dettaglio a scala di versante, di tipo geomorfologico o di tipo analitico e/o numerico, orientate ad individuare le cause dei processi di evoluzione registrati, secondo un approccio multi-scala.

Con riferimento all'approccio numerico tenso-deformativo (Approccio 3 in Fig. 9), Fazio *et al.* (2019) hanno presentato uno schema di lavoro della procedura metodologica da adottarsi per l'impostazione di studi specifici quantitativi di falesie a scala di versante (Fig. 11). Lo schema prende avvio dall'implementazione della morfologia di dettaglio della falesia mediante un modello digitale del terreno (DTM), da acquisirsi mediante rilievo laserscanner o tecnica fotogrammetrica, eventualmente con l'ausilio di UAV laddove la falesia risulti difficilmente osservabile da terra o via mare. Quindi, il modello DTM viene importato in ambiente di calcolo numerico tridimensionale per la generazione del dominio di simulazione 3-D. Dette simulazioni possono essere condotte con tecnica agli elementi finiti, qualora l'ammasso roccioso presenti condizioni massive o sia caratterizzato da un numero limitato di discontinuità, o con tecnica agli elementi discreti, nel caso in cui l'ammasso presenti un grado di fratturazione spiccato. Quindi, la procedura di calcolo richiede la creazione di una maglia di discretizzazione, la scelta di un modello costitutivo per le litologie presenti, ed eventualmente per le discontinuità che caratterizzano l'ammasso, e delle proprietà geomeccaniche corrispondenti, nonché l'assegnazione di condizioni al contorno e di stato tensionale iniziale rappresentative del problema specifico. I risultati di un modello numerico così impostato possono essere utili ad inquadrare l'evoluzione dello stato tensionale e deformativo della falesia in funzione dei fattori di controllo implementati e ad individuare, in tal modo, la suscettibilità al collasso del sistema indagato.

Fazio e co-autori (2019) hanno altresì presentato un caso di studio rappresentato da un tratto della falesia di Sant'Andrea, in località Melendugno, le cui condizioni di stabilità sono state indagate sulla base dello schema metodologico prima descritto. Gli autori impostano il modello agli elementi finiti tridimensionale a partire da un rilievo digitale da drone della falesia ed implementano nello stesso dominio di calcolo le principali discontinuità rilevate nell'ammasso. I risultati numerici indicano come probabile meccanismo di evoluzione il collasso della porzione di falesia delimitata dal-

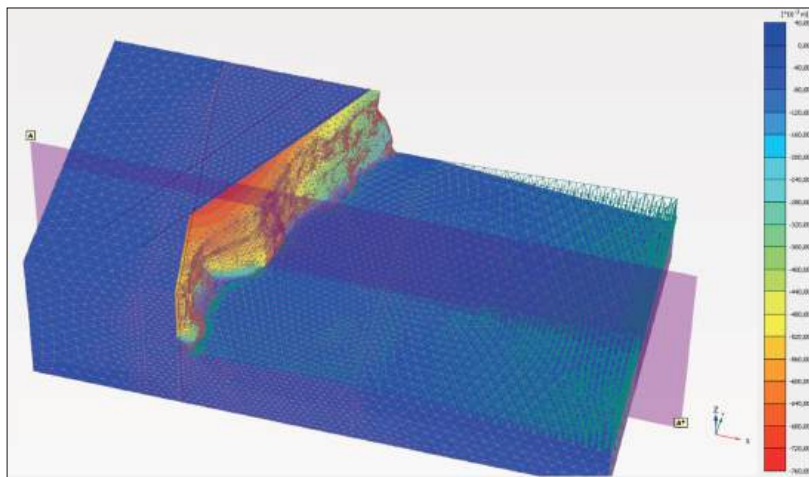


Figura 12 - Isolinee di spostamento indicative di un'evoluzione verso il collasso di un tratto della falesia di Sant'Andrea, Melendugno (da Fazio *et al.* 2019).

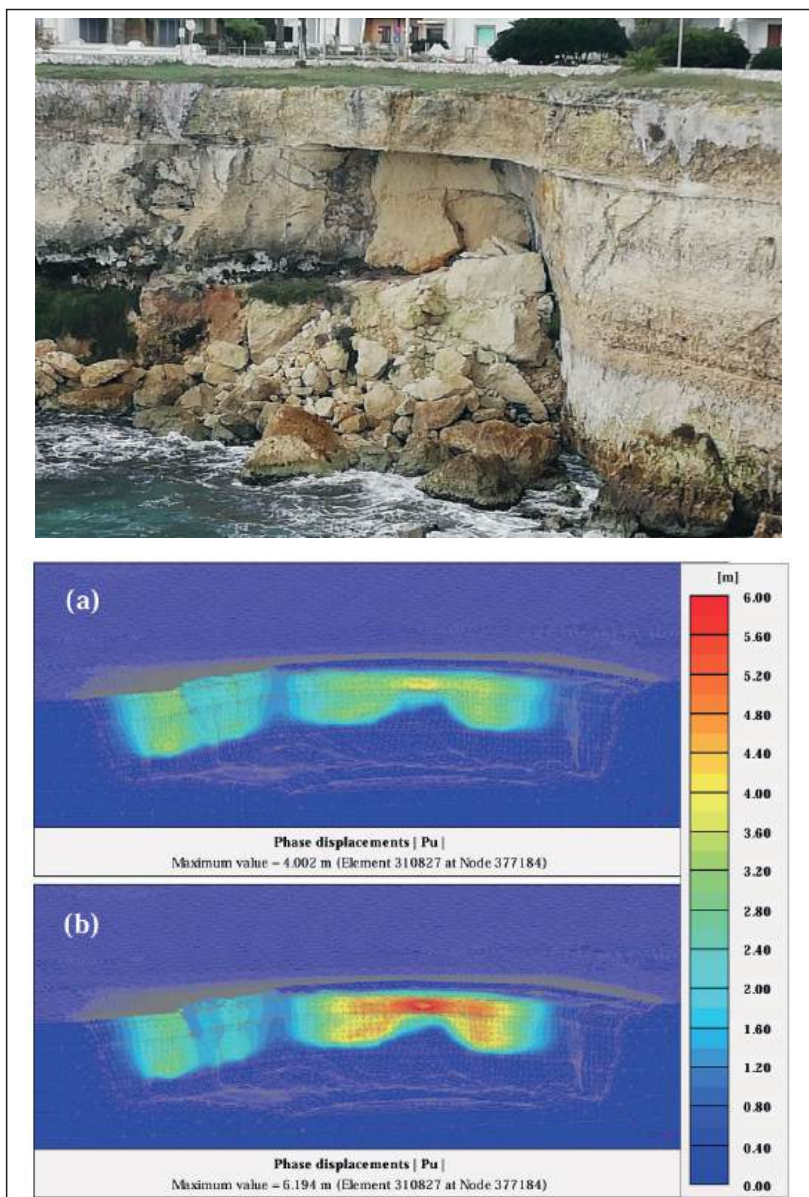


Figura 13 - Scenari di possibile evoluzione della stabilità della falesia, in termini di isolinee degli spostamenti, da analisi numerica agli elementi finiti (da Perrotti *et al.* 2020).

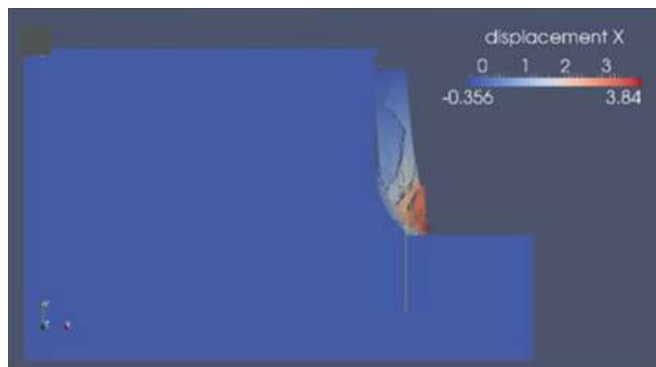


Figura 14 - Risultati da analisi numerica con tecnica FEM-DEM relativi all'evoluzione delle condizioni di stabilità di una falesia ideale con giunti verticali (da Lollino *et al.* 2018).

la frattura sub-verticale più prossima alla falesia stessa (Fig. 12). Le analisi numeriche suggeriscono, in questo caso, un meccanismo di rottura che si genera al piede della falesia e si propaga verso monte, fino ad intercettare la discontinuità verticale, lungo la quale si completa il processo di distacco ed instabilità. Detti risultati confermano il ruolo dominante che rivestono le discontinuità eventualmente presenti a ridosso delle falesie nel favorire lo sviluppo degli stessi meccanismi di collasso.

Un altro esempio di applicazione dei metodi numerici allo studio del comportamento delle falesie costiere è proposto da Perrotti e co-autori (Fig. 13, 2020). In questo caso, il tratto di falesia indagato è caratterizzato dalla presenza di uno strato di calcarenite più tenace sulla sommità ed uno strato più tenero ed erodibile nella parte medio-bassa della stessa falesia, con una chiara situazione di aggetto dello strato superiore rispetto alla parte erosa alla base. I risultati dello studio numerico indicano, in questo caso, come un'erosione più accentuata della parte di falesia medio-bassa o una degradazione delle resistenze meccaniche dello strato superiore possa mettere in crisi la stabilità della parte sospesa, conducendo al crollo della stessa.

Tecniche numeriche più recenti, come ad esempio le tecniche ibride FEM-DEM, che uniscono caratteristiche tipiche del metodo degli elementi finiti con quelle del metodo degli elementi distinti, consentono di indagare il ruolo della risposta fragile delle rocce, che spesso accelera l'evoluzione verso il collasso di questi sistemi, e sono capaci di simulare meccani-

smi di apertura a trazione o propagazione per taglio di fratture in un mezzo roccioso continuo. Dette tecniche soffrono, tuttavia, di una forte dipendenza dei risultati dalla maglia di discretizzazione adottata, per cui richiedono importanti valutazioni preliminari sull'influenza che la dimensione della mesh può avere sugli stessi risultati. La Figura 14 mostra il risultato di un'applicazione della tecnica FEM-DEM allo studio di una falesia ideale in calcarenite, con parete verticale di altezza pari a 25 m, caratterizzata dalla presenza di una famiglia di fratture verticali, persistenti e con spaziatura pari a 5 m (Lollino *et al.* 2018). Il risultato dell'analisi mostra la propagazione di un meccanismo di rottura della falesia, che si origina al piede e si propaga verso monte, seguendo la stessa frattura verticale, dando luogo così ai tipici distacchi e scivolamenti di volumi colonnari osservati nelle are in esame.

Analisi agli elementi distinti (metodo DEM) possono essere anche utilizzate per analizzare l'evoluzione tensionale e deformativa di falesie interessate da diverse famiglie di discontinuità e, dunque, con elevato grado di fratturazione. Nello specifico, Lollino & Pagliarulo (2008) hanno mostrato un modello agli elementi distinti della falesia a Nord dell'isola di San Nicola a Tremiti (FG), interessata da più di una famiglia di discontinuità, per la quale sono stati verificati gli effetti di una progressiva degradazione della resistenza al taglio disponibile lungo le stesse fratture come conseguenza di agenti ambientali.

Proprio in ragione dell'evoluzione di tipo fragile dei processi in esame, non esistono al momento tecniche collaudate per condurre attività di monitoraggio in tempo reale delle falesie con finalità di allertamento (*early-warning*). Detti processi, infatti, spesso non manifestano chiari segni precursori di rottura incipiente ed evolvono con rapidità tale da rendere complesse eventuali previsioni con l'ausilio di sensoristica in sito. Tuttavia, in simili contesti possono risultare molto utili attività di monitoraggio pre- e post-evento mediante confronti di immagini digitali, acquisiti da base fissa o aerea, con l'obiettivo di dedurre le variazioni delle superfici osservate e, dunque, stimare i volumi di roccia eventualmente coinvolti in eventi di crollo. A titolo sperimentale, Guenzi *et al.* (2022) hanno condotto un'attività di monitoraggio di un settore della falesia in calcarenite a nord di Torre dell'Orso mediante fotocamere a base fissa, con acquisizione caratterizzata da intervalli di tempo dell'ordine di poche ore. In Figura 15 è ri-



Figura 15 - Esempio di monitoraggio in continuo di un tratto di falesia mediante fotocamera a base fissa. (da Guenzi *et al.* 2022).

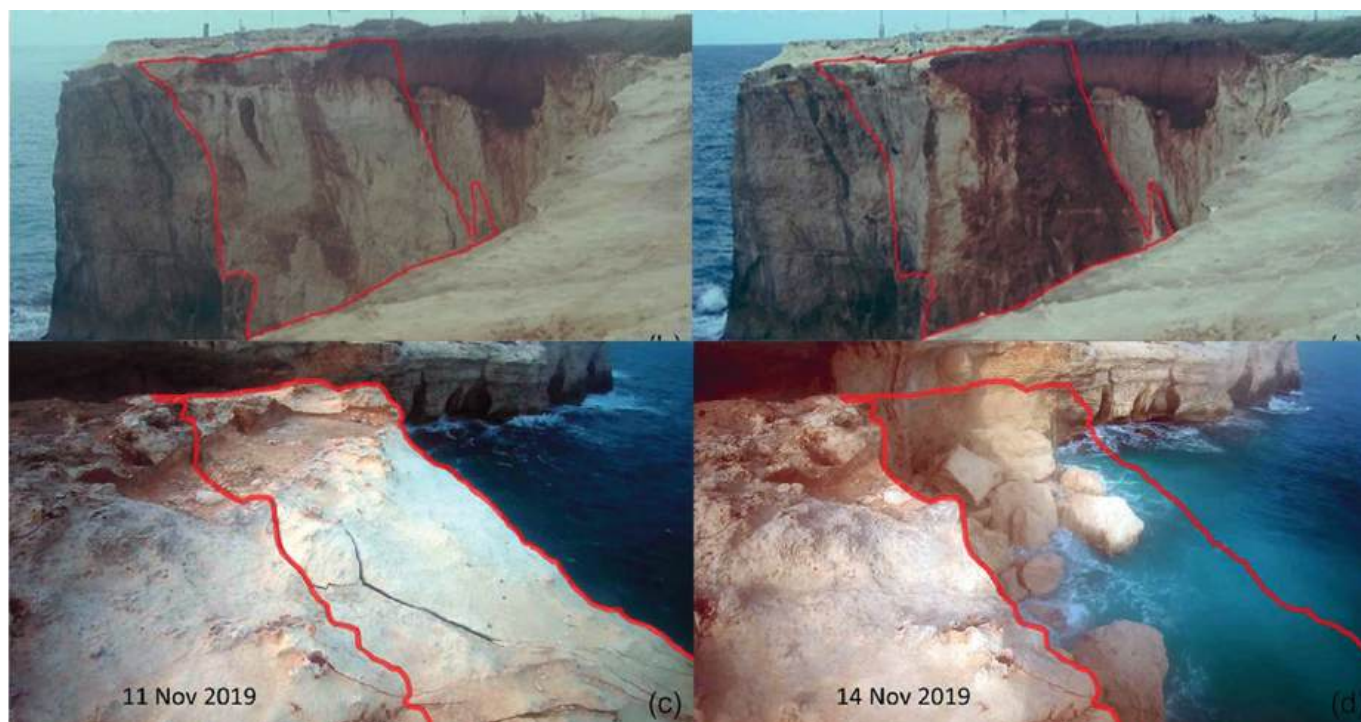


Figura 16 - Individuazione di crolli di porzione di falesia mediante monitoraggio con fotocamera a base fissa (da Guenzi *et al.* 2022).

portata una vista dell'alto dell'area monitorata e la posizione delle due fotocamere con i rispettivi campi di visualizzazione. La Figura 16 mostra alcuni risultati dell'attività di monitoraggio, che ha permesso di ricostruire le geometrie ed i volumi dei settori di falesia interessati da crolli, occorsi nel novembre 2019 a seguito di un intenso evento meteo-marino.

4. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'articolo ha presentato uno stato dell'arte sulle conoscenze sviluppate negli ultimi anni in merito allo sviluppo dei processi che conducono all'innesco dei collassi e dei crolli delle falesie costiere in rocce tenere. Sono stati illustrati i tipici meccanismi di sviluppo della rottura agenti nei sistemi in esame e sono stati descritti i principali fattori di controllo dei processi, principalmente identificati negli assetti litologici, morfologici, nelle caratteristiche geomeccaniche, riconosciuti come fattori predisponenti, e negli agenti meteo-marini operanti sulle falesie, questi ultimi identificati come fattori innescanti dei collassi.

Lo studio ha mostrato altresì le metodologie di analisi oggi disponibili, a diversa scala di indagine, che spaziano dagli approcci geomorfologici a scala estesa alle simulazioni numeriche a scala di versante. A tal fine, sono stati proposti alcuni esempi delle diverse metodologie ed i risultati maggiormente significativi prodotti dagli stessi studi.

RINGRAZIAMENTI

I risultati di questo lavoro sono stati prodotti nell'ambito di un Progetto di Ricerca di Interesse Nazionale (PRIN PNRR 2022), dal titolo "INSPECTING, Instability processes of coastal rocky cliffs and associated retreat trends in relation to the evolution of extreme meteo-marine events: an advanced methodological approach" - Codice: P202227R77.

5. RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- ANDRIANI G.F. (2025) - *Recent advances in petrophysical properties, mechanical behaviour and durability of calcarenite rocks*. Journal of Mining Institute, 276(2), 123-139.
- ANDRIANI G.F., PELLEGRINI V. (2014) - *Qualitative assessment of the cliff instability susceptibility at a given scale with a new multidirectional method*. Evolution 1, 7.
- ANFUSO G., GRACIA F.J., BATTOCLETTI G. (2013) - *Determination of cliffed coastline sensitivity and associated risk for human structures: a methodological approach*. J Coast Res. 29(6): 1292-1296.
- BROOKS S.M., SPENCER T. (2010) - *Temporal and spatial variations in recession rates and sediment release from soft rock cliffs, Suffolk coast, UK*. Geomorphology. 124(1-2):26-41.
- BUDETTA P., GALIETTA G., SANTO A. (2000) - *A methodology for the study of relation between coastal cliff erosion and the mechanical strength of soils and rock masses*. Eng Geol. 56(3-4): 243-256.
- CALISTA M., MASCIOLI F., MENNA V., MICCADEI E., PIA-CENTINI T. (2019) - *Recent geomorphological evolution and 3D numerical modelling of soft clastic rock cliffs in the Mid-Western Adriatic sea (Abruzzo, Italy)*. Geosciences. 9(7):309.
- CASTELLANZA R., LOLLINO P., CIANTIA M.O. (2018) - *A methodological approach to assess the hazard of underground cavities subjected to environmental weathering*. Tunnell Underground Space Technol. 82: 278-292.
- CIANTIA M.O., CASTELLANZA R., DI PRISCO C. (2015). *Experimental study on the water-induced weakening of calcarenites*. Rock Mech Rock Eng. 48(2):441-461.
- COSTA S., DELAHAYE D., FREIRE-DIAZ S., DI NOCERA L., DAVIDSON R., PLESSIS E. (2004) - *Quantification of the Normandy and Picardy chalk cliff retreat by photogrammetric analysis*. Geol Soc London Eng Geol Special Publ. 20(1):139-148.

- DORNBUSCH U., ROBINSON D.A., MOSES C.A., WILLIAMS R.B.G. (2008) - *Temporal and spatial variations of chalk cliff retreat in East Sussex, 1873 to 2001*. Marine Geology, 249(3-4):271–282.
- FAZIO N.L., PERROTTI M., ANDRIANI G.F., MANCINI F., ROSSI P., CASTAGNETTI C., LOLLINO P. (2019) - *A new methodological approach to assess the stability of discontinuous rocky cliffs using in-situ survey supported by UAV-based techniques and 3-D finite element model: a case study*. Eng Geol. 260:105205.
- GARIANO S.L., GUZZETTI F. (2016) - Landslides in a changing climate. Earth Sci Rev. 162:227–252.
- GERIVANI H., STEPHENSON W., AFARIN M., STEPHENSON W. (2020) - *Sea cliff instability hazard assessment for coastal management*, 1–17.
- GONG B., WANG S., SLOAN S.W., SHENG D., TANG C. (2018) - *Modelling coastal cliff recession based on the GIM-DDD method*. Rock Mech Rock Eng. 51(4):1077–1095.
- GUENZI D., GODONE D., ALLASIA P., FAZIO N.L., PERROTTI M., LOLLINO P. (2022) - *Brief communication: Monitoring a soft-rock coastal cliff using webcams and strain sensors*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 22, 207–212, <https://doi.org/10.5194/nhess-22-207-2022>, 2022.
- HASHIBA K., FUKUI K. (2015) - *Effect of water on the deformation and failure of rock in uniaxial tension*. Rock Mech Rock Eng. 48(5):1751–1761.
- KORRES G., RAVDAS M., ZACHARIOUDAKI A., DENAXA D., SOTIROPOULOS M. (2021) - *Mediterranean Sea Waves Reanalysis (CMEMS Med-Waves, MedWAM3 system, v1)*. Copernicus Monitoring Environment Marine Service (CMEMS).
- LIM M., ROSSER N.J., ALLISON R.J., DAVID N., PETLEY D.N. (2010) - *Erosional processes in the hard rock coastal cliffs at Staithes, North Yorkshire*. Geomorphology. 114(1-2):12–21.
- LOLLINO P., PAGLIARULO R. (2008) - *The interplay of erosion, instability processes and cultural heritage at S. Nicola island (Tremi archipelago, Southern Italy)*. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria, 31, n. 2.
- LOLLINO P., PESOLA M.D., FAZIO N.L., PERROTTI M., ANDRIANI G.F. (2018) - *Influence of brittleness of soft calcarenites in cliff stability problems: insights from FEM-DEM modelling*. In: Lawrence JA, Preece M, Lawrence UL, Buckley R, editors. Engineering in chalk. ICE Publishing, London (UK); p. 331–337.
- LOLLINO P., PAGLIARULO R., TRIZZINO R., SANTALOAIA F., PISANO L., ZUMPARO V., PERROTTI M., FAZIO N.L. (2021) - *Multi-scale approach to analyse the evolution of soft rock coastal cliffs and role of controlling factors: a case study in south-eastern Italy*. Geomatics, Natural Hazards and Risk. DOI: 10.1080/19475705.2021.1910351.
- MARGIOTTA S. (2024). *Gli ambienti costieri sabbiosi nel Salento: dalle bonifiche al boom edilizio sino al disagio socio-ambientale. Studiare, monitorare e pianificare per aumentare la resilienza all'erosione costiera*. Geologi e Territorio, 1, 3-10.
- PERROTTI M., GODONE D., ALLASIA P., BALDO M., FAZIO N.L., LOLLINO P. (2020) - *Investigating the susceptibility to failure of a rock cliff by integrating structure-from-motion analysis and 3D geomechanical modelling*. Remote Sens. 12(23): 3994.
- PREMAILLON M., REGARD V., DEWEZ T.J.B., AUDA Y. (2018) - *GlobR2C2 (Global Recession Rates of Coastal Cliffs): a global relational database to investigate coastal rocky cliff erosion rate variations*. Earth Surf Dynam. 6(3):651–668.
- SANSÒ P., GIANFREDA F., LEUCCI G., MASTRONUZZI G. (2016) - *Cliff evolution and late Holocene relative sea level change along the Otranto coast (Salento peninsula, southern Apulia, Italy)*. GeoResJ. 9-12:42–53.
- SUNAMURA T. (2015) - *Rocky coast processes: with special reference to the recession of soft rock cliffs*. Proc Jpn Acad Ser B Phys Biol Sci. 91(9):481–500.
- TRENHAILE A.S., PEPPER D.A., TRENHAILE R.W., DALIMONTE M. (1998) - *Stacks and notches at Hopewell rocks, New Brunswick, Canada*. Earth Surf Process Landforms. 23(11):975–988.
- TROPEANO M., SPALLUTO L., MORETTI M., PIERI P., SABATO L. (2004) - *Depositi carbonatici pleistocenici di tipo foramol in sistemi di scarpata (Salento– Italia Meridionale)*. Il Quaternario. 17: 537–546.

RISPOSTA BAROMETRICA E RICARICA METEORICA IN UNA FALDA “SUPERFICIALE” (2017-2025, CAMPUS ECOTEKNE, LECCE)

Marco Delle Rose¹, Luca Ciricugno¹, Luca Orlanducci²

¹Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Lecce - marco.dellerose@cnr.it

²Libero Professionista, Lecce - Iscritto ORG Puglia, n. 544

RIASSUNTO

Da giugno 2017 i livelli idrici dei pozzi scavati nella falda “superficiale” del Campus Ecotekne dell'Università del Salento, contenuta nell'acquifero miocenico, sono monitorati mediante freatimetro portatile. I dati idrometrici sono direttamente rapportabili con i dati registrati dalla stazione micrometeorologica “base ISAC” del CNR. Nel breve e nel medio termine è stato riscontrato un forte controllo delle fluttuazioni barometriche sui livelli idrici. Le variazioni dei livelli di recessione sono correlate con quelle delle precipitazioni annuali e mostrano la dipendenza della ricarica meteorica dal cambiamento climatico.

1. INTRODUZIONE

Negli ultimi decenni la precipitazione annuale sulla penisola salentina è tendenzialmente diminuita mentre la temperatura media ha mostrato significativi aumenti, specialmente nei periodi estivi (D'Oria *et al.*, 2018). L'aumento della temperatura minima è stato circa due volte quello della tendenza globale, mentre il parametro agrometeorologico “evapotraspirazione di riferimento” è aumentato di 15-20 mm per decennio secondo alcune stime (Elferchichi *et al.*, 2017). Se si considera anche che, almeno dagli anni '80, periodi di siccità di 50 giorni consecutivi sono frequenti nei mesi estivi (Zito *et al.*, 1989), si può intuire il livello di stress idrico a cui sono sottoposte le risorse locali.

In varie regioni del pianeta sono in funzione siti di misura per l'acquisizione sistematica di serie di dati utili al calcolo della ripartizione delle precipitazioni atmosferiche tra umidità del suolo, evapotraspirazione, deflusso superficiale e ricarica degli acquiferi (Zabala *et al.*, 2020; Nordio e Fagherazzi 2022; Taufik *et al.*, 2022). Tali siti sono allestiti anche in aree carsiche i cui bilanci idrogeologici sono ritenuti particolarmente sensibili agli effetti del cambiamento climatico (Ries *et al.*, 2015; Berthelin *et al.*, 2020). Da giugno 2017, l'Istituto di Scienze dell'Atmosfera e del Clima (ISAC) del CNR esegue il monitoraggio idrometrico di una falda contenuta nell'acquifero miocenico del Salento centro-orientale (AMSCO). Le misure sono effettuate con freatimetro portatile in due antichi pozzi di diametro superiore al metro (denominati Fiorini e Benessere, Tab. 1), ubicati nel complesso universitario Ecotekne (Martano *et al.*, 2020). All'interno del

campus, a poche centinaia di metri dai pozzi, è in funzione dal 2002 una stazione micrometeorologica (Martano *et al.*, 2013; 2015), di seguito denominata “base ISAC” (40° 19' 59,79" N, 18° 07' 00,70" E). L'insieme base-pozzi costituisce un sito di misura in cui le forzanti meteorologiche sono direttamente rapportabili ai dati idrometrici rilevati nei pozzi (Delle Rose e Martano, 2023).

I livelli idrici nei pozzi variano in risposta a vari processi e su diverse scale temporali (Healy e Cook, 2002; Favreau *et al.*, 2009; Lorenzo-Lacruz *et al.*, 2017). Fluttuazioni a breve termine si verificano principalmente a causa di precipitazioni, forze mareali, sollecitazioni telluriche, variazioni della pressione barometrica, emungimenti, ricariche naturali e artificiali. Fluttuazioni a medio termine sono riconducibili, in genere, alla stagionalità dell'evapotraspirazione, all'infiltrazione nella zona vadosa o ad irrigazione estensiva. Infine, fluttuazioni a lungo termine sono attribuibili alla variabilità meteorologica, ai cambiamenti climatici e ad attività umane su vasta scala quali emungimenti diffusi e modifiche nell'uso del suolo.

Con l'obiettivo di apportare conoscenze sulla rinnovabilità delle risorse idriche sotterranee, in questo studio si presentano dati idrometrici, barometrici e pluviometrici acquisiti nel Campus Ecotekne dal 2017 al 2025. Si analizzano dapprima le fluttuazioni idrometriche dei pozzi, al fine di definirne le cause. Si considerano quindi le fasi di recessione del corpo idrico considerato e le correlazioni con la variabilità pluviometrica interannuale, ritenuta indicativa del cambiamento climatico.

2. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

La struttura idrogeologica della penisola salentina è costituita da un acquifero cretaceo di base (AC), in equilibrio idrodinamico con le acque marine di intrusione continentale, e da vari acquiferi locali sovente definiti “superficiali” (Cotecchia, 2014, *cum* bibliografia). Essa è determinata dall'assetto tettono-stratigrafico, dalle caratteristiche altimetriche e dal regime pluviometrico. Il Campus Ecotekne è ubicato nel Graben di Novoli (Fig. 1), unità tettono-stratigrafica originata durante il Miocene dalla flessione elastica della Placca Apula conseguente alla migrazione convergente della Catena Appenninica e della Catena Dinarica (Ambrosetti *et al.*,

	Coordinate	Quote	Altezze	Diametro
Pozzo Fiorini	40° 20' 11,92" N, 18° 06' 43,08" E	22,09 m s.l.m.	0,9 m	1,4 m
Pozzo Benessere	40° 20' 03,51" N, 18° 06' 55,11" E	23,05 m s.l.m.	1 m	1,1 m

Tabella 1 - Coordinate geografiche, quote dei piani di calpestio (da rilievi GPS), altezze dei boccapozzi in muratura dai piani di calpestio, diametro medio stimato dei pozzi.

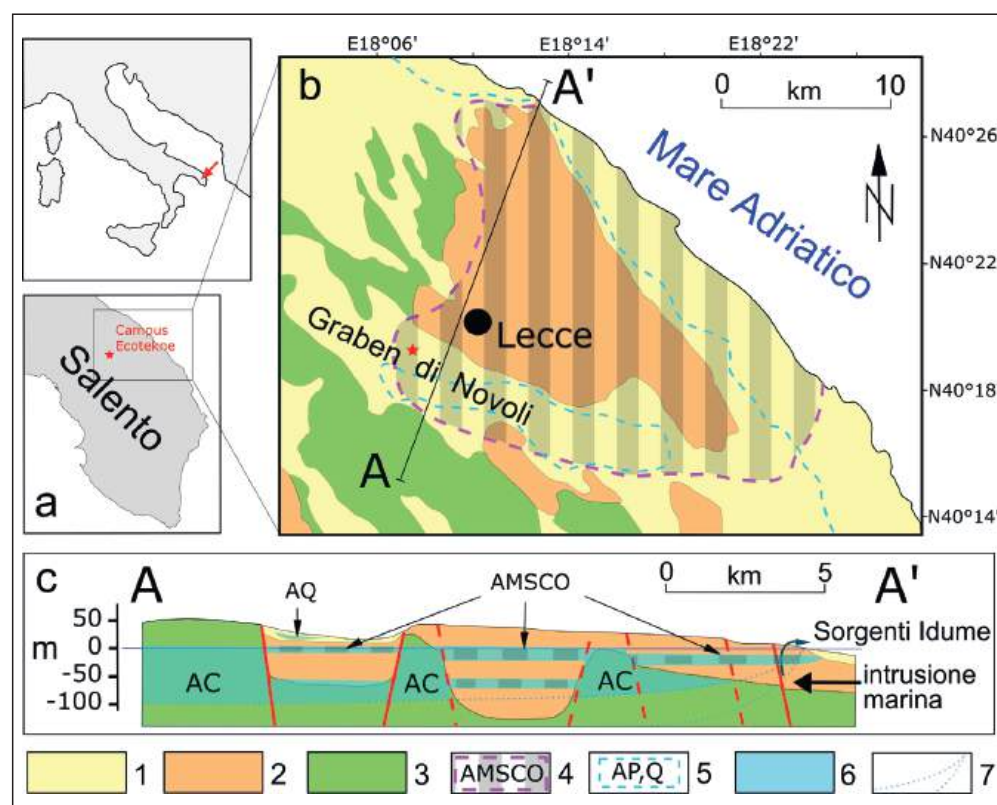


Figura 1 - Inquadramento idrogeologico. (a) Ubicazione del Campus Ecotekne; (b) Carta geologica e limiti degli acquiferi "superficiali"; (c) Sezione idrogeologica schematica lungo il transetto AA'. Legenda: 1. unità plio-ceniche e quaternarie; 2. unità mioceniche e oligoceniche; 3. unità cretacee; 4. limite dell'acquifero miocenico del Salento centro-orientale (AMSCO); 5. limite degli acquiferi pliocenici e quaternari (AP, Q); 6. acque di falda; 7. limite della zona di transizione teorica con le acque dolci dell'acquifero cretaceo (AC) e l'acqua di intrusione marina (da Martano *et al.*, 2025, modificato).

1987; Ricchetti *et al.*, 1992; D'Alessandro *et al.*, 2004).

L'AMSCO presenta proprietà idrogeologiche eterogenee, a causa delle peculiari caratteristiche litostatiche e strutturali delle formazioni (Pietra Leccese e Calcareni di Andrano) che ne costituiscono la roccia serbatoio (Tadolini *et al.*, 1985; SOGESID, 2009). Esso contiene falde freatiche e semi-confinare (Calò *et al.*, 1992). Il sito di misura è posto nella zona sud-occidentale dell'acquifero (Fig. 1). Qui la Pietra Leccese è sormontata dalla Calcareni di Gravina, a sua volta sottoposta alle Sabbie a Brachiopodi e ai Depositi Marini Terrazzati (Auct.). I relativi contatti stratigrafici sono sub-orizzontali. Dall'osservazione diretta delle pareti del pozzo Fiorini (mediante progressione su corda con tecnica speleologica), la profondità del contatto tra Pietra Leccese e Calcareni di Gravina è risultata di -10,6 m rispetto al piano campagna di quota 22,1 m s.l.m., quest'ultima determinata mediante rilievo GPS. La zona vadosa di AMSCO è formata superiormente dalla Calcareni di Gravina e inferiormente dalla Pietra Leccese; la zona saturata dalla stessa formazione miocenica. Ad ovest del sito di misura, le acque dell'acquifero miocenico si riversano nell'acquifero di base. Questo processo avviene attraverso la faglia sud-occidentale del graben, e, in direzione NO, per effetto della chiusura lenticolare (*pinch-out*) dell'acquicludo che separa i due acquiferi (Alfio *et al.*, 2022).

La facies litologica più caratteristica della Pietra Leccese è quella di una calcisiltite tenera (rispetto alla sua lavorabilità) e terrosa (rispetto alla sua friabilità); si tratta, con terminologia geologica anglosassone (Jackson e Bates, 1997), di un *Chalk* (Papamichos *et al.*, 1997; Maranini e Brignoli, 1999). La Pietra Leccese ha grado di compattezza tra 0,5 e

0,7, porosità tra 0,3 e 0,45, capacità di imbibizione del 10-20% (Nuzzo e Quarta, 2010), permeabilità (stimata a grande scala) di 10^{-4} - 10^{-5} cm/s (Delle Rose, 2001) e un coefficiente relativo di infiltrazione (in una scala da 0 a 1) di 0,4 (Giudici *et al.*, 2012). Il suo coefficiente di immagazzinamento (*specific yield*) è compreso tra 0,1 e 0,2 (Nota e Van De Weerd, 1978; Romanazzi *et al.*, 2015). In base alla classificazione di Liu *et al.* (2022), la Pietra Leccese è ascrivibile alla Categoria 2, "silts and clays".

La falda "superficiale" dell'acquifero miocenico ha costituito la principale risorsa idrica, per gli insediamenti rurali ubicati nel comprensorio del Campus Ecotekne, sino alla prima metà del secolo scorso. Storicamente, il pregio dei pozzi scavati negli acquiferi poco permeabili era la quantità d'acqua che si rendeva disponibile, sfruttata durante il giorno e "recuperata" nelle ore notturne per mezzo del "lento" flusso laterale sotterraneo (MacDonald *et al.*, 1995). Numerosi pozzi antichi sono stati approfonditi mediante trivellazioni per intercettare l'acquifero di base sia nell'area di studio sia in quelle adiacenti. È problematico stimare il numero dei pozzi attestati nella falda "superficiale" ancora in uso, ma considerati i consumi idrici odierni è verosimile supporre che ne siano rimasti relativamente pochi.

Fino agli anni '60, l'area del Campus Ecotekne è stata estensivamente sfruttata per l'estrazione di pietra da costruzione (il locale "tufo"). Attualmente, sono esposte diverse pareti che consentono osservazioni geomorfologiche, litostatiche e strutturali della Calcareni di Gravina (Fig. 2).

Il grado di sviluppo dell'epcarsismo, valutato in base alla frequenza e alla profondità delle caratteristiche carsiche superficiali, è basso (cfr. Kilmchouk, 2004; Bauer *et al.*, 2005).

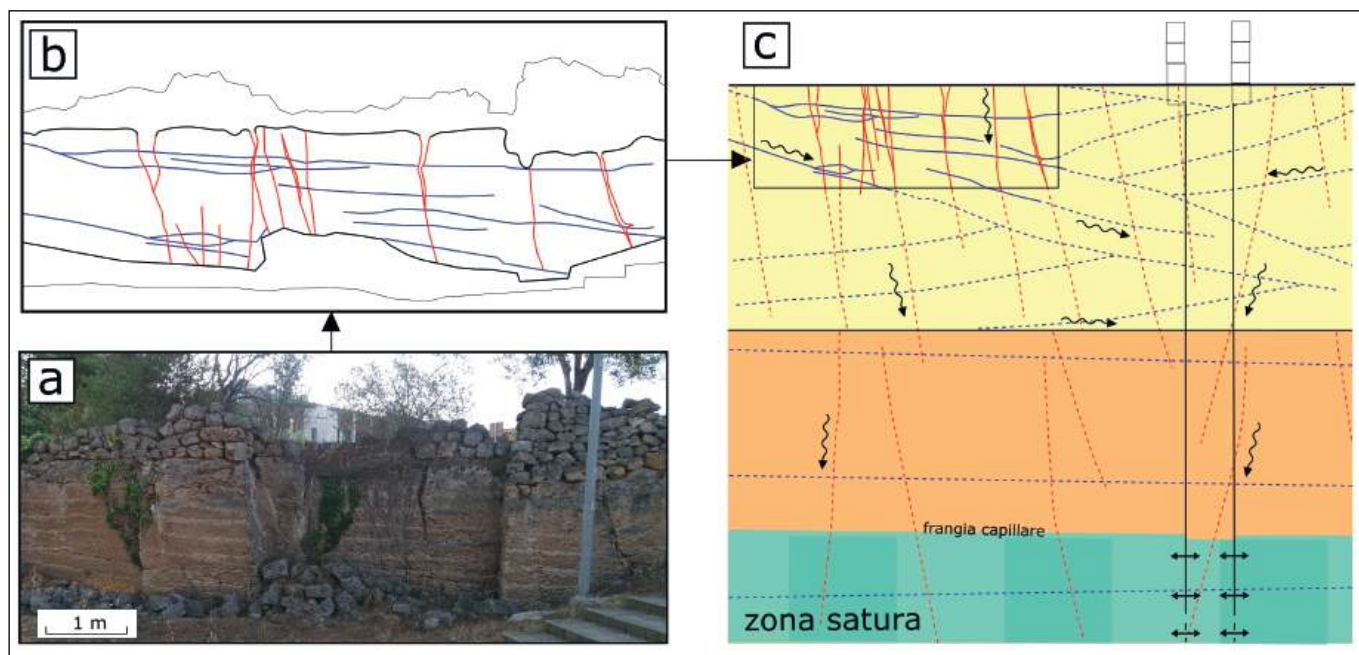


Figura 2 - Modello concettuale del sottosuolo: a) parete di cava; esposizione della Calcarene di Gravina; b) piani di laminazione e stratificazione (in blu), discontinuità tettoniche (in rosso); c) schema dedotto (non in scala); sono evidenziati i percorsi di infiltrazione preferenziale e il flusso tra pozzo e falda. I colori delle unità stratigrafiche sono indicati in Fig. 1.

Numerose fratture sub-verticali e piani di stratificazione sub-orizzontali presentano aperture fino a diversi centimetri a causa della dissoluzione carsica. Un insieme di discontinuità interconnesse (fratture e piani di stratificazione) potrebbe tuttavia favorire una “rapida” infiltrazione di parte dell’acqua piovana nei pozzi, in analogia al comportamento idraulico dei “complex shafts” descritto da Veress (2019). Nel breve termine, questo processo si sovrapporrebbe all’effetto barometrico nei pozzi (*vide infra*). Ulteriori informazioni sulle caratteristiche geologiche e idrogeologiche del sito e le me-

todologie di misura sono riportate in Martano *et al.* (2020; 2025), Alfio *et al.* (2022), Delle Rose e Martano (2023) e Delle Rose (2025).

3. LE FLUTTUAZIONI IDROMETRICHE

Inizialmente (giugno-settembre 2017) le misure idrometriche sono state sporadiche ed hanno riguardato solamente il pozzo Fiorini. Da ottobre 2017 esse vengono eseguite, in media, una volta ogni tre giorni. Il monitoraggio del pozzo Benessere è stato avviato da giugno 2018 per verificare l’assenza, nelle misure idrometriche, di significative interferenze dovute

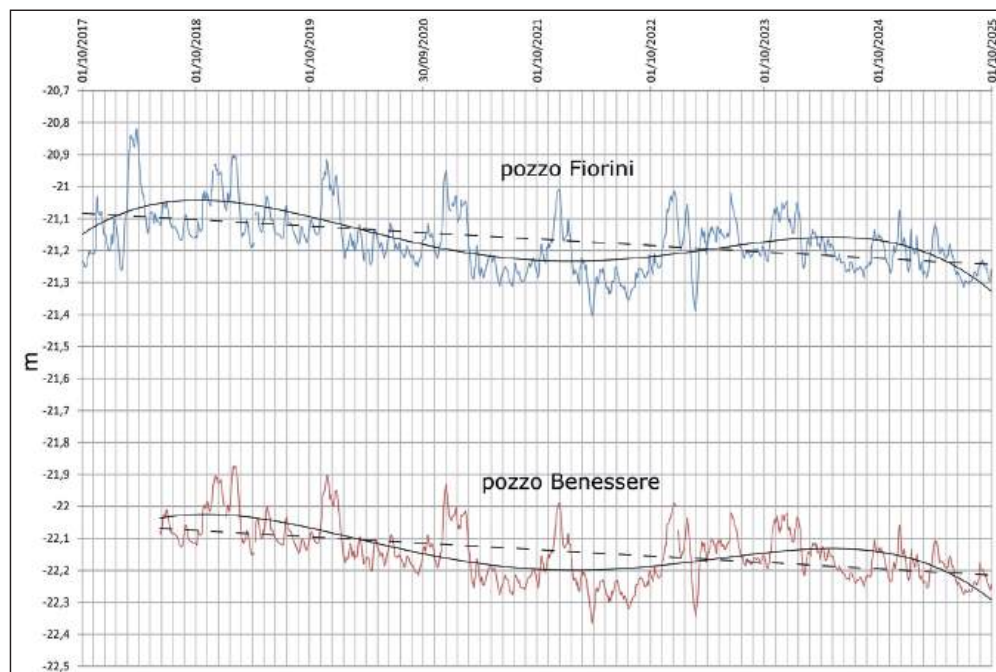


Figura 3 - Idrogrammi dei livelli misurati nei pozzi monitorati (in m di profondità dai boccapozzi); linea di regressione lineare (tratteggiata); curva polinomiale di quarto ordine (continua).

a eventuali pozzi in emungimento e ai sistemi di smaltimento nel sottosuolo di acque meteoriche e reflue. Gli idrogrammi dei due pozzi risultano quasi perfettamente sovrapponibili (Fig. 3). Ciò permette di escludere ragionevolmente le suddette interferenze così come la presenza di condotte o cavità carsiche idraulicamente attive intersecate dai pozzi nella zona satura. Ulteriore evidenza è la costanza nel tempo dell'inclinazione della cadente piezometrica tra i due pozzi. Negli idrogrammi si rilevano fluttuazioni a breve (circa settimanali), medio (stagionali) e lungo termine (pluriannuali).

3.1 Fluttuazioni a Breve Termine

In base ad osservazioni empiriche (Delle Rose, 2025) e ad analisi stocastiche (Martano *et al.*, 2025), è stato stabilito che le fluttuazioni a breve termine sono causate da variazioni della pressione atmosferica (vedi box), quelle positive eventualmente amplificate da piogge concomitanti. Si consideri, come esempio di inferenza induttiva, la Figura 4.

L'inverno 2024-25 è stato moderatamente piovoso sul Salento; la pioggia cumulata dal 28 dicembre al 20 marzo è stata di quasi 170 mm. Come già accaduto ripetutamente nel corso degli anni precedenti, si sono verificati innalzamenti dei livelli idrici con alcuni giorni di anticipo rispetto agli episodi meteorici (8 gennaio, 14 febbraio e 12 marzo, v. Fig. 4). La prima perturbazione meteorologica del 2025 è stata associata a un calo della pressione di 25 mbar (2-12 gennaio) e 3 giorni di precipitazioni prolungate (11-13 gennaio; 64,8 mm di pioggia cumulativa). A questo evento hanno corrisposto innalzamenti dei livelli monitorati (13 cm nel pozzo Fiorini e 10 cm nel pozzo Benessere). La pioggia del 2 febbraio (37,2 mm) non ha avuto, invece, un apprezzabile effetto sui livelli. Infine, gli innalzamenti osservati dal 9 al 18 marzo non sono correlati con le precipitazioni (Fig. 4).

Come si osserva in Fig. 4, ad ogni principale picco positivo delle fluttuazioni barometriche corrisponde, con un ritardo temporale (R) di circa una settimana, un picco negativo delle fluttuazioni idrometriche. A volte le inversioni

L'effetto della pressione barometrica sui livelli idrici dei pozzi

Le variazioni dei livelli d'acqua nei pozzi dovute a fluttuazioni della pressione barometrica furono scoperte e descritte dal matematico e fisico francese Blaise Pascal nella seconda metà del XVII secolo (Fileccia, 2011). La relazione tra il livello idrico e la pressione barometrica è tipicamente inversa: diminuzioni della pressione barometrica provocano aumenti del livello osservato e viceversa (Weeks, 1979). Le misurazioni delle due variabili vengono utilizzate per stabilire l'efficienza barometrica, che è il rapporto tra la variazione del carico idraulico e la variazione della pressione barometrica. A sua volta l'efficienza barometrica, e ancor meglio la risposta di funzione barometrica che ne è l'integrale nel tempo (Rasmussen e Crawford, 1997), si utilizza per valutare le caratteristiche idrauliche degli acquiferi (Rojstaczer e Riley, 1990).

L'entità e il tipo di risposta barometrica sono determinate da diverse grandezze: raggio del pozzo; spessore e diffusività idraulica dell'acquifero; spessore e diffusività pneumatica della zona insatura. Questi elementi chiave possono essere combinati in altrettanti parametri adimensionali che governano la fase e l'attenuazione della risposta (Rojstaczer, 1988). Secondo questo autore, la risposta in un pozzo al carico atmosferico può essere tripartita in risposta ad alta, media e bassa frequenza (o, in altre parole, a breve, medio e lungo termine). La risposta ad alta frequenza sarebbe governata principalmente dal raggio del pozzo e dalla diffusività laterale dell'acquifero; quella a media frequenza dall'efficienza barometrica; infine, la risposta a bassa frequenza dalla diffusività pneumatica e dallo spessore della zona insatura, nonché, per falde semi-confinare, dalla diffusività idraulica e dallo spessore del materiale saturo sovrastante l'acquifero.

di pendenza di quest'ultime non sono sufficientemente definite a causa delle lacune nella serie di misure. Ciò limita parzialmente l'interpretazione dei diagrammi. Tuttavia, e nonostante la complessità delle fluttuazioni rilevate da base ISAC, alcuni picchi barometrici negativi sono associabili ad altrettanti picchi idrometrici positivi (13 gennaio/16 gennaio; 29 gennaio/4 febbraio; 11 marzo/18 marzo).

Correlazioni analoghe a quelle dianzi descritte sono sta-

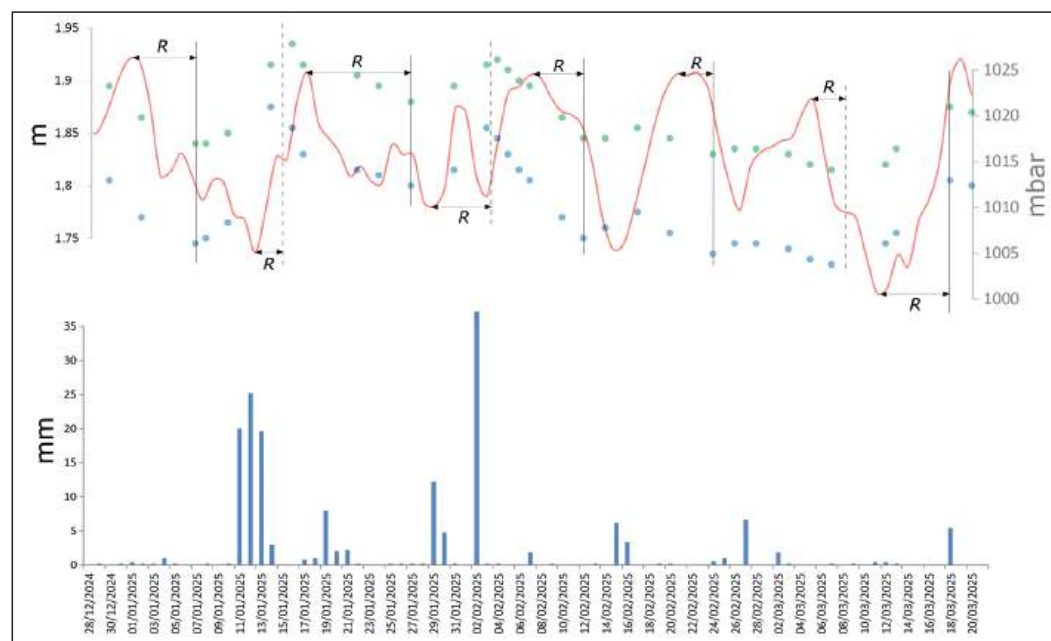


Figura 4 - Confronto tra livelli del pozzo Fiorini (in blu) e del pozzo Benessere (in verde) (in m s.l.m.), pressione atmosferica media giornaliera (in mbar) e precipitazioni giornaliere (in mm) dal 28 dicembre 2024 al 20 marzo 2025. R , ritardo temporale tra il picco di livello e il picco di pressione (da Delle Rose, 2025, modificato).

te osservate durante l'intero periodo di monitoraggio (dal giugno 2017 ad oggi). Sono state così tratte alcune conclusioni induttive. In primo luogo, una evidente correlazione inversa tra pressione atmosferica e livelli idrici caratterizza il sito di misura. Le due grandezze hanno un ritardo medio di fase di circa una settimana. Le variazioni idrometriche nel pozzo Fiorini, con condizioni meteorologiche perturbate, precedono (di 1-2 giorni) e amplificano (di qualche centimetro) quelle del pozzo Benessere (Delle Rose, 2025).

La quantificazione statistica del fenomeno descritto, eseguita mediante due approcci stocastici complementari e relativamente ai primi cinque anni di monitoraggio, è in Martano *et al.* (2025). Tale lavoro, in estrema sintesi, evidenzia la presenza di una risposta dei livelli idrici nei pozzi monitorati, con picco a una settimana, da attribuire alle correlazioni tra le due variabili meteorologiche e una risposta di circa 80 giorni da attribuire alla percolazione delle precipitazioni nella zona vadosa. Apparentemente i pozzi sembrerebbero avere un'alta efficienza barometrica (vedi box). Ulteriori analisi della correlazione inversa potrebbero costituire oggetto di nuove attività di ricerca (*vide infra*).

3.2 Fluttuazioni a Medio Termine

Oltre che dall'ampiezza delle fluttuazioni idrometriche (Fig. 3), ogni anno idrologico è caratterizzato da durata e andamento delle fasi di ricarica e di recessione. La differenza tra il livello più basso misurato in un periodo estivo e il livello più alto del successivo periodo invernale è piuttosto variabile, compresa tra i 170 mm dell'intervallo 15 settembre 2023 – 18 gennaio 2024, e i 490 mm dell'intervallo 31 agosto 2017 - 23 marzo 2018. Di seguito, per esemplificare, si fa riferimento alle misure raccolte nel pozzo Fiorini durante due periodi che hanno mostrato caratteristiche pluviometriche opposte (Tab. 2).

Il semestre invernale 2017-18 è stato il più piovoso (Tab. 2, colonna 4). In gennaio-marzo è caduta circa la metà delle precipitazioni cumulate annuali; febbraio è stato il mese con le piogge più intense e prolungate ma il livello idrico ha raggiunto il picco massimo a fine marzo (Fig. 5). Successivamente, il livello è sceso rapidamente e, infine, è tendenzialmente diminuito per il resto dell'anno idrologico.

Il semestre invernale 2023-24 è stato il meno piovoso (Tab. 2, colonna 4). Il mese con maggiori precipitazioni è stato novembre, ma i livelli idrici più elevati sono stati osservati tra dicembre e gennaio, nonostante le scarse precipitazioni di quei mesi (Fig. 6). Nella seconda metà di gennaio il livello

è sceso rapidamente per diminuire poi gradualmente per tutta la successiva fase di recessione (sino ad agosto).

Nelle Figure 5 e 6 sono riportate le variazioni della media mobile a 7 giorni della pressione media giornaliera misurata

Anno idrologico	Dati base ISAC			Dati pozzo Fiorini	
	Piogge cumulate totali (mm)	Variazione interannuale V (mm)	Piogge cumulate ottobre-marzo (mm)	Media misure livello idrico luglio-agosto <i>M</i> (m)	Differenza interannuale <i>D</i> (mm)
2016-2017	526	-	363	-21,28*	-
2017-2018	845	+319	606	-21,12	+160
2018-2019	787	-58	478	-21,13	-10
2019-2020	607	-180	348	-21,2	-70
2020-2021	513	-94	412	-21,28	-80
2021-2022	512	-1	347	-21,31	-30
2022-2023	778	+266	421	-21,19	+120
2023-2024	512	-266	275	-21,26	-70
2024-2025	587	+75	445	-21,28	-20

Tabella 2 - Piogge cumulate e livelli di recessione (questi ultimi calcolati come medie dei livelli idrici misurati tra luglio ed agosto; *valore incerto per il basso numero di misure; vedi testo).

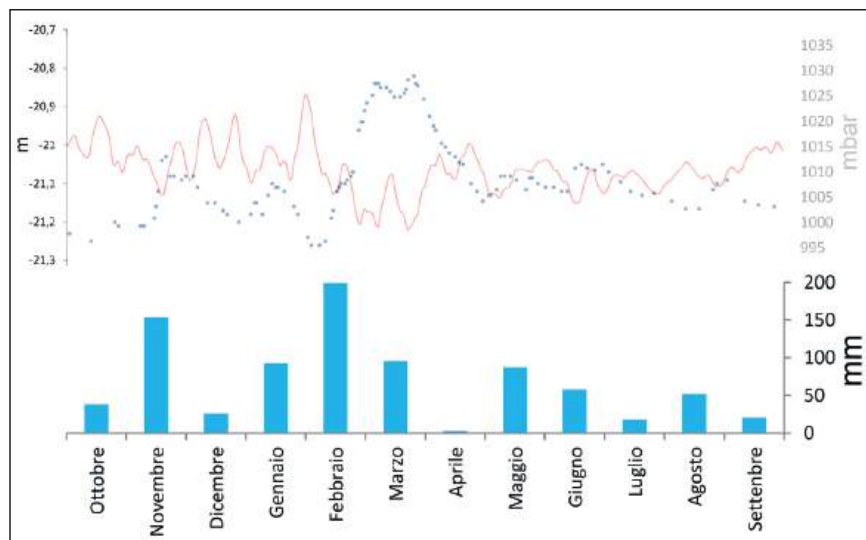


Figura 5 - Confronto grafico tra dati rilevati nel sito di misura. Livelli idrometrici misurati nel pozzo Fiorini durante l'anno idrologico 2017-18; media mobile a periodo 7 della pressione barometrica media giornaliera (linea rossa); piogge cumulate mensili (istogramma in basso).

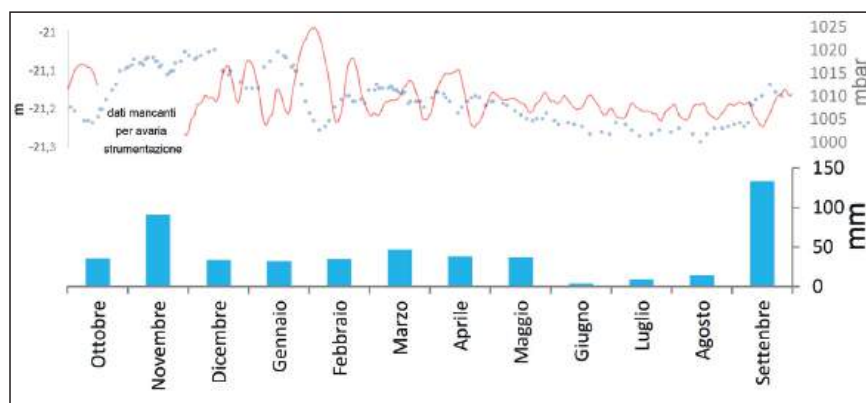


Figura 6 - Confronto grafico tra dati rilevati nel sito di misura. Livelli idrometrici misurati nel pozzo Fiorini durante l'anno idrologico 2023-24; media mobile a periodo 7 della pressione barometrica media giornaliera (linea rossa); piogge cumulate mensili (istogramma in basso).

dalla base ISAC. È chiaro il forte controllo di questa variabile atmosferica sui livelli idrici misurati nei pozzi. Tuttavia, le fluttuazioni positive durante le fasi di ricarica sembrano correlabili anche con la precipitazione cumulata mensilmente o su intervalli di tempo più lunghi. L'analisi stocastica dei dati è in accordo con questa ipotesi. Infatti, come già accennato, è stato calcolato un tempo di risposta dei livelli idrici di circa 80 giorni (con un ritardo tra 30 e 60 giorni), attribuibile all'infiltrazione delle acque meteoriche attraverso la zona insatura (Martano *et al.*, 2025).

3.3 Fluttuazioni e Tendenza a Lungo Termine

Le tendenze polinomiali in Figura 3 evidenziano fluttuazioni pluriannuali dei livelli idrici. Queste ultime si possono rapportare alle variazioni delle precipitazioni cumulate annuali, che sono diminuite del 40% dal 2017-18 al 2021-22 (Fig. 7), con valori inferiori alla media pluridecennale della penisola salentina (650 mm) per 3 anni consecutivi. Nel 2022-2023 le precipitazioni annuali hanno invece superato del 20% il valore medio, con un aumento del 50% rispetto all'anno precedente, mentre negli ultimi due anni idrologici le precipitazioni annuali sono scese nuovamente al di sotto del valore medio. Le analogie delle variazioni delle grandezze illustrate nelle Figg. 3 e 7 mostrano il nesso tra precipitazioni e ricarica meteorica per gli otto anni di monitoraggio.

I livelli idrici misurati durante i semestri estivi tendono a diminuire progressivamente e quindi oscillare, tra luglio e agosto, intorno a un valore medio (Figg. 5 e 6; M in Tab. 2, colonna 5), che si può ritenere rappresentativo del livello di recessione prima dell'inizio della successiva ricarica. Infatti, poiché nell'arco di due mesi si alternano varie situazioni di alta e di bassa pressione (per il sito di misura tra luglio e agosto la pressione atmosferica oscilla, in genere, tra 1005 e 1010 mbar), nelle serie idrometriche raccolte sono presenti

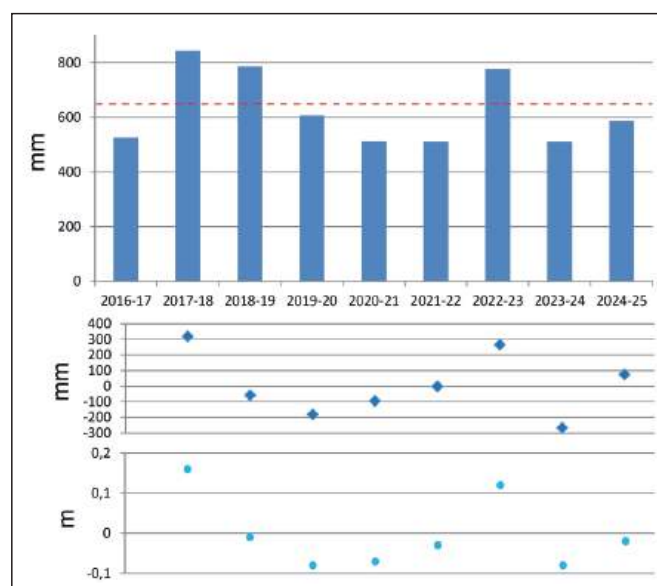


Figura 7 - Variabilità pluviometrica e livelli di recessione: in alto) precipitazioni cumulate annuali (la linea rossa tratteggiata indica la media pluridecennale); al centro) variabilità pluviometrica interannuale (V); in basso) variazione interannuale del livello medio nel bimestre luglio-agosto (D).

dati sia minori che maggiori del "reale" livello di recessione. Nei due mesi considerati, inoltre, l'effetto dell'infiltrazione efficace dovrebbe essere cessato.

Il livello idrico medio del bimestre luglio-agosto (M) mostra (Fig. 7) di anno in anno differenze (D) ben correlate con la variabilità delle precipitazioni (V). La tendenza idrometrica dei pozzi (Fig. 3) approssima l'andamento piezometrico nel lungo termine (Delle Rose e Martano, 2023).

4. SVILUPPI DELLE RICERCHE

Nel contesto del cambiamento climatico, lo studio dei processi di ricarica è di riferimento per valutare la rinnovabilità delle risorse idriche sotterranee in regioni semi-aride a rischio di siccità idrologica e meteorologica come il Salento (Elferchichi *et al.*, 2017; D'Oria *et al.*, 2018; Fan *et al.*, 2023; He Yujiang *et al.*, 2024). L'andamento pluriennale del livello piezometrico si sta affermando come strumento di valutazione pratica dello stato quantitativo degli acquiferi (Konikow e Kendy, 2005; Jasechko *et al.*, 2024). L'Organizzazione Meteorologica Mondiale utilizza, come indici di riferimento, gli andamenti decennali degli idrogrammi dei pozzi insieme al livello medio annuale delle falde (World Meteorological Organization, 2023, pp. 12-13). Questo metodo potrebbe essere applicato a partire dal sito di misura, aumentando il numero di pozzi monitorati e utilizzando strumenti di misurazione automatica. Ad oggi, le pendenze negative delle tendenze lineari (linee tratteggiate in Fig. 3) suggeriscono una diminuzione della riserva idrica immagazzinata nell'AMSCO dal 2017. La variabilità pluviometrica interannuale sembra determinare i livelli di recessione dei periodi estivi (Fig. 7). Si rileva, inoltre, la proporzionalità diretta, all'apparenza non lineare, tra la variazione (V) interannuale delle precipitazioni cumulate annuali e la differenza (D) delle medie (M) dei livelli idrici misurati tra luglio e agosto (Tab. 2 e Fig. 8).

Una elevata variabilità interannuale è tipica delle regioni semi-aride (Barron *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2025; Pool *et al.*, 2021). Si ritiene che la variabilità delle precipitazioni possa spiegare fino all'80% della variabilità interannuale della ricarica (Keese *et al.*, 2005). Tuttavia, poiché sia la temperatura minima che l'evapotraspirazione di riferimento stanno aumentando significativamente nel Salento (Elferchichi *et al.*, 2017), sarà necessario valutare anche il ruolo della variabilità

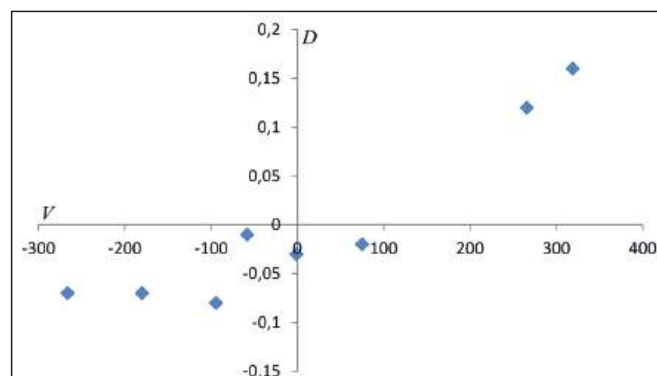


Figura 8 - Diagramma di dispersione delle variazioni interannuali delle precipitazioni (V , in mm) in relazione ai livelli di recessione del pozzo Fiorini (D , in m).

dell'evapotraspirazione reale per quantificare la dipendenza della ricarica dal cambiamento climatico.

Nel comprensorio del Campus Ecotekne sussistono diverse condizioni teoriche per calcolare la ricarica della falda "superficiale" mediante il metodo *water table fluctuation* (Healy e Cook, 2002; Becke *et al.*, 2024). Infatti: i flussi laterali in ingresso e in uscita sono equivalenti; l'evapotraspirazione dalla superficie piezometrica è nulla; il deflusso verso l'acquifero di base avviene al di fuori del sito e i prelievi, se ancora esistenti, non sono significativi; infine, apporti meteorici a parte, sono assenti o trascurabili altri processi naturali o artificiali di ricarica. Tuttavia, il forte controllo delle variazioni barometriche sui livelli idrici nei pozzi inficerebbe l'affidabilità del metodo suddetto (Cfr. Rasmussen e Crawford, 1997; Sun *et al.*, 2024). Disponendo di serie continue di dati idrometrici raccolti ad alta frequenza (ad es. ogni mezz'ora), si potrebbe utilizzare una regressione lineare dei dati corretti per mezzo di un coefficiente che tenga conto dei valori medi mensili della pressione (cfr. ad es. Davis e Rasmussen, 1993; Zhao e Wang, 2013; Sun *et al.*, 2024). L'acquisizione di serie continue di dati idrometrici potrebbe realizzarsi per mezzo del progetto MUSA, acronimo di Multi-Scaling Aquifer (De Bartolo *et al.*, 2023; Lauria *et al.*, 2024). Nucleo centrale di MUSA è l'uso di sensori di rilevamento a ultrasuoni HC-SR04 gestiti da schede Raspberry, integrate con DataLogger e posizionate direttamente all'interno dei pozzi. La produzione di serie ad alta frequenza di campionamento dei dati permetterebbe di studiare con maggiore dettaglio la risposta barometrica dei pozzi (cfr. ad es., Kennel *et al.*, 2024). Disponendo di serie idrometriche continue si potrebbe anche valutare il comportamento semi-confinato della falda "superficiale" (cfr. ad es., Larocque *et al.*, 1998).

Come già accennato, i pozzi monitorati sono di grande diametro (Tab. 1). Questi pozzi sono particolarmente adatti per falde contenute in acquiferi con bassa trasmissività, e si differenziano dai pozzi di piccolo diametro in quanto l'accumulo idrico (*wellbore storage*) che si riforma in condizioni statiche contribuisce sostanzialmente al volume estratto durante le prime fasi di emungimento (Singh, 2007; He Yu *et al.*, 2024). Un impulso particolare allo studio dell'idraulica di questo tipo di opere di captazione venne dato da Papadopoulos e Cooper (1967) per aiutare gli idrogeologi che operavano in contesti rurali di paesi in "via di sviluppo" (Narasimhan, 1968; Chachadi *et al.*, 1991; Cimen, 2001). Per la simulazione degli effetti delle forzanti meteorologiche sui livelli idrici andranno considerate le basi teoriche poste dai suddetti studi.

Martano *et al.* (2025) hanno calcolato un tempo di risposta di circa 80 giorni dei livelli idrici dei pozzi del Campus Ecotekne all'infiltrazione delle acque meteoriche (*vide supra*). Considerate le caratteristiche idrostratigrafiche del sito, la ricarica meteorica andrebbe concettualizzata come un processo non lineare, che avviene sia attraverso la matrice porosa degli strati che la rete irregolare di discontinuità tettoniche allargate o meno dalla dissoluzione carsica (Fig. 2). Inoltre, non si può escludere che i pozzi di largo diametro permettano dinamiche di infiltrazione analoghe a quelle descritte per i *complex shafts* (Veress, 2019). L'equazione differenziale

parziale del moto insaturo basata sulla legge di Darcy fu ottenuta da Lorenzo Adolph Richards quasi un secolo fa (He Yujiang *et al.*, 2024). Per il caso in questione, un modello di infiltrazione potrebbe essere approntato a partire dal metodo Green-Ampt modificato per zone vadose formate da strati con diversa permeabilità verticale (cfr. Flerchinger *et al.*, 1988; Lee *et al.*, 2020).

Gli studi sugli effetti delle fluttuazioni barometriche sui livelli idrici riguardano, per lo più, pozzi di piccolo diametro trivellati ed equipaggiati in acquiferi sabbiosi (cfr., ad es., Weeks, 1979; Rasmussen e Crawford, 1997; Spane, 2002). Nelle rispettive modellazioni, gli autori considerano aspetti (quali la presenza o meno dei tubi ciechi nella zona vadosa, la tipologia e la lunghezza dei tubi perforati in quella satura, l'esistenza di materiale confinante alla base del pozzo, ecc.) che non permettono adattamenti diretti al caso discusso. Così, ad esempio, diversamente dai modelli di letteratura, l'assenza di tubi di rivestimento nella parte insatura permette alla pressione di agire anche sulle pareti del pozzo. E, ancora, risulta problematico valutare il cosiddetto "effetto pelle" (*well skin effect*) di un pozzo di largo diametro scavato in un acquifero carbonatico. Sarebbe comunque utile definire un modello di simulazione che consideri l'effetto combinato della risposta barometrica in una falda con trasmissività medio-bassa con l'immagazzinamento del pozzo (*wellbore storage*, cfr. Spane, 1999, 2002; Fileccia, 2011). Esso dovrebbe essere calibrato in base alle proprietà dell'insaturo (spessore, permeabilità verticale, diffusività pneumatica), dell'acquifero (spessore, conducibilità idraulica, coefficiente di immagazzinamento specifico, grado di consolidazione) e del pozzo (diametro, spessore della falda intercettata e caratteristiche delle pareti). Diffusività pneumatica e conducibilità idraulica costituirebbero i principali fattori di controllo dei tempi di risposta dei livelli idrici alle variazioni barometriche (Rojstaczer e Riley, 1990; Fischer, 1992; Spane, 2002; Price, 2009).

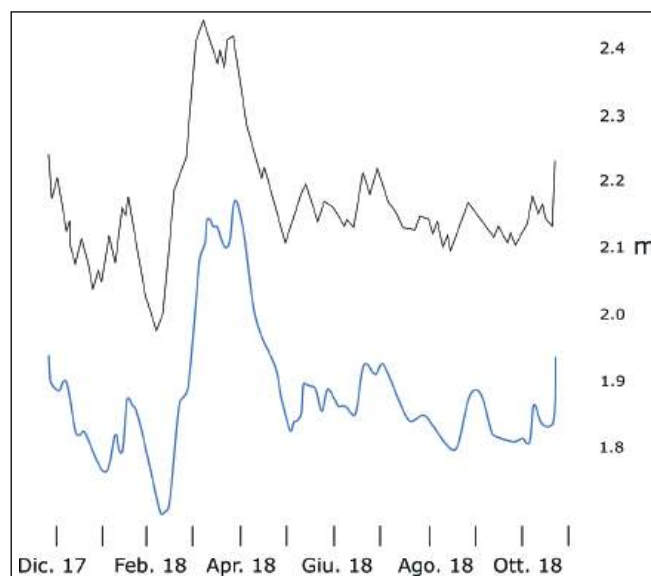


Figura 9 - Confronto grafico tra l'idrogramma di Vora Bosco (ridisegnato dalla Fig. 6 di Leins *et al.*, 2023 (linea nera) e l'idrogramma del pozzo Fiorini (linea blu). Le quote sono in m s.l.m.

Per quanto di nostra conoscenza, la serie temporale di Leins *et al.* (2023) per l'acquifero di base è la sola comparabile, nell'ambito della struttura idrogeologica salentina, con quelle del Campus Ecotekne. Questi autori hanno utilizzato una sonda multiparametrica automatica posizionata nell'inghiottitoio carsico denominato Vora Bosco. La serie è stata interrotta a causa della alluvione conseguente le forti piogge del 22-23 ottobre 2018, che ha danneggiato la strumentazione. L'evento meteorico ha causato il massimo innalzamento dei livelli idrici (10,5 cm nel pozzo Fiorini e 6,5 cm nel Benessere) durante i primi due anni di monitoraggio della falda "superficiale". Come si può osservare nella Figura 9, gli idrogrammi sono molto simili. Per spiegare questa somiglianza si possono considerare ipotesi di vario tipo, dalla connettività idraulica al comportamento scalare.

BIBLIOGRAFIA

- ALFIO M.R., BALACCO G., DELLE ROSE M., FIDELIBUS C., MARTANO P. (2022) - *A Hydrometeorological Study of Groundwater Level Changes during the COVID-19 Lockdown Year (Salento Peninsula, Italy)*. Sustainability, 14, 1710.
- AMBROSETTI P., BOSI C., CARRARO F., CIARANFI N., PANIZZA M., PAPANI G., VEZZANI L., ZANFERRARI A. (1987) - *Foglio 4 della Carta Neotettonica d'Italia. Progetto finalizzato Geodinamica, Sottoprogetto Neotettonica*. Quad. Ric. Sci., 114/4, CNR, Firenze.
- BARRON O.V., CROSBIE R.S., DAWES W.R., CHARLES S.P., PICKETT T., DONN M.J. (2012) - *Climatic controls on diffuse groundwater recharge across Australia*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 4557-4570.
- BAUER S., LIEDL R., SAUTER M. (2005) - *Modeling the influence of epikarst evolution on karst aquifer genesis: A time variant recharge boundary condition for joint karst-epikarst development*. Water Resour. Res., 41, W09416.
- BECKE A.L., SOLORZANO-RIVAS S.C., WERNER A.D. (2024) - *The water table fluctuation method of recharge estimation: A review*. Advances in Water Resources 189, 104635.
- BERTHELIN R., RINDERER M., ANDREO B., BAKER A., KILIAN D., LEONHARDT G., LOTZ A., LICHTENWOEHRER K., MUDARRA M., PADILLA I.Y., PANTOJA AGREDA, F., ROSELEM, R., VALE, A., HARTMANN, A. (2020) - *A soil moisture monitoring network to characterize karstic recharge and evapotranspiration at five representative sites across the globe*. Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 9, 11-23.
- CALÒ G., GNONI R., STANI M. (1992) - *Caratteri idrogeologici delle falde superficiali della Penisola Salentina e valutazione della vulnerabilità degli acquiferi*. Amm. Prov. Lecce, 31 pp.
- CHACHADI A.G., MISHRA G.C., SINGHAL B.B.S. (1991) - *Drawdown at a large-diameter observation well*. J. Hydrol., 127, 219-233.
- CIMEN N. (2001) - *A simple solution for drawdown calculation in a large-diameter well*. Ground Water, 39, 144-147.
- COTECCHIA V. (2014) - *Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa*. Mem. Descr. Carta Geol. It., XCII (2), 15-660.
- D'ALESSANDRO A., MASSARI F., DAVAUD E., GHIBAUDO G. (2004) - *Pliocene-Pleistocene sequences bounded by subaerial unconformities within foramol ramp calcarenites and mixed deposits (Salento, SE Italy)*. Sediment. Geol., 166, 89-144.
- DAVIS D.R., RASMUSSEN T.D. (1993) - *A comparison of linear regression with Clark's method for estimating barometric efficiency of confined aquifers*. Water Resour. Res. 29, 1849-1854.
- DE BARTOLO S., CAFARO M., RIZZELLO S., FRANCONI A., MARTANO P., DELLE ROSE M., LAURIA A., SAPONIERI A., TOMASICCHIO G.R. (2023) - *Water table multi-scaling aquifer data: an integrated groundwater management approach*. Atti 44° Italian Conference on Integrated River Basin Management, Rende, 347-356.
- DELLE ROSE, M. (2001) - *Geological constraints on the location of industrial waste landfills in Salento karst areas (southern Italy)*. In Water Pollution VI, Modelling, Measuring and Prediction, Witpress, UK, 57-68.
- DELLE ROSE, M. (2025) - *Interpreting Groundwater and Weather Data to Investigate Karst Aquifer Recharge in a Semi-Arid Site*. Preprints 2025100495, <https://doi.org/10.20944/preprints202510.0495.v1>
- DELLE ROSE M., FIDELIBUS C., MARTANO P. (2018) - *Assessment of Specific Yield in Karstified Fractured Rock through the Water-Budget Method*. Geosciences, 8, 8090344.
- DELLE ROSE M., MARTANO P. (2018) - *Infiltration and Short-Time Recharge in Deep Karst Aquifer of the Salento Peninsula (Southern Italy): An Observational Study*. Water, 10, 10030260.
- DELLE ROSE M., MARTANO P. (2023) - *Datasets of Groundwater Level and Surface Water Budget in a Central Mediterranean Site (21 June 2017–1 October 2022)*. Data, 8, 38.
- D'ORIA M., TANDA M.G., TODARO V. (2018) - *Assessment of local climate change: historical trends and Rcm multi-model projections over the Salento area (Italy)*. Water, 10, 978.
- ELFERCHICHI A., GIORGIO G.A., LAMADDALENA N., RAGOSTA M., TELESKA V. (2017) - *Variability of temperature and its impact on reference evapotranspiration: the test case of the Apulia region (southern Italy)*. Sustainability, 9, 2337.
- FAN X., PETERSON T. J., HENLEY B. J., ARORA M. (2023) - *Groundwater sensitivity to climate variations across Australia*. Water Resour. Res., 59, e2023WR035036.
- FAVREAU G., CAPPELAERE B., MASSUEL S., LEBLANC M., BOUCHER M., BOULAIN N., LEDUC C. (2009) - *Land clearing, climate variability, and water resources increase in semiarid southwest Niger: A review*. Water Resour. Res., 45, W00A16.
- FILECCIA A. (2011) - *Correcting water level data for barometric pressure fluctuations. Theoretical approach and a case history for an unconfined karst aquifer (Otavi, Namibia)*. Acque Sotterranee, 126, 23-44.
- FISCHER G.J. (1992) - *Chapter 8: The determination of permeability and storage capacity: Pore pressure oscillation method*. In Fault Mechanics and Transport Properties of Rocks: A Festschrift in Honor. International Geophysics Series 51, Academic Press. UK, 187-211.
- FLERCHINGER G.N., WATTS F.J., BLOOMSBURG G.L. (1988) - *Explicit solution to Green-Ampt equation for nonuniform soils*. J. Irrig. Drain. Eng., 114, 561-565.
- GIUDICI M., MARGIOTTA S., MAZZONE F., NEGRI S., VASENA C. (2012) - *Modelling hydrostratigraphy and groundwater*

ter flow of a fractured and karst aquifer in a Mediterranean basin (Salento peninsula, southeastern Italy). *Environ. Earth Sci.*, 67, 1891-1907.

HE YUJIANG, WANG Y., LIU Y., PENG B., WANG G. (2024) - *Focus on the nonlinear infiltration process in deep vadose zone*. *Earth-Sci. Rev.*, 252, 104719.

HE YU, GUO Q., LIU Y., HUANG H., HOU D., LUO J. (2024) - *Multiphysics modeling investigation of wellbore storage effect and non-Darcy flow*. *Water Resour. Res.*, 60, e2023WR035453.

HEALY R.W., COOK P.G. (2002) - *Using groundwater levels to estimate recharge*. *Hydrogeol. J.*, 10, 91-109.

JACKSON J.A., BATES R.L. (1997) - *Glossary of Geology*. American Geological Institute, Alexandria, USA, 769 pp.

JASECHKO S., SEYBOLD H., PERRONE D., FAN Y., SHAM-SUDDUHA M., TAYLOR R.G., FALLATAH O., KIRCHNER J.W. (2024) - *Rapid groundwater decline and some cases of recovery in aquifers globally*. *Nature*, 625, 715-721.

KEESE K.E., SCANLON B.R., REEDY R.C. (2005) - *Assessing controls on diffuse groundwater recharge using unsaturated flow modeling*. *Water Resour. Res.*, 41, W06010.

KENNEL J., PARKER, B. (2024) - *Characterizing water level responses to barometric pressure fluctuations from seconds to days*. *J. Hydrol.*, 641, 131843.

KILMCHOUK A.B. (2004) - *Towards defining, delimiting and classifying epikarst: Its origin, processes and variants of geomorphic evolution*. *Speleog. Evol. Karst Aquifers*, 2, 1-13.

KONIKOW L.F., KENDY, E. (2005) - *Groundwater depletion: A global problem*. *Hydrogeol. J.*, 13, 317-320.

LAROCQUE M., MANGIN A., RAZACK M., BANTON O. (1998) - *Contribution of correlation and spectral analyses to the regional study of a large karst aquifer (Charente, France)*. *J. Hydrol.*, 205, 217-231.

LAURIA A., PASCARELLA F., DELLE ROSE M., CAFARO M., MELE G., MADARO F., TOMASICCHIO G.R., SAPONIERI. A., GAFA R.M., DELOGU D., FRANCONI A., GRASSI G., LAY-EKUAKILLE A., RADOGNA A.V., GATTO D., PAGLIALUNGA A., LEONE E., DE BARTOLO S. (2024) - *Multi-Scaling Aquifer Data (MUSA): un approccio integrato di gestione della falda sotterranea su scala regionale*. *Atti 39° Italian Conference on Hydraulics and Hydraulic Construction*, Parma, 653-656.

LEE S., CHU M.L., SCHMIDT A.R. (2020) - *Effective Green-Ampt parameters for two-layered soils*. *J Hydrol. Eng.*, 25, 04020004.

LEE S., IRVINE D.J., DUVERT C., RAU G.C. (2025) - *Comparing groundwater recharge rates estimated using water table fluctuations and chloride mass balance across the Australian continent*. Preprint available at: <https://www.authorea.com/users/887071/articles/>.

LEINS T., LISO I.S., PARISE M., HARTMANN A. (2023) - *Evaluation of the predictions skills and uncertainty of a karst model using short calibration data sets at an Apulian cave (Italy)*. *Environ. Earth Sci.*, 82, 351.

LIU G., WILSON B.B., BOHLING G.C., WHITTEMORE D.O., BUTLER J.J. (2022) - *Estimation of specific yield for regional groundwater models: Pitfalls, ramifications, and a promising path forward*. *Water Resour. Res.*, 58, e2021WR030761.

LORENZO-LACRUZ J., GARCIA C., MORÁN-TEJEDA E.

(2017) - *Groundwater level responses to precipitation variability in Mediterranean insular aquifers*. *J. Hydrol.*, 552, 516-531.

MACDONALD D.M.J., THOMPSON D.M., HERBERT R. (1995) - *Sustainability of yield from wells and boreholes in crystalline basement aquifers*. British Geological Survey, Technical Report WC/95/SO, 78 pp.

MARANINI E., BRIGNOLI M. (1999) - *Creep behaviour of a weak rock: experimental characterization*. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci.*, 36, 127-138.

MARTANO P., CIRICUGNO L., DELLE ROSE M., FIDELIBUS C., ORLANDUCCI L. (2020) - *Osservazioni idrometeorologiche sull'acquifero miocenico del Salento centro-orientale nell'anno del Lockdown per il covid-19*. *Geologi e Territorio*, XVII, 2/2020, 14-20.

MARTANO P., DELLE ROSE M., DONATEO A. (2025) - *Correlations between meteoric forcings and groundwater levels in a karst aquifer well*. SSRN 5132771, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5132771>.

MARTANO P., ELEFANTE C., GRASSO F. (2013) - *A database for long term atmosphere-surface transfer monitoring in Salento peninsula (Southern Italy)*. *Dataset Papers Geosci.*, 946431.

MARTANO P., ELEFANTE C., GRASSO F. (2015) - *Ten years water and energy surface balance from the CNR-ISAC micro-meteorological station in Salento Peninsula (Southern Italy)*. *Adv. Sci. Res.*, 12, 121-125.

NARASIMHAN T.N. (1968) - *On the paper entitled 'Drawdown in a well of large diameter' by I. S. Papadopoulos and H. H. Cooper, Jr*. *Water Resour. Res.*, 4, 459.

NORDIO G., FAGHERAZZI S. (2022) - *Groundwater, soil moisture, light and weather data collected in a coastal forest bordering a salt marsh in the Delmarva Peninsula (VA)*. *Data Br.*, 45, 108584.

NOTA D.J.G., VAN DE WEERD B. (1978) - *A hydrogeological study in the basin of the Gulp Creek - A reconnaissance in a small catchment area*. *Meded. Landbouwhogeschool Wageningen* 78, 1-20.

NUZZO L., QUARTA T. (2010) - *Near-surface geophysical investigations inside the cloister of the historical palace Palazzo dei Celestini in Lecce, Italy*. *J. Geophys. Eng.*, 7, 200-210.

PAPADOPULOS I.S., COOPER H.H. (1967) - *Drawdown in a well of large diameter*. *Water Resour. Res.*, 3, 241-244.

PAPAMICHOS E., BRIGNOLI M., SANTARELLI F.J. (1997) - *An experimental and theoretical study of a partially saturated collapsible rock*. *Mech. Cohes.-Frict. Mater.*, 2, 251-278.

POOL S., FRANCES F., GARCIA-PRATS A., PUERTES C., PULIDO-VELAZQUEZ M., SANCHIS-IBOR C., SCHIRMER M., YANG H., JIMENEZ-MARTINEZ J. (2021) - *Hydrological modeling of the effect of the transition from flood to drip irrigation on groundwater recharge using multi-objective calibration*. *Water Resour. Res.*, 57, e2021WR029677.

PRICE M. (2009) - *Barometric water-level fluctuations and their measurement using vented and non-vented pressure transducers*. *Q. J. Eng. Geol. Hydrogeol.*, 42, 245-250.

RASMUSSEN T.C., CRAWFORD L.A. (1997) - *Identifying and removing barometric pressure effects in confined and unconfined aquifers*. *Ground Water*, 35, 502-511.

RICCHETTI G., CIARANFI N., LUPERTO SINNI E., MON-

GELLI F., PIERI P. (1992) - *Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell'Avampaese Apulo*. Mem. Soc. Geol. It. 41, 57-82.

RIES F., LANGE J., SCHMIDT S., PUHLMANN H., SAUTER M. (2015) - *Recharge estimation and soil moisture dynamics in a Mediterranean, semi-arid karst region*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 19, 1439-1456.

ROJSTACZER S. (1988) - *Determination of fluid flow properties from the response of water levels in wells to atmospheric loading*. Water Resour. Res., 24, 1927-1938.

ROJSTACZER S., RILEY F.S. (1990) - *Response of the water level in a well to Earth tides and atmospheric loading under unconfined conditions*. Water Resour. Res., 26, 1803-1817.

ROMANAZZI A., GENTILE F., POLEMIO M. (2015) - *Modelling and management of a Mediterranean karstic coastal aquifer under the effects of seawater intrusion and climate change*. Environ. Earth Sci., 74, 115-128.

SINGH S.K. (2007) - *Approximation of well function for large diameter wells*. J. Irrig. Drain. Eng., 133, 414-416.

SOGESID (2009) - *Piano di tutela delle acque. Relazione generale*, 287 pp.

SPANE F.A. (1999) - *Effects of barometric fluctuations on well water-level measurements and aquifer test data*. Rep. PNNL-13078, Washington, USA, 59 pp.

SPANE F.A. (2002) - *Considering barometric pressure in groundwater flow investigations*. Water Resour. Res., 38, 1-18.

SUN J., YAN X., LI S., WANG W., LIU W., LI Z. (2024) - *Improving the water table fluctuation method to estimate groundwater recharge below thick vadose zones*. Hydrol. Sci.

J., 69, 2044-2056.

TADOLINI T., CALÒ G., SPIZZICO M., TINELLI R. (1985) - *Caratterizzazione idrogeologica dei terreni post-cretacei presenti nell'area di San Cesario di Lecce (Puglia)*. Atti 5° Congr. Int. Acque Sotterranee, Taormina, 11 pp.

TAUFIK M., MARLIANA T.W., AWALUDDIN A., MUKHAROMAH A.K., MINASNY B. (2022) - *Groundwater table and soil-hydrological properties datasets of Indonesian peatlands*. Data Br., 41, 107903.

VERESS M. (2019) - *Shaft Lengths and Shaft Development Types in the Vadose Zone of the Bakony-Mountains (Transdanubian, Hungary)*. J. Soil Water Sci. 2019, 3, 54-74.

WEEKS, E.P. (1979) - *Barometric fluctuations in wells tapping deep unconfined aquifers*. Water Resour. Res., 15, 1167-1176.

WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION) (2023) - *State of the global water resources 2022*. World Meteorological Organization, Report. WMO-No. 1333, Geneva, Switzerland, 55 p.

ZABALA M.E., SANCHEZ-MURILLO R., DIETRICH S., GOROCITO M., VIVES L., MANZANO M., VARNI M. (2020) - *Hydrological dataset of a sub-humid continental plain basin (Buenos Aires, Argentina)*. Data Br., 33, 106400.

ZHAO D., WANG G. (2013) - *Removing barometric pressure effects from groundwater level and identifying main influential constituents*. Sci. China Technol. Sci. 56, 129-136.

ZITO G., RUGGIERO L., ZUANNI F. (1991) - *Aspetti meteorologici e climatici della Puglia*. Atti 1° workshop Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno, Taormina, 43-73.

PRO-GEO s.a.s

di Alberto Angelo Raffaele Quarto & C.

Sismica

- Fondazioni
- Stratigrafia
- Microzonazione sismica
- Adeguamento sismico
- Misure HVSR

Sismica a riflessione

- Ricerca d'acqua
- Stratigrafia profonda

Geoelettrica

- Studio frane
- Studio corpo discarica
- Ricerca d'acqua

Georadar

- Archeologia
- Sottoservizi
- Cavità

Indagini marine

- Stratigrafia fondali
- Morfologia fondali

Via M.R. Imbriani, 13 -76121- Barletta (Bt) Tel-Fax: 0883-390511 Cell. 335-6098214
E-mail: info@progeos.net Sito Web: www.progeos.net

ATTIVITÀ DELL'ORDINE AD UN ANNO DALL'INSEDIAMENTO

Sono trascorsi dodici mesi dall'insediamento di questa consiliatura ed è per me e per tutto il Consiglio dell'Ordine fondamentale cogliere l'occasione per tracciare un primo bilancio di un'esperienza tanto complessa quanto entusiasmante. Questo spazio non vuole rappresentare un mero resoconto, ma un momento di dialogo per informarvi su quanto costruito finora e anticiparvi le numerose attività che ci vedranno protagonisti nei prossimi anni. Il nostro traguardo più grande è e resta uno solo: dare continuità a questa stagione, stringendo legami sempre più forti all'interno della nostra comunità e costruendo una collaborazione solida e vantaggiosa con tutte le altre categorie dell'area tecnica.

Ci siamo confrontati a lungo in questi mesi, seduti agli stessi tavoli, spinti da una certezza che ormai sentiamo tutti sulla nostra pelle: la fragilità del territorio pugliese non ci permette più di lavorare a compartimenti stagni. Serve fare squadra davvero, unendo il mondo della ricerca e quello della professione. È nato proprio da questa urgenza l'accordo quadro che abbiamo siglato tra il nostro Ordine e il Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell'Università di Bari Aldo Moro (DISTEGEO). Ci siamo visti lo scorso 4 marzo nell'Aula Magna del Dipartimento per mettere tutto nero su bianco. A firmare il documento c'erano il Rettore, il professor Roberto Bellotti, il Direttore del DISTEGEO, il professor Giuseppe Mastronuzzi, e la rappresentanza del nostro Ordine. L'emozione più grande è stata farlo davanti a una sala viva e piena: c'erano i nostri colleghi geologi, tantissimi studenti e i giornalisti, tutti testimoni di questo passo fondamentale. Grazie a questo accordo, i futuri geologi potranno beneficiare di tirocini mirati, visite tecniche guidate e tesi di laurea sviluppate su temi concreti e operativi, suggeriti direttamente da chi vive quotidianamente il cantiere e lo studio professionale. Parallelamente, la voce dell'Ordine

entrerà ufficialmente nelle aule universitarie: colleghi iscritti all'Albo di comprovata esperienza terranno seminari cruciali sulla deontologia, l'etica e la tutela delle competenze che la legge riconosce alla nostra figura.

A rafforzare la nostra presenza sul campo, il 19 febbraio scorso è stato riattivato il C.A.R. (Coordinamento per le Attività Regionali Puglia) della Struttura Tecnica Nazionale. L'organismo in questione fungerà da punto di raccordo operativo tra gli ordini professionali di natura tecnica, tra cui ingegneri, architetti, geologi e geometri, e il sistema regionale della Protezione Civile. Avrà il compito principale di coordinare e formare i professionisti in situazioni di emergenza per interventi mirati, concentrandosi in particolare sulla fase cruciale della valutazione dell'agibilità di edifici e infrastrutture dopo eventi calamitosi. In questo ambito, la geologia non può più essere vista come una disciplina statica o limitata. Si propone invece come una scienza dinamica e indispensabile, un vero e proprio asse portante della società contemporanea.

Oggi ci rendiamo conto, sulla nostra pelle, di quanto il nostro mestiere sia diventato decisivo. Siamo noi a dover indicare la strada di fronte a sfide enormi: accompagnare la transizione ecologica, difendere i nostri paesi dalla furia della natura, proteggere un bene prezioso come l'acqua e ripensare, finalmente con buon senso, il modo in cui pianifichiamo il territorio in cui viviamo.

Ecco perché, in questi ultimi dodici mesi, ci siamo rimboccati le maniche. Il nostro chiodo fisso è stato far sì che l'Ordine non fosse solo un ente burocratico, ma diventasse una voce forte, un faro ascoltato e rispettato da chi governa e da chi fa informazione. E non ci è bastato andare in televisione o sui giornali nazionali a ripetere, fino a perdere la voce, che la prevenzione non è uno slogan da salotto, ma l'unica vera salvezza nella nostra vita di tutti i giorni. Siamo andati oltre:





ci hanno chiamati a sedere proprio a quei tavoli istituzionali dove si prendono le decisioni che contano. E lì, carte alla mano, abbiamo fatto pesare tutto il valore e la concretezza del nostro bagaglio tecnico. Tra gli interventi più significativi, ci teniamo a ricordare:

- l'audizione del 4 febbraio nella Sala Consiliare della Provincia di Lecce. In quella sede abbiamo portato il nostro supporto tecnico su un tema vitale: "Misure per contrastare il fenomeno dell'erosione costiera - proposte operative";
- la partecipazione, il 12 marzo, alla seduta della V Commissione Consiliare nell'Aula delle Adunanze del Consiglio Regionale, per entrare nel merito della gestione dell'erosione costiera e affrontare le sempre urgenti problematiche legate al dissesto idrogeologico;
- l'audizione nella seduta congiunta delle Commissioni IV e V, tenutasi il 18 marzo nel Palazzo del Consiglio Regionale. In quell'occasione abbiamo sviscerato il Disegno di legge n. 31 del 10 marzo 2026. Parliamo dell'individuazione delle aree destinate agli impianti a fonti rinnovabili (un passaggio cruciale legato all'art. 11-bis del D.Lgs. 190/2024 e ai regimi previsti dalla legge 118/2022). Una tematica tecnicamente complessa, ma decisiva per l'assetto del nostro territorio nei prossimi anni.

Ogni volta che ci sediamo a quei tavoli, abbiamo in mente un solo, grande obiettivo: ridare il giusto peso alla nostra professione. Vogliamo che chiunque, dal sindaco all'imprenditore privato, capisca una cosa molto semplice: fare a meno delle competenze di un geologo è un azzardo che oggi nessuno può più permettersi. Rivendicare il nostro spazio significa mettere nelle mani di chi ci governa l'unico strumento valido per pianificare il territorio in modo serio. È la sola strada per smettere di rincorrere perennemente le emergenze e iniziare a costruire comunità sicure per davvero, capaci di resistere e rialzarsi nel tempo. Tutto questo, però, ci impone di guardare sempre avanti, puntando con forza sull'innovazione e sulla formazione. Vi chiedo uno sforzo: smettiamo di vedere l'aggiornamento professionale come una tassa da pagare o una noiosa scartoffia burocratica da smaltire a fine

anno. L'aggiornamento è la nostra linfa vitale, è il motore che fa andare avanti il nostro lavoro. Proprio per questo stiamo spingendo al massimo su percorsi formativi moderni, agganciati alle nuove tecnologie e a leggi che cambiano in continuazione. Vogliamo mettere nella "cassetta degli attrezzi" di ogni singolo iscritto gli strumenti giusti per non farsi trovare mai impreparati di fronte a un mondo che corre velocissimo. In fondo, non dimentichiamolo mai, la nostra vera forza siamo noi: liberi professionisti che masticano la polvere dei cantieri, funzionari pubblici, docenti, ricercatrici e ricercatori. Siamo un patrimonio enorme di intelligenze e storie diverse, tutte ugualmente preziose e tutte pronte a fare la differenza là fuori, al servizio della gente. Un mosaico straordinario di talenti che ha bisogno di lavorare in sintonia, integrandosi alla perfezione con l'intero mondo scientifico. Facciamo parte di una grande comunità allargata di tecnici e scienziati, e all'interno di questa rete ognuno è chiamato a fare la propria parte offrendo il proprio contributo.

Per questo, insieme ai coordinatori scientifici della rivista "Geologi e Territorio", abbiamo deciso di inaugurare una nuova sezione metodologico-didascalica. In questo spazio presenteremo casi di studio reali o esempi costruiti ad hoc per illustrare come affrontare tecnicamente le complessità della nostra professione: dal dissesto geo-idrologico alla gestione dei rifiuti e alle bonifiche di siti inquinati, dalla ricerca idrica alla geofisica applicata, dalla pianificazione energetica alla geologia applicata alle costruzioni e alle attività estrattive. È fondamentale che tutta la categoria si senta parte attiva di questo progetto, condividendo esperienze e competenze per alimentare la crescita collettiva. Vi invito quindi nuovamente a partecipare con vigore alla vita della nostra rivista, certo che il confronto tecnico sia la chiave per elevare i nostri standard qualitativi.

Ringraziandovi per i suggerimenti e le critiche costruttive che vorrete farci pervenire, vi auguro un buon proseguimento di lavoro.

IL PRESIDENTE
Giovanni Caputo



CHIMILAB

LABORATORIO DI ANALISI CHIMICHE



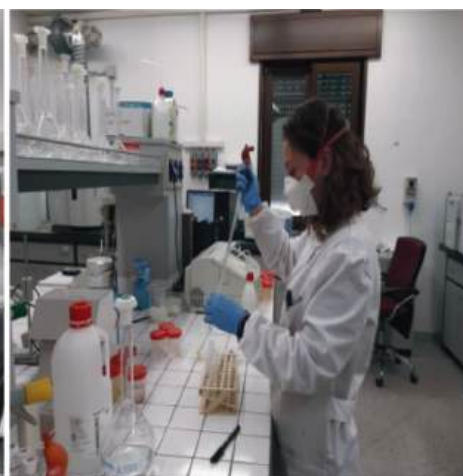
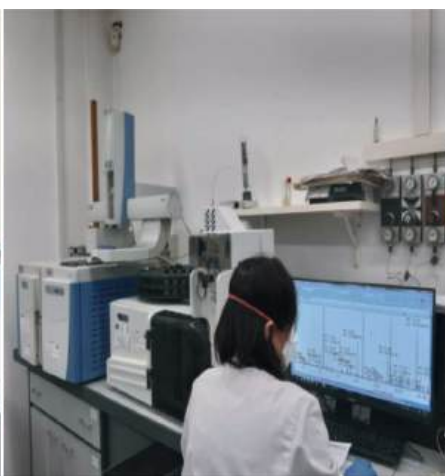
Lab n° 1750L

Membro degli Accordi di Mutuo Riconoscimento
EA, IAF E ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC
Mutual Recognition Agreements

Laboratorio autorizzato dal Ministero della Salute
ad eseguire analisi su materiali contenenti amianto
con codice n° 323 PUG 16

**LABORATORIO DI ANALISI CHIMICHE FISICHE E BATTERIOLOGICHE
ACQUA - ARIA - TERRENI - RIFIUTI - FANGHI - AMIANTO - RADON - RUMORI**



CHIMILAB S.R.L. è inoltre società di consulenza su varie tematiche ambientali

Siti inquinati: piani di caratterizzazione monitoraggio, analisi del suolo

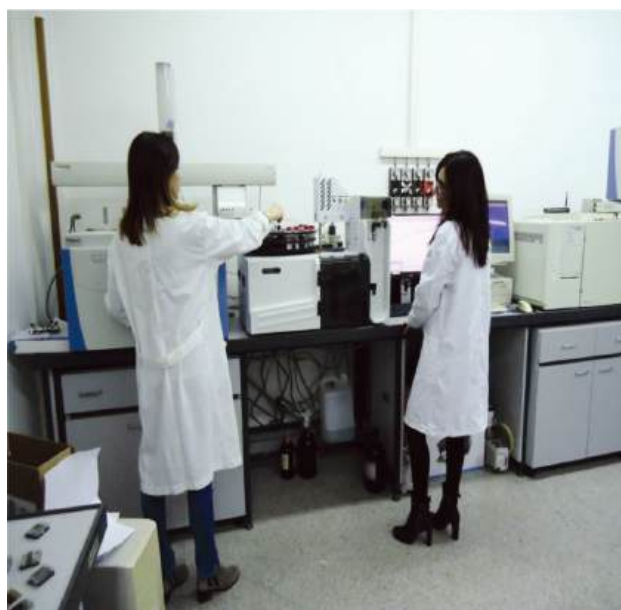
Valutazione d'impatto delle emissioni in Atmosfera

Studio di dispersione degli inquinanti con modello tridimensionale tipo CALPUFF

Valutazione previsionale di Impatto Acustico

Piani Monitoraggio ambientali sulle matrici acqua, aria e suolo

Campionamenti ambientali ed in condotto



Sede legale: Viale Degli Artigiani, 13 - 73049 Ruffano (LE)
Sede operativa: Via F.lli Bandiera, 10 - 73042 Casarano (LE)
Mail: amministrazione@chimilabsrl.eu · laboratorio@chimilabsrl.eu
Tel. e fax: 0833.1857699 · PI 05079940754
Pec: chimilab.srl@legalmail.it
Sito web: www.chimilabsrl.eu



GEOPROVE

S.R.L.

LABORATORIO MATERIALI DA COSTRUZIONE • LABORATORIO TERRE E ROCCE
INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE



Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su materiali da costruzione DM 275 del 12 giugno 2018.

Autorizzazione ministeriale ad effettuare e certificare prove su terre, rocce e prove in sito DM 278 del 14 giugno 2018.



GEOPROVE S.R.L. P. IVA 03940580750 • Capitale Sociale € 500.000,00 • Iscrizione alla CCIAA 255978

Sede Legale e Laboratorio Terre e Rocce Via Il Giugno 2, 73049 Ruffano (LE) • Laboratorio Materiali Via Benedetto Falcone snc ZI 73049 Ruffano (LE) •

Unità Locale Via Olanda, Zona Industriale Surbo, 73010 Lecce (LE) • Telefono e Fax 0833 692992 • Cell. 329 359 9093 | www.geoprove.eu • info@geoprove.eu