

# GEOLOGI e TERRITORIO

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

ISSN: 1974-1189

**VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ GEOMORFOLOGICA DI UNA PORZIONE DEL CENTRO  
STORICO DI PIETRAMONTECORVINO (FG) FINALIZZATA ALLA REVISIONE  
DEL SUO GRADO DI PERICOLOSITÀ NEL P.A.I. - PUGLIA**

**Giovanni Bruno, Nicola Piacquadio**

**IL BACINO DI ACQUATINA (FRIGOLE, LECCE),  
OPPORTUNITÀ DI RICERCA SUI SINKHOLE  
E IMPLICAZIONI ECOLOGICHE**

**Stefano Margiotta, Mario Parise,  
Francesco Marco D'Onghia, Sergio Fai,  
Gabriele Marini, Maurizio Pinna**





# Centro Analisi Ambientali S.r.l.



Laboratorio di Ricerca e Analisi Chimiche  
Fisiche e Batteriologiche - Acqua - Aria - Terreni  
Rifiuti - Fanghi - Amianto - Radon - Rumori

**20 anni di attività professionale effettuata con impegno  
nella ricerca, controllo ed analisi ambientali**



**Centro Analisi Ambientali è inoltre Società di consulenza su varie tematiche ambientali:**

- Siti inquinati: piani di caratterizzazione, monitoraggio, analisi del suolo; in Atmosfera;
- Valutazione di impatto delle Emissioni in Atmosfera;
- Studio di Dispersione degli Inquinanti con modello tridimensionale tipo CALPUFF;
- Valutazione Previsionale di Impatto Acustico, definizione della mappa di rumorosità secondo le norme ISO 1996/1, 1996/2, 9613/2;
- Piani di Monitoraggio ambientale sulle matrici acqua, aria e suolo;
- Valutazioni ambientali: VIA - VAS - AUA - AIA;
- Campionamenti ambientali ed in condotto.



**Preventivi gratuiti e personalizzati  
Sconti particolari ai geologi.**



**Centro Analisi Ambientali S.r.l.**

Via F.lli Bandiera ang. G. Tell - 73042 Casarano (LE) - tel/fax 0833 513525  
www.centroanalisiambientali.com e-mail: amministrazione@centroanalisiambientali.com  
Cod. Fisc. e P.I. 03208850754

## GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale  
dei Geologi - Puglia  
Anno XVII - n. 1/2020

*Direttore editoriale:*  
Valletta Salvatore

*Direttore responsabile:*  
Alfarano Espedito

*Comitato di redazione:*  
Amedei Giovanna, Dibenedetto Michele,  
De Razza Tiziana, Bonora Davide,  
d'Amico Nicola A., Ieva Maria Costantina,  
Quarta Giovanni, Tanzarella Vincenzo,  
Valletta Salvatore

*Comitato scientifico:*  
Baldassarre Giuseppe, Borri Dino,  
Bruno Giovanni, Capolongo Domenico,  
Cotecchia Federica, Del Gaudio Vincenzo,  
Dellino Pierfrancesco, Di Fazio Antonio,  
Fornelli Annamaria, Gallicchio Salvatore,  
Leucci Giovanni, Monterisi Luigi,  
Negri Sergio, Pagliarulo Rosa,  
Paglionico Antonio, Polemio Maurizio,  
Ricchetti Giustino, Sabato Luisa, Sansò Paolo,  
Santaloia Francesca, Simeone Vincenzo,  
Spilotro Giuseppe, Walsh Nicola

*Coordinamento scientifico:*  
Quarta Giovanni, Valletta Salvatore

*Segreteria di redazione:*  
Ieva Maria Costantina, Spizzico Silvio

*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 30 giugno 2020

## SOMMARIO

2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia  
*Salvatore Valletta*

3

VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ  
GEOMORFOLOGICA DI UNA PORZIONE  
DEL CENTRO STORICO  
DI PIETRAMONTECORVINO (FG)  
FINALIZZATA ALLA REVISIONE DEL SUO  
GRADO DI PERICOLOSITÀ NEL P.A.I. - PUGLIA  
*Giovanni Bruno, Nicola Piacquadio*

17

IL BACINO DI ACQUATINA (FRIGOLE, LECCE),  
OPPORTUNITÀ DI RICERCA SUI SINKHOLE  
E IMPLICAZIONI ECOLOGICHE  
*Stefano Margiotta, Mario Parise,  
Francesco Marco D'Onghia, Sergio Fai,  
Gabriele Marini, Maurizio Pinna*

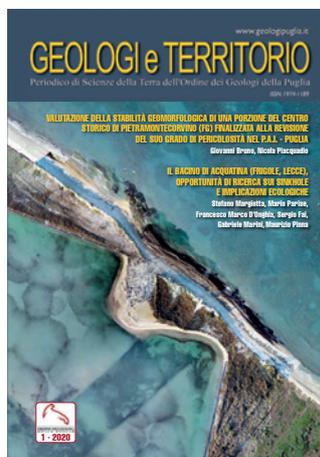


Foto di copertina:  
Rilievo fotogrammetrico con drone  
del bacino di Acquatina (Frigole, Lecce).  
Di Sergio Fai

*Ci lasciamo alle spalle una strana quanto singolare primavera 2020. L'emergenza epidemiologica da COVID-19 ha messo a dura prova il mondo delle professioni e gli atti normativi, varati dal Governo per contrastare l'emergenza, hanno previsto solo in via marginale misure a sostegno dei liberi professionisti. Il "Decreto Rilancio" esclude al momento l'accesso dei liberi professionisti, iscritti ad un ente di diritto privato di previdenza obbligatoria, al contributo a fondo perduto istituito ai sensi dell'art. 25 del medesimo decreto. Una vera e propria discriminazione nei confronti dei professionisti che ha visto la Rete delle Professioni Tecniche richiedere la revisione della norma prevedendo tra i beneficiari i professionisti iscritti alle Casse di previdenza.*

*Rilevante importanza dovrebbero rivestire le azioni volte a correggere la curvatura delle norme finalizzate ad estendere i benefici fiscali alle opere per il risparmio energetico degli edifici e a quelle per la messa in sicurezza degli stessi in chiave anti-sismica attraverso l'avvio di un vero e proprio Piano Nazionale di Prevenzione antisismica.*

*L'appuntamento dello scorso 4 giugno con gli Stati Generali delle Professioni italiane, che interessa circa 2,3 milioni di professionisti, è stato un importante momento di rivendicazione del ruolo economico e sociale svolto dal mondo delle professioni. I geologi rappresentano un anello tra i più delicati nella filiera delle professioni che dovrebbe trovare la giusta forza nella difesa del territorio interessato da molteplici rischi geologici, da quello idrogeologico a quello ambientale e sismico.*

*Abbiamo salutato favorevolmente, dopo tanti anni, la ripresa dei finanziamenti per la cartografia geologica (ricordiamo che la Puglia è scoperta di nuova cartografia al 50.000 per circa l'80% del territorio) ed in particolare del foglio Taranto, area verso la quale si stanno concentrando enormi interventi volti al recupero e alla valorizzazione ambientale. Siamo consapevoli che l'aggiornamento dei fogli geologici rappresenta uno strumento fondamentale per la valutazione delle pericolosità geologiche, senza le quali non si può procedere alla corretta messa in sicurezza dei territori. Sappiamo che questo potrà avvenire solo attraverso il coinvolgimento attivo delle elevate competenze dei geologi professionisti.*

*Recentemente l'Ordine è intervenuto con un comunicato stampa esprimendo preoccupazione per la situazione idrogeologica che si sta determinando in Puglia con la crisi idrica e i pericoli legati allo sfruttamento abusivo della risorsa, promuovendo l'uso parsimonioso e sostenibile del bene acqua nel suo complesso. Ancora una volta, abbiamo inteso evidenziare l'importante contributo che i professionisti geologi possono apportare alla corretta gestione delle acque sotterranee, accogliendo favorevolmente il recente avvio, da parte della Regione Puglia, delle procedure di informatizzazione dei procedimenti riguardanti le nuove istanze di derivazioni di acque pubbliche mediante specifica piattaforma telematica, e, allo stesso tempo, sollecitando una maggiore attenzione su tutti i pozzi oggetto di precedenti sanatorie, il cui iter amministrativo non ha previsto l'indispensabile relazione idrogeologica.*

*In questo numero della rivista è doveroso pubblicare un ricordo del Prof. Vincenzo Cotecchia, iscritto al nostro Albo, pioniere della Geologia Applicata e autore di innumerevoli pubblicazioni sulla idrogeologia pugliese.*

Bari, giugno 2020

Salvatore Valletta

# VALUTAZIONE DELLA STABILITÀ GEOMORFOLOGICA DI UNA PORZIONE DEL CENTRO STORICO DI PIETRAMONTECORVINO (FG) FINALIZZATA ALLA REVISIONE DEL SUO GRADO DI PERICOLOSITÀ NEL P.A.I. - PUGLIA

Giovanni Bruno<sup>1</sup>, Nicola Piacquadio<sup>2</sup>

<sup>1</sup>DICATECh - Politecnico di Bari - Iscritto ORG Puglia, n. 181ES (giovanni.bruno@poliba.it)

<sup>2</sup>Libero Professionista - Iscritto ORG Puglia, n. 378 (nicpiac@tiscali.it)

## RIASSUNTO

Il territorio comunale dei centri abitati dell'Appennino Dauno è notoriamente interessato da estesi e reiterati fenomeni di dissesto idrogeologico per frana. La predisposizione al dissesto trova fondamento nell'orografia montuosa dell'area e, soprattutto, nelle peculiarità strutturali e geologico-tecniche delle rocce ivi presenti. Anche il territorio di Pietramontecorvino non fa eccezione e un'ampia porzione del centro abitato è stata classificata come PG2 e PG3 nel Piano dell'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale (ex Autorità di Bacino della Puglia). Grazie all'opportunità offerta da un progetto per lavori di restauro e risanamento conservativo di un fabbricato, ubicato alla sommità di un versante al margine Sud-Est dell'area a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3), è stato possibile eseguire ulteriori indagini dirette e indirette, sia in sito che in laboratorio, le quali hanno consentito di integrare il quadro conoscitivo del territorio in esame e, soprattutto, delle caratteristiche fisico-meccaniche delle Arenarie ivi affioranti. Dai rilievi di dettaglio eseguiti è emerso che l'area studiata non presenta fenomeni gravitativi in atto; inoltre le evidenze geomorfologiche, geolitologiche e le caratteristiche geotecniche delle rocce affioranti rendono improbabile l'instaurarsi di fenomeni gravitativi, pertanto la classe PG3 di pericolosità attribuita nel P.A.I. sembrerebbe non corrispondere alle reali condizioni di stabilità dell'area.

Sulla base di questi presupposti, quindi, si è eseguito uno studio per la valutazione della stabilità dei versanti che delimitano il centro storico dell'abitato, finalizzato ad individuare una metodologia per una più coerente perimetrazione delle aree a pericolosità geomorfologica per frana e stabilire se il grado di pericolosità sia effettivamente così elevato o se, viceversa, si possa avanzare una proposta di revisione all'autorità competente per una sua riduzione. Dai risultati delle verifiche di stabilità su 30000 possibili superfici di frana, eseguite su una maglia di otto sezioni che coprono un'area di circa 10.000 m<sup>2</sup>, in condizioni statiche e in presenza di sisma, si evince che i fattori di sicurezza ottenuti per tale porzione del centro abitato sono tutti ben superiori all'equilibrio limite e ampiamente cautelativi. Tuttavia, tenuto conto dell'elevata pericolosità geomorfologica che l'area presenta nel P.A.I. e che attualmente il Comune di Pietramontecorvino ha avviato la procedura per la formazione del Piano Ur-

banistico Generale (PUG), si è ritenuto utile ricavare ed applicare una metodologia per una nuova perimetrazione dell'area che presenterebbe la maggiore propensione al dissesto per frana. Sulla scorta di tale perimetrazione l'area andrebbe riclassificata nel P.A.I. e, in tal senso, si suggeriscono due diverse modalità alternative.

*Parole Chiave: Stabilità versante, Rischio geomorfologico, P.A.I.-Puglia*

## 1. INTRODUZIONE

La porzione di centro storico dell'abitato di Pietramontecorvino (FG) che comprende edifici storici di pregio quali la Chieda Madre, il Palazzo Ducale e la Torre, ricade in un'area classificata a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3) nel P.A.I. dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale. Allo stato attuale tale vincolo inibisce tutta una serie di interventi sugli edifici esistenti, fosse anche solo la riclassificazione delle unità immobiliari, impedendone quindi il loro miglioramento e la fruibilità. In occasione di un progetto per lavori di restauro e risanamento conservativo di un fabbricato, ubicato alla sommità di un versante al margine Sud-Est dell'area a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3), si è eseguito uno studio per la valutazione della stabilità dei versanti che delimitano il centro storico dell'abitato, con la finalità di stabilire se il grado di pericolosità sia effettivamente così elevato o se, viceversa, si possa avanzare una proposta di revisione all'autorità competente per una sua riduzione.

Lo studio, che si è avvalso del materiale bibliografico esistente e di pregresse indagini in situ e in laboratorio, è stato condotto mediante approfondite indagini in situ, prelievo di campioni di roccia per la definizione in laboratorio delle loro caratteristiche fisico-meccaniche e verifiche di stabilità dei versanti, sia in condizioni statiche che dinamiche, con un software di calcolo che ha consentito di tener conto dei sovraccarichi dell'edificato esistente e della presenza di una sia pur effimera falda idrica.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

Il Comune di Pietramontecorvino, come tanti altri comuni dell'Appennino Dauno, rientra in un dominio geologico-strutturale nel quale sono state riconosciute due fasce allungate circa NNW-SSE, una occidentale (Catena

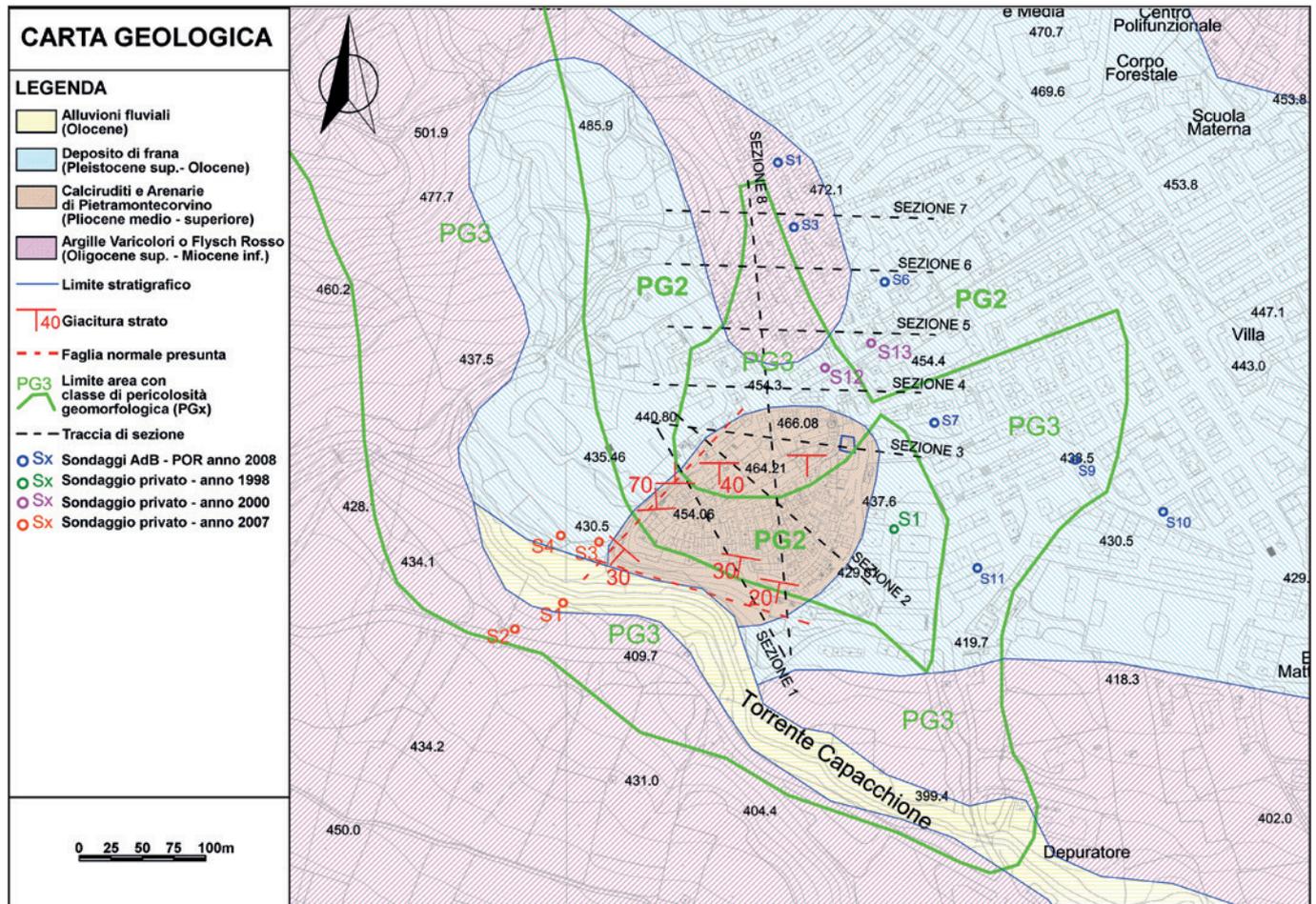


Figura 1 - Carta geologica dell'area del centro storico di Pietramontecorvino con perimetrazione delle attuali aree a pericolosità geomorfologica PG2-PG3 (P.A.I.-Puglia).

Appenninica) ed una orientale (Avanfossa Bradanica), diverse per caratteri sia litostratigrafici che morfo-strutturali (Dazzaro L. & Rapisardi L., 1984).

L'area in studio, interessa il centro storico cioè la porzione centro-meridionale dell'abitato di Pietramontecorvino il cui territorio è interessato dall'affioramento delle successioni sedimentarie più esterne della Catena Appenninica, significativamente deformate da strutture tettoniche (Fig. 1). La restante parte del territorio comunale è ubicato nella parte più occidentale dell'Avanfossa Bradanica ed è caratterizzata dalla presenza di una successione sedimentaria, prevalentemente pelitico-arenacea, tettonicamente poco deformata.

Nel dettaglio, la successione stratigrafica affiorante, in ordine cronostratigrafico dal termine più recente al più antico, è costituita dai seguenti litotipi:

#### Alluvioni fluviali (Olocene)

Costituiscono il sedimento di riempimento del fondo valle del Torrente Capacchione e della maggior parte delle incisioni torrentizie presenti nell'area. Si tratta di depositi prevalentemente sabbiosi con livelli e/o lenti di ghiaie, ciottolame e crostoni calcarei. Spesso questi depositi costituiscono acquiferi caratterizzati dalla presenza di

falde a pelo libero la cui base impermeabile è rappresentata dalle Argille Varicolori e, in altre aree, dalle Argille Subappennine.

#### Deposito di frana (Pleistocene Sup. - Olocene)

Questo litotipo affiora nella porzione centrale dell'area in studio e la sua genesi è dovuta ai numerosi e reiterati movimenti franosi che hanno interessato e ancora oggi interessano questa porzione dell'Appennino Dauno. Si tratta di accumuli gravitativi di sedimenti ad assetto caotico, a prevalente componente pelitica e con numerosi elementi lapidei, derivanti dagli affioramenti di Argille Varicolori e Arenarie di Pietramontecorvino che sono stati coinvolti nei movimenti franosi.

#### Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino (Pliocene medio-superiore)

L'Unità delle Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino (Pieri P. *et al.*, 2011) affiora nel settore più orientale dell'Appennino Dauno e presenta caratteri litologici variabili prevalentemente dovuti alla sua deposizione, in condizioni sin-tettoniche, durante le fasi tettoniche terminali che hanno interessato la Catena Appenninica. Si tratta di un litotipo, già rilevato e cartografato in lavo-

ri precedenti, che è stato attribuito alla Formazione del Flysch di Faeto, del Miocene medio-sup. (Dazzaro L. *et al.*, 1988; Zezza F. *et al.*, 1994). Nell'area di Alberona l'unità è costituita da calcareniti e calciruditi, mentre nel Comune di Pietramontecorvino è rappresentata essenzialmente da arenarie, poggianti in discordanza sui depositi della Catena Appenninica ed in particolare sulle Argille Varicolori (Flysch Rosso), che non presentano l'alternanza ritmica con marne e argille marnose biancastre distintiva del Flysch di Faeto. L'affioramento arenaceo costituisce una piastra rocciosa che funge da substrato di fondazione nella zona del centro storico dell'abitato di Pietramontecorvino. Il litotipo è dato da arenarie quarzose, ben selezionate dal punto di vista tessiturale, di colore giallastro con stratificazione non ben distinguibile, in banchi di spessore variabile di ordine metrico. La giacitura degli strati immerge mediamente verso SSW con un'inclinazione variabile dai 20°-40°; unica eccezione a quest'assetto sono le due giaciture rilevate nel bordo occidentale dell'affioramento che immergono verso Nord con un'inclinazione di 70° e che sono da imputare a locali meccanismi di rotazione degli strati per la presenza di una faglia. La formazione è di origine marina, ha uno spessore massimo di circa 40 m, e potrebbe essere databile al Pliocene medio-sup. sulla base del rinvenimento di alcuni fossili di lamellibranchi (Fig. 2).

#### Argille Varicolori o Flysch Rosso (Oligo-Miocene)

Argilliti e marne di colore rossastro (subordinatamente verde e grigio), fortemente tettonizzate e spesso con struttura scagliosa, cui si intercalano diaspri, calcareniti e calciruditi; l'età della formazione è oligocenico-aquitana. Nella fascia orientale dell'Appennino Dauno, in cui ricade il territorio di Pietramontecorvino, queste argille differiscono da quelle della fascia occidentale per la minore presenza di livelli calcarenitici, per l'assenza di calciruditi e, soprattutto, per il fatto che nella loro parte alta, si rinvengono livelli di argille bentonitiche che ne costituiscono il membro superiore (Servizio Geologico

d'Italia, 1964; Dazzaro L. & Rapisardi L., 1982; Zezza F. *et al.*, 1994; Bruno G. *et al.*, 1992).

#### 3. ASPETTI MORFO-TETTONICI

Dal punto dell'inquadramento tettonico-strutturale regionale, si possono distinguere un settore occidentale (Appennino Dauno), caratterizzato da rilievi abbastanza accidentati con assi allungati in direzione N-S, ed un settore orientale (sistema Avanfossa-Avampaese) costituito da un vasto pianoro dove affiorano i depositi Plio-pleistocenici marini e quelli continentali terrazzati.

Nel settore occidentale si individuano essenzialmente strutture compressive a vergenza adriatica che hanno determinato l'accavallamento delle successioni occidentali su quelle orientali. Possiamo distinguere, per il loro significato regionale, due fronti di sovraccorrimiento: uno all'interno della Catena, ad Est dell'abitato di Celenza Valfortore; l'altro ad Est degli abitati di Castelnuovo della Daunia, Casalvecchio di Puglia e Pietramontecorvino. Il primo fronte, determina la sovrapposizione delle Argille Varicolori o Flysch Rosso e delle sovrastanti formazioni (Flysch di S. Bartolomeo e Marne argillose del Topo Capuana) sul Flysch di Faeto. Il secondo fronte rappresenta, invece, il margine affiorante della Catena Appenninica e segna il limite tra l'alloctono e i depositi Plio-pleistocenici dell'Avanfossa Bradanica. Esso si colloca circa due chilometri ad Est dell'area in studio ed è costituito da un sistema di faglie prevalentemente inverse con direzione mediamente Nord-Sud.

Il settore orientale, invece, quello in cui affiorano estesamente le unità Plio-pleistoceniche, ha seguito i movimenti tettonici distensivi del substrato carbonatico; tali movimenti hanno prodotto un generalizzato innalzamento dell'area determinandone un assetto monoclinale con immersione verso E-NE ed inclinazione al massimo di circa 15°.

Per quanto riguarda, nel dettaglio, le evidenze tettoniche presenti nell'area di studio, oltre al generalizzato stato di scagliettatura e tettonizzazione delle Argille Varicolori



Figura 2 - Fossili di lamellibranchi rinvenuti nell'Arenaria di Pietramontecorvino: a) Cardium; b) Panopea Glycimeris.



Figura 3 - Faglie normali presunte che interessano le arenarie nell'area del centro storico di Pietramontecorvino: a) Locale interrato lungo Via Laudano; b) Versante Sud del Rione Terravecchia.

si segnala la presenza di due faglie intraformazionali che interessano il margine Ovest e Sud-Est dell'affioramento delle Arenarie Pietramontecorvino (Fig. 1). Considerato l'alto angolo d'inclinazione dei piani di faglia e in assenza di più precisi elementi cinematici, le stesse vengono classificate come normali (Fig. 3).

4. CENNI IDROGEOLOGICI

Dal punto di vista idrogeologico, i terreni affioranti possono essere considerati in via generale da impermeabili per porosità a poco permeabili o permeabili per porosità e/o per fratturazione. Infatti, le Argille Varicolori sono generalmente impermeabili ma a luoghi possono crearsi delle circolazioni idriche locali per via della presenza di strato lapidei intensamente fratturati ed a varie profondità. Per quanto riguarda invece le Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino, essendo variabile il grado di cementazione, all'interno dell'ammasso arenaceo di creano zone a differente grado di permeabilità e quindi con cir-

colazioni idriche difficilmente schematizzabili ed a quote dal piano campagna variabili da luogo a luogo. Nelle aree in cui affiorano le argille varicolori, il livello idrico è stato individuato a profondità variabile dai 2 metri ai 10 metri dal piano campagna.

5. LA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA DELL'AREA E LA SUA CLASSIFICAZIONE NEL PIANO STRALCIO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (P.A.I.) DELLA PUGLIA

L'Appennino Dauno è notoriamente caratterizzato da un territorio che, per le sue caratteristiche geologico-strutturali e le condizioni meteo-climatiche, è fortemente soggetto alla pericolosità geomorfologica per frana. Data l'estensione e il reiterarsi dei fenomeni franosi che sovente hanno interessato anche alcune porzioni dei centri abitati dauni e, a volte, hanno temporaneamente interrotto le vie di comunicazione ivi presenti, quest'area è stata oggetto di numerosi studi e ricerche volti non solo

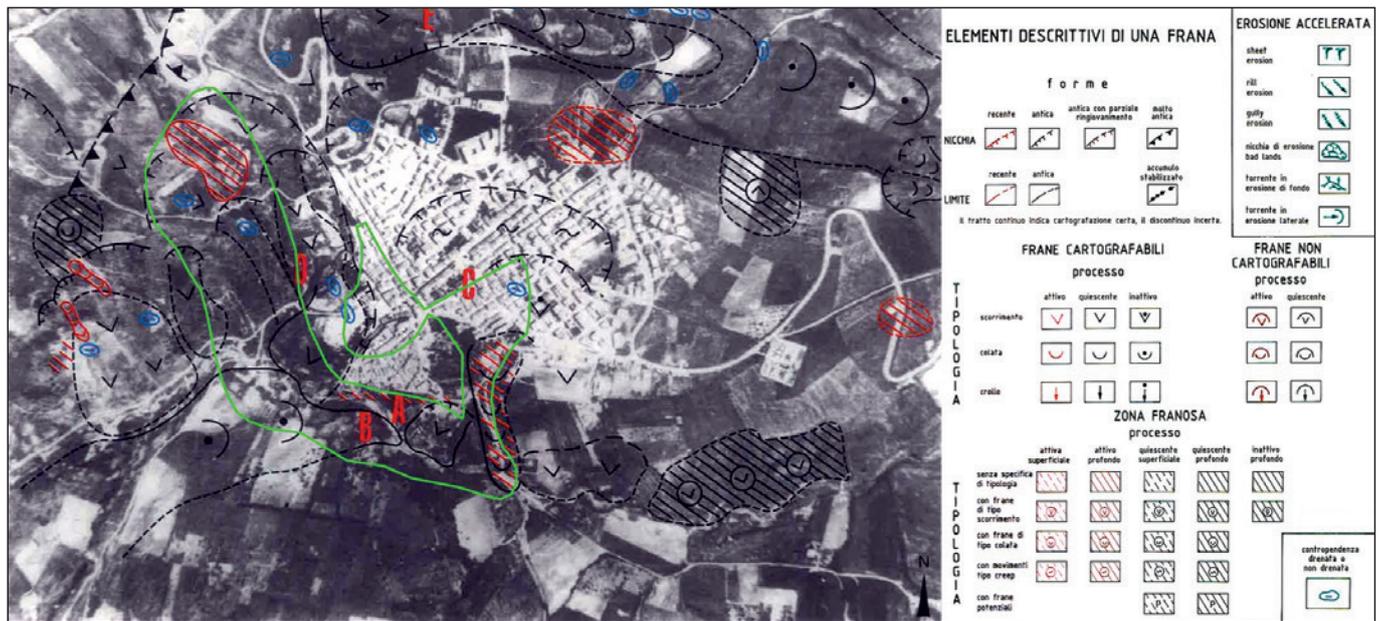


Figura 4 - Evidenze di fenomeni franosi progressi lungo le pendici dell'abitato di Pietramontecorvino (da: Zezza F. et al., 1994).

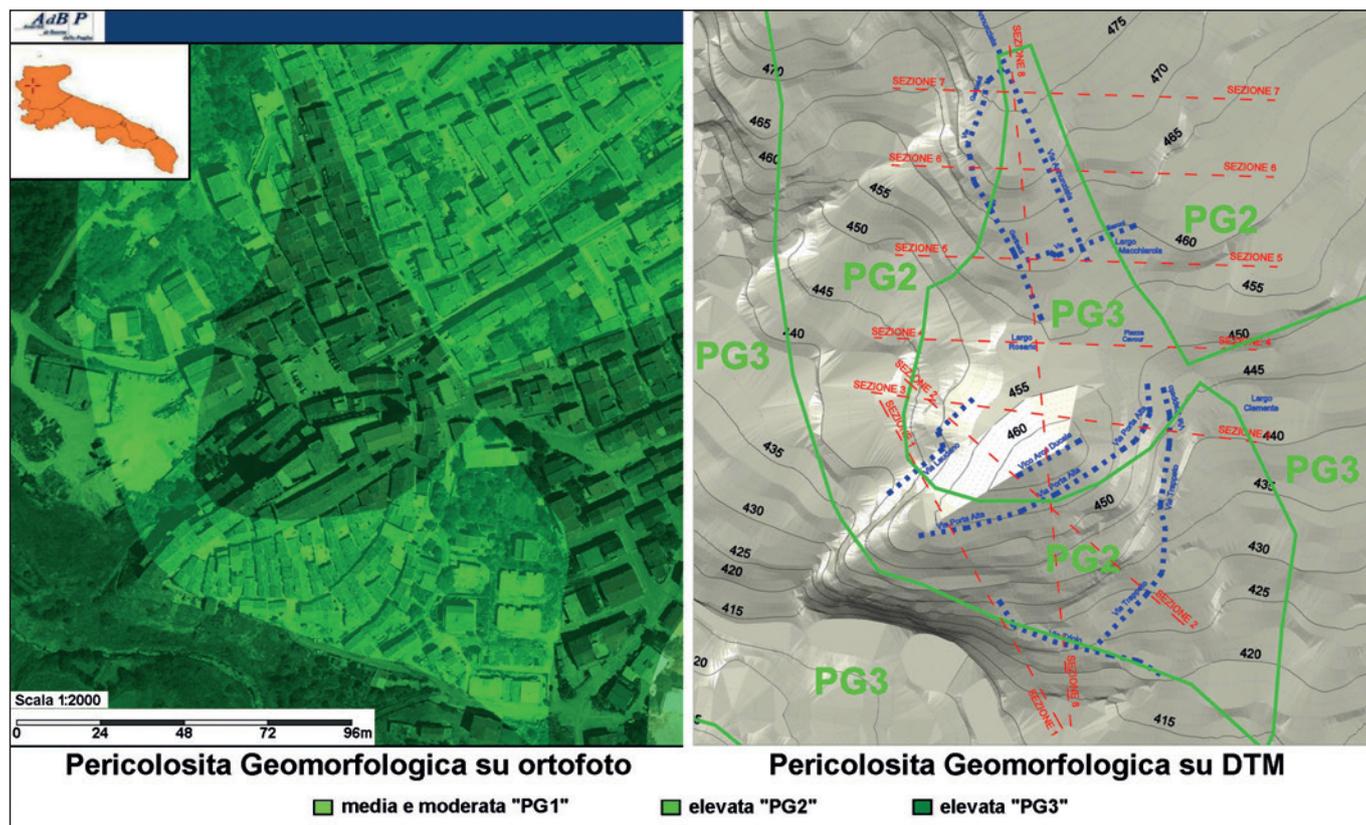


Figura 5 - Perimetrazione P.A.I. dell'area del centro storico di Pietramontecorvino a pericolosità geomorfologica "PG3" e "PG2": su ortofoto (a sinistra); su modello digitale del terreno DTM (a destra).

al censimento, mappatura e catalogazione dei dissesti ma anche alla definizione dei fattori predisponenti e dei meccanismi genetici che li governano (Bruno G. & Pagliarulo R., 1989; Bruno G. *et al.*, 1992a; Bruno G. *et al.*, 1992b; Bruno G. *et al.*, 1994; Iovine G. *et al.*, 1996; Bruno G. *et al.*, 2006).

Questo territorio della regione pugliese è stato anche oggetto di progetti a carattere nazionale quali, rispettivamente, Progetto SCAI (Studio Centri Abitati Instabili) del Gruppo Nazionale Difesa Catastrofi idrogeologiche del CNR (Zezza F. *et al.*, 1994), che ha messo in evidenza la presenza pregressi fenomeni franosi che hanno interessato le pendici dell'abitato di Pietramontecorvino (Fig. 4) e il Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) che costituisce l'attuale banca dati nazionale sulle frane, realizzato da ISPRA in collaborazione con le Regioni e Province Autonome (Pennetta L., 2006).

Attualmente nel P.A.I. (Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico) della Regione Puglia, sulla scorta di indagini in situ, prove di laboratorio e delle evidenze storiche e bibliografiche, un'ampia porzione del centro storico di Pietramontecorvino è classificata e perimetrata come area "PG3" cioè a pericolosità geomorfologica molto elevata (Fig. 5). Inoltre, con l'art. 4, "Delega di Funzioni", della L.R. 19 luglio 2013, n. 19, la Regione ha delegato ai Comuni tutta una serie di competenze relative agli interventi disciplinati dalle NTA (Norme Tecniche Attuative) del P.A.I..

## 6. INDAGINI GEOGNOSTICHE, DETERMINAZIONE DELLE PROPRIETÀ FISICO-MECCANICHE DELLE ROCCE E CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DELL'AREA

### 6.1 indagini geognostiche e caratterizzazione geotecnica delle rocce

Nell'ambito del POR PUGLIA 2000-2006, per conto dell'AdB e finalizzate all'aggiornamento del P.A.I., nell'area sono state eseguite numerose indagini geognostiche indirette e dirette (Fig. 6).

Quelle di interesse, in quanto hanno interessato direttamente o sono prossime all'area del centro abitato di Pietramontecorvino oggetto del presente studio, sono state n. 8 tomografie elettriche; n. 11 prospezioni sismiche a rifrazione down-hole (sondaggi S2, S3, S5, S7, S8, S10, S11); n. 2 sondaggi meccanici a distruzione di nucleo (sondaggi S12, S13) e n. 11 carotaggio continuo (sondaggi S1÷ S11). Inoltre, ai fini della caratterizzazione geotecnica dei litotipi, sono state eseguite prove S.P.T. (Standard Penetration Test) in foro (sondaggi S1, S3, S6, S7) e prelievi di campioni di roccia per la determinazione in laboratorio delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle rocce (sondaggi S3, S6, S7), queste ultime mediante prove di taglio diretto (CD) e di compressione triassiale (CD). Alcuni dei sondaggi meccanici sono stati attrezzati con inclinometri, per poter definire l'entità degli spostamenti degli antichi corpi di frana ivi presenti, altri con piezome-

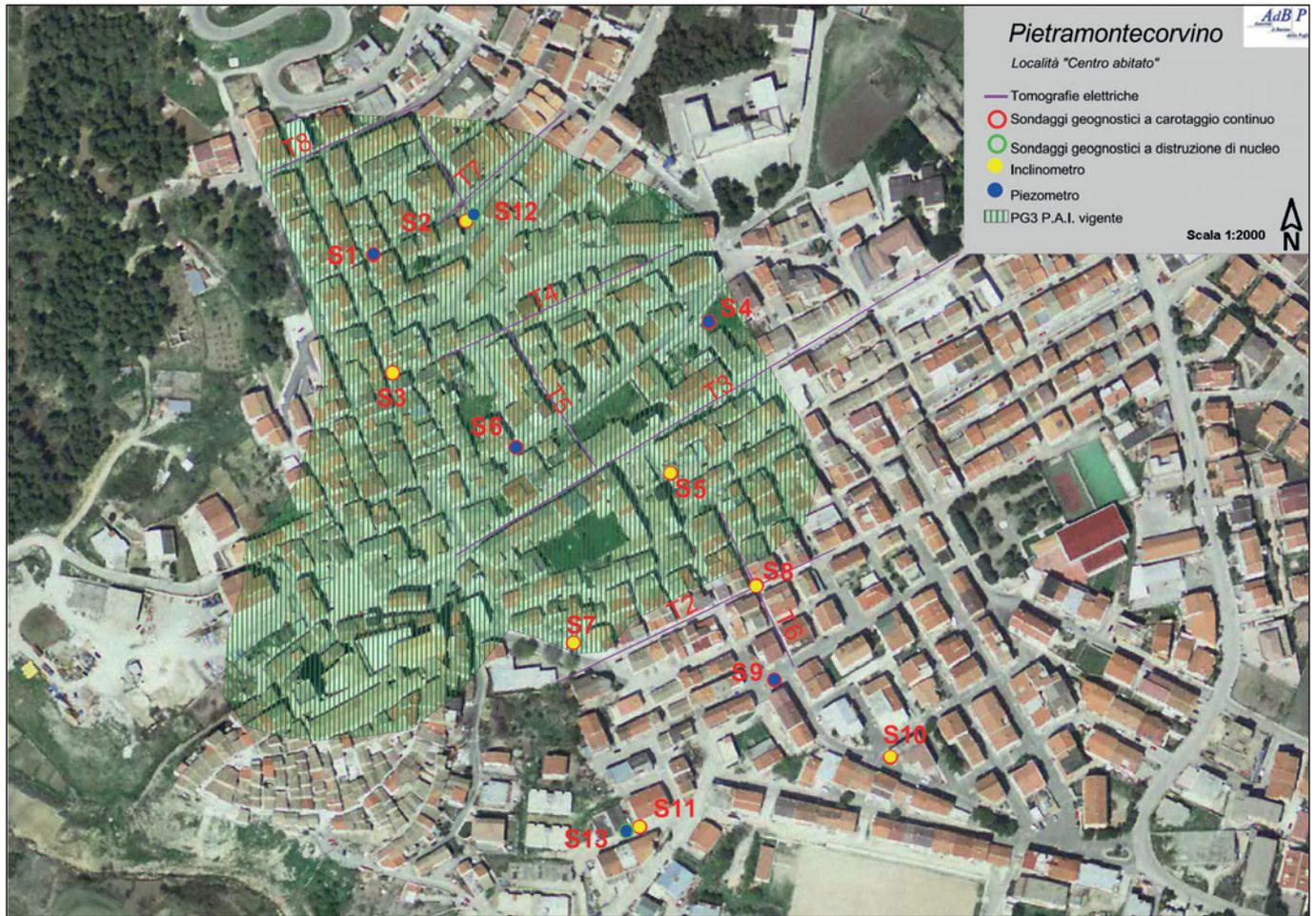


Figura 6 - Ubicazione e tipologia delle pregresse indagini dirette e indirette per l'aggiornamento del P.A.I. Puglia e delimitazione dell'area di studio (campitura in verde) a pericolosità geomorfologica (PG3).

tri per monitorare il livello piezometrico della falda che è stata riscontrata ad una profondità, dal piano campagna dei sondaggi, variabile tra i 4.63m (S6) e i 10.53m (S3).

È di fondamentale importanza, ai fini del presente studio, rilevare che la corposa campagna di indagini svolte per la redazione del P.A.I., si è concentrata esclusivamente nelle aree dove affiorano i sedimenti pelitici dei Depositi di Frana e delle Argille Varicolori, non interessando per nulla l'area del centro storico, classificata a pericolosità geomorfologica (PG3), nella quale affiorano le Arenarie di Pietramontecorvino.

Per poter svolgere le analisi di stabilità dei versanti che delimitano il centro storico dell'abitato si è reso necessario integrare i dati bibliografici e quelli delle pregresse indagini AdB, mediante prove geofisiche in situ e in laboratorio geotecnico, che consentissero di caratterizzare sia dal punto di vista geofisico sia fisico-meccanico le arenarie in questione (Fig. 7).

Nel dettaglio, le indagini geofisiche sono consistite in uno stendimento sismico (MASW), le prove geotecniche di laboratorio, invece, sono state eseguite su n. 6 campioni di arenaria, prelevate con carotatrice a rotazione in due punti di prelievo (Fig. 8), e sono consistite nella determi-



Figura 7 - Ubicazione dei punti di prelievo dei campioni per le prove geotecniche e dell'indagine sismica integrativa - anno 2018-2019.



Figura 8 - Carotatrice utilizzata per il prelievo dei campioni ( $\varnothing=100\text{mm}$ ,  $L=110\div 270\text{ mm}$ ) e ubicazione dei punti di campionamento nell'affioramento di arenaria presente all'interno del piano seminterrato di un edificio prospiciente Via Trappeto (vedi Fig. 7).

nazione dei seguenti parametri: peso di volume, resistenza a compressione monoassiale, compressione triassiale e resistenza a trazione indiretta "Prova Brasiliana", angolo d'attrito di base "Tilt Test". I parametri geotecnici, utilizzati nei modelli geotecnici delle sezioni di verifica della stabilità dei versanti, sono riassunti nella Tabella 1.

## 6.2 INDAGINI GEOFISICHE IN SITU E CARATTERIZZAZIONE GEOFISICA DELL'AREA

L'azione sismica sui sistemi geotecnici è valutata a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale e sottosuolo rigido di categoria "A" (Fig. 9).

Dalla figura 9 si evince che per l'abitato di Pietramontecorvino la pericolosità sismica di base fornisce un'accelerazione orizzontale di ancoraggio di  $a_g = 0.175g$ , con una probabilità di superamento del 10% per un tempo di ritorno di 475 anni.

Tale azione sismica di base viene quindi variata, nei modi chiaramente precisati dalle NTC, per tener conto degli eventuali effetti di amplificazione del moto sismico prodotti dalle locali condizioni stratigrafiche (categorie di sottosuolo) e dalla morfologia della superficie (categorie topografiche) ottenendo così l'accelerazione orizzontale massima attesa al sito ( $a_{gmax}$ ) da utilizzare nelle verifiche geotecniche di stabilità dei versanti.

PARAMETRI GEOTECNICI		$\gamma_n$ (kN/mc)	$\sigma_t$ (MPa)	$\sigma_c$ (MPa)	$E_{t50\%}$ (MPa)	$c'$ (MPa)	$\phi_b$ (gradi)	$\phi'$ (gradi)	GSI	$m_i$	D
Arenaria	Prove di laboratorio Sondaggio n. 1 - anno 2018-2019 Campioni n. A-B-C	22.60	2.11	9.24	7098	2.46	28	34	70	10	0
	Prove di laboratorio Sondaggio n. 2 - anno 2018-2019 Campioni n. A-B-C	22.27	1.56	9.53	5837	2.43	29	36	70	10	0
Argille Varicolori e Deposito di frana	Prove di laboratorio Autorità di Bacino Puglia POR PUGLIA 2000-2006	-	-	-	-	0.01÷0.13	-	12÷26	-	-	-
	Prove di laboratorio da Bruno G. <i>et al.</i> (1992)	17.26	-	-	-	0.01	-	16	-	-	-

Tabella 1 - Parametri geotecnici delle rocce presenti nelle sezioni di verifica considerate, distinti per litotipo e fonte di provenienza del dato.

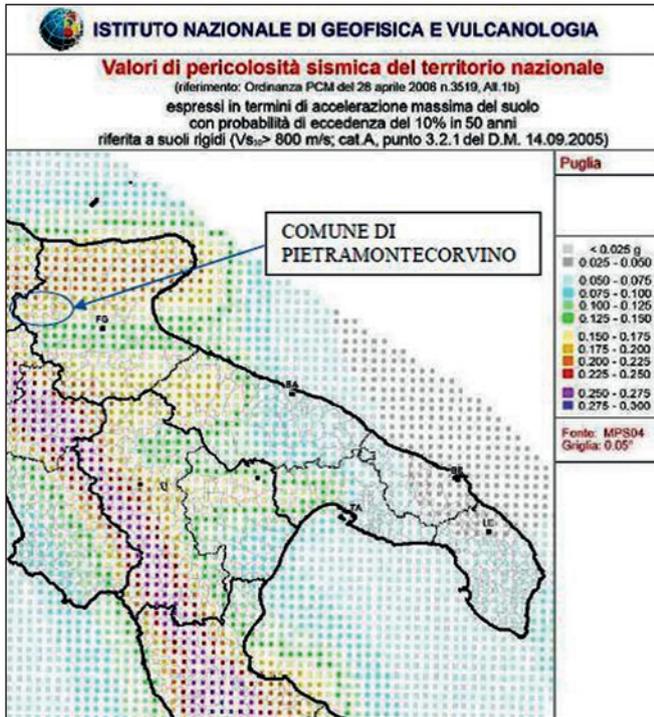


Figura 9 - Pericolosità sismica di base del territorio nazionale con indicazione dell'area di studio (da: Stucchi M. *et al.*, 2004).

Per quanto riguarda la caratterizzazione geofisica delle rocce che costituiscono il modello geotecnico delle diverse sezioni di verifica nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna ( $V_{s30}$ ), come già detto per le caratteristiche fisico-meccaniche, bisogna dire che le pregresse indagini sismiche down-hole eseguite dall'AdB non hanno riguardato l'Unità delle Arenarie di Pietramontecorvino ma solo il Deposito di frana e la Formazione delle Argille Varicolori o Flysch Rosso. Per caratterizzare la risposta sismica anche di questo litotipo, nell'anno 2018 è stato eseguito uno stendimento sismico di superficie di tipo MASW (Fig. 7), di lunghezza pari a circa 51 metri, grazie al quale è stato possibile ricostruire il profilo della veloci-

tà delle onde di taglio ( $V_s$ ) fino ad una profondità di circa 30-35 metri (Fig. 10).

Le indagini sismiche pregresse e il profilo MASW eseguito nel 2018 hanno consentito di determinare, come previsto dalle NTC 2018, le categorie di sottosuolo delle rocce dei modelli geotecnici delle sezioni utilizzate per le verifiche di stabilità (Tab. 2).

Come si evince dai dati riportati in tabella 2 i litotipi presenti nell'area, ai fini sismici, sono ascrivibili a due distinte categorie di sottosuolo, entrambe con locali effetti di amplificazione stratigrafica rispetto al moto sismico atteso su substrato di Categoria "A". Poiché, come si vedrà nel paragrafo 7, diverse sezioni di verifica presentano entrambi i tipi di sottosuolo si è scelto, cautelativamente, di adottare per tutti i modelli geotecnici delle sezioni di verifica la categoria di sottosuolo più scadente e cioè la "C".

Per quanto riguarda la categoria topografica da attribuire ai versanti, per tenere conto degli eventuali effetti locali di amplificazione del moto sismico di base, sono stati calcolati gli elementi morfologici significativi che hanno consentito, per ogni sezione di verifica, di stabilire la categoria topografica da utilizzare nelle verifiche di stabilità (Tab. 3).

Tenuto conto dei locali effetti stratigrafici e topografici, mediante il software Spettri-NTC (CSLP, 2008), sono stati calcolati i valori dell'accelerazione orizzontale e verticale massime attese al sito, dei corrispondenti coefficienti di riduzione sismica ( $\beta_s$ ) nonché dei coefficienti sismici orizzontale e verticale, rispettivamente,  $k_h$  e  $k_v$  sono riportati nella Tabella 4 per ogni sezione di verifica.

### 7. VERIFICHE DI STABILITÀ DEI VERSANTI, NELL'AREA DEL CENTRO STORICO, CON PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA PG3 NEL P.A.I.

Le verifiche di stabilità sono state condotte su otto sezioni, ubicate in modo da realizzare una maglia che copre le aree del centro storico della città perimetrata come PG2 e PG3 nel P.A.I. (Fig. 1). Nel complesso la su-

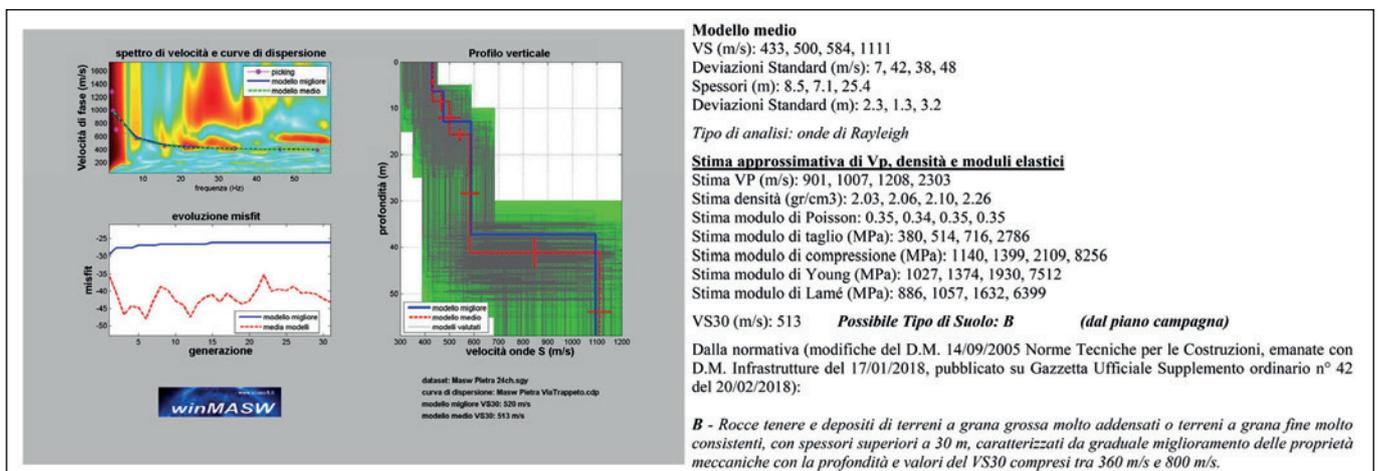


Figura 10 - Profilo sismico MASW con calcolo della velocità media delle onde di taglio ( $V_s$ ) nei primi 30 metri di profondità dal piano campagna.

TIPO DI INDAGINE SISMICA	VELOCITÀ MEDIA ONDE DI TAGLIO	FORMAZIONE GEOLOGICA	CATEGORIE DI SOTTOSUOLO (NTC 2018)
Profilo Down-Hole AdB Puglia 2000-2006	$V_s = 337$ m/s	Deposito di frana e Argille Varicolori o Flysch Rosso	<b>Sottosuolo tipo "C":</b> Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
Profilo MASW Indagini private 2018	$V_s = 513$ m/s	Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino	<b>Sottosuolo tipo "B":</b> Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Tabella 2 - Valori medi fino ad una profondità di 30 m dal piano campagna della velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) dei vari litotipi e relative categorie di sottosuolo in base alle NTC 2018.

SEZIONE N.	ALTEZZA MASSIMA VERSANTE	INCLINAZIONE PREVALENTE VERSANTE	CATEGORIA AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA
1	> 30 m	23°	<b>T3</b>
2	> 30 m	16°	<b>T2</b>
3	< 30 m	16°	<b>T1</b>
4	< 30 m	8°	<b>T1</b>
5	< 30 m	6°	<b>T1</b>
6	< 30 m	13°	<b>T1</b>
7	< 30 m	5°	<b>T1</b>
8	> 30 m	21°	<b>T3</b>

Tabella 3 - Elementi morfologici salienti delle sezioni di verifica e relative categorie di topografiche in base alle NTC 2018.

SEZIONE N.	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE DI ANCORAGGIO $a_g$	COEFFICIENTE DI RIDUZIONE SISMICA ( $\beta_s$ )	ACCELERAZIONE ORIZZONTALE MASSIMA ( $a_{Hmax}$ )	ACCELERAZIONE VERTICALE MASSIMA ( $a_{Vmax}$ )	COEFFICIENTI SISMICI ORIZZONTALE $k_H = \beta_s \cdot a_{Hmax}/g$	COEFFICIENTI SISMICI VERTICALE $k_V = k_H/2$
1	0.175g	0.24	0.767g	0.202g	0.019	0.0095
2	0.175g	0.24	0.767g	0.202g	0.019	0.0095
3	0.175g	0.24	0.639g	0.168g	0.016	0.008
4	0.175g	0.24	0.639g	0.168g	0.016	0.008
5	0.175g	0.24	0.639g	0.168g	0.016	0.008
6	0.175g	0.24	0.639g	0.168g	0.016	0.008
7	0.175g	0.24	0.639g	0.168g	0.016	0.008
8	0.175g	0.24	0.767g	0.202g	0.019	0.0095

Tabella 4 - Parametri sismici utilizzati per le verifiche pseudostatiche di stabilità dei versanti.

perficie coperta dalla maglia di sezioni ha un perimetro di 403 m e un'area di circa 10.000 m<sup>2</sup> che risulta, per la maggior parte, densamente edificata. Poiché il rilievo sul quale sorge il centro storico presenta uno spartiacque grossomodo coincidente con la sezione n. 8 (Fig. 1), è stato necessario eseguire, per ogni sezione considerata, le verifiche di stabilità lungo i versanti di entrambi i fianchi del rilievo, per un totale di 30 verifiche (15 in condizioni statiche e altrettante in presenza di sisma),

ottenendo così i fattori di sicurezza di 30000 potenziali superfici di frana.

I modelli geotecnici di ogni sezione di verifica, costruiti a partire dal modello geologico delle stesse, hanno tenuto conto della presenza della falda idrica ipotizzata e di un sovraccarico verticale di 55 kPa, ubicato lungo il versante in corrispondenza degli edifici, calcolato sulla base dell'analisi dei carichi dell'unità abitativa tipo costituita da due piani fuori terra e tetto di copertura (Fig. 11).

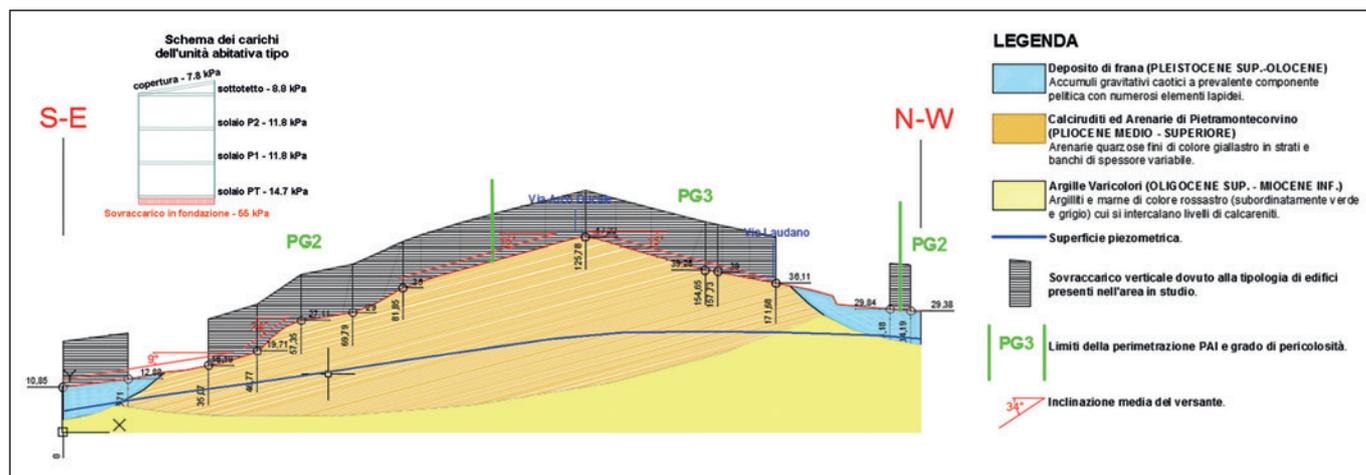


Figura 11 - Modello geotecnico schematico delle sezioni di verifica: sezione n. 2.

SEZIONE N.	VERSANTE VERIFICATO	TIPO DI ANALISI	FATTORE DI SICUREZZA Fs	COORD. X <sub>L</sub> DEL PIEDE (m)	COORD. X <sub>0</sub> DEL CORONAMENTO (m)	ESTENSIONE LINEARE AREA CON Fs MINIMO (m)	SPESSORE MASSIMO AREA CON Fs MINIMO (m)
1	SE	statica	2.617	1.399	138.809	137.410	29.781
		pseudostatica	2.454	3.003	155.899	152.896	33.218
	NW	statica	5.935	16.408	72.398	55.990	13.188
		pseudostatica	5.818	17.520	72.039	54.519	11.454
2	SE	statica	4.645	1.903	125.573	123.670	23.212
		pseudostatica	3.971	2.351	106.528	104.177	24.969
	NW	statica	5.728	2.941	88.467	85.526	26.590
		pseudostatica	5.352	0.647	83.135	82.488	18.965
3	E	statica	5.317	10.601	110.038	99.437	25.551
		pseudostatica	4.991	5.477	111.960	106.483	23.503
	W	statica	5.550	5.375	116.355	110.980	25.840
		pseudostatica	4.836	1.122	110.689	109.567	28.120
4	W	statica	1.761	48.012	68.910	20.898	3.328
		pseudostatica	1.657	48.794	68.557	19.763	3.433
	E	statica	2.287	57.528	87.338	29.810	5.577
		pseudostatica	2.129	59.956	87.843	27.887	5.342
5	W	statica	2.032	13.155	42.293	29.138	4.575
		pseudostatica	1.935	12.152	43.865	31.713	4.629
	E	statica	4.215	35.183	50.688	15.505	1.702
		pseudostatica	3.627	35.470	50.102	14.632	1.573
6	W	statica	2.967	10.549	35.081	24.532	1.379
		pseudostatica	2.964	1.659	40.139	38.480	3.342
	E	statica	8.252	35.963	70.120	34.157	1.527
		pseudostatica	6.973	58.064	65.280	7.216	1.046
7	W	statica	5.127	17.492	78.957	61.465	16.880
		pseudostatica	4.690	15.002	71.952	56.950	15.129
	E	statica	3.276	43.267	71.866	28.599	1.805
		pseudostatica	2.860	40.476	70.274	29.798	1.683
8	S	statica	2.918	8.801	166.653	157.852	33.896
		pseudostatica	2.733	10.063	187.594	177.531	42.493

Tabella 5 - Fattori di sicurezza minimi e valori dimensionali delle relative superfici analizzate, suddivisi per sezione, versante e tipologia di analisi di stabilità.

Nello specifico per le verifiche è stata utilizzata la versione 4.9.9 del software freeware SSAP2010 - Slope Stability Analysis Program (Borselli L., 2016), implementando il metodo all'equilibrio limite (LEM) rigoroso di Janbu N. (1973) su 1000 possibili superfici di rottura per ogni versante analizzato, sia per le condizioni statiche che per quelle pseudostatiche. Per quanto riguarda i parametri geotecnici e le azioni di progetto, al fine di eseguire delle verifiche più cautelative e a vantaggio della stabilità, si è scelto di eseguire delle verifiche in condizioni drenate e attivando l'apposita funzione nel software di calcolo che tiene conto dei coefficienti parziali previsti dalle NTC 2008. Infine, per quanto riguarda i criteri di resistenza al taglio adottati, si è scelto di utilizzare quello di Mohr-Coulomb o Tresca per gli orizzonti stratigrafici delle Argille Varicolori e dei Depositi di frana, mentre per l'orizzonte di Arenaria di Pietramontecorvino è stato utilizzato il criterio di resistenza al taglio di Hoek-Brown (Hoek E., Brown E. T., 1997; Hoek E. *et al.*, 2002).

I fattori di sicurezza (Fs) ottenuti, sia in condizioni statiche che pseudostatiche, sono tutti cautelativi e la sezione che presenta i valori più bassi, soprattutto in caso di sollecitazione sismica, è la sezione n. 4 (Tab. 5).

Dai dati riportati in Tabella 5, congiuntamente ai litotipi affioranti nelle otto sezioni di verifica considerate (Fig. 1), si evince che le sezioni interessate da affioramenti delle Argille Varicolori e da Depositi di frana (Sezz. nn. 4, 5, 6 e 7) presentano potenziali superfici di rottura con meccanismi di frana del tipo colamento-scorrimento che, ove si verificassero, interesserebbero spessori di terreno di pochi metri, fino ad un massimo di poco superiore ai 15 m per il versante Ovest della sezione n. 7. Le restanti sezioni di verifica (Sezz. nn. 1, 2, 3 e 8), dove affiorano le Arenarie di Pietramontecorvino, i potenziali meccanismi di frana sono

del tipo roto-traslazionale e gli spessori di roccia coinvolgibili sono sempre superiori ai 20 m raggiungendo il valore massimo, di poco superiore a 40 m, nella sezione n. 8.

### 8. PERIMETRAZIONE E CALCOLO DEI VOLUMI DI TERRENO COINVOLTI DALLE SUPERFICI CON FATTORE DI SICUREZZA "FS" MINIMO

Fermo restando che i versanti dell'area interessata dalla maglia di sezioni di verifica considerate sono risultati stabili, ai fini di una eventuale proposta di una declassazione del suo grado di pericolosità nel P.A.I.-Puglia, si è proceduto ad una perimetrazione, basata sui valori dei Fs ottenuti, delle aree maggiormente soggette a rischio di frana sia in condizioni statiche che in caso di sisma.

Nel dettaglio, le aree a maggior rischio di frana, sono state ricavate interpolando gli estremi delle proiezioni sul piano orizzontale delle superfici di potenziale rottura per le quali il Fs assume il valore minimo, lungo entrambi i versanti di ogni sezione di verifica (Fig. 12).

Dalla Fig. 12 si evince che, nel complesso, le forme delle aree che racchiudono le proiezioni sul piano orizzontale dei limiti estremi delle superfici di potenziale frana sono sostanzialmente le stesse sia in assenza di sisma che in presenza; lo sviluppo planimetrico delle stesse, tuttavia, evidenzia una maggiore estensione dell'area perimetrata considerando le verifiche in presenza di sisma (Tab. 6).

TIPO DI ANALISI	PERIMETRO DELL'AREA CON FS MINIMO (m)	SUPERFICIE DELL'AREA CON FS MINIMO (m <sup>2</sup> )
statica	1414.917	35818.982
pseudostatica	1415.872	35831.151

Tabella 6 - Valori planimetrici delle aree con Fs minimo, in relazione al tipo di analisi di stabilità.



Figura 12 - Possibili perimetrazioni su ortofoto delle aree a maggior rischio di frana: in condizioni statiche (campitura verde a sinistra) e in presenza di sisma (campitura gialla a destra); con range di variazione dei 10 Fs più bassi ottenuti per ogni sezione di verifica.

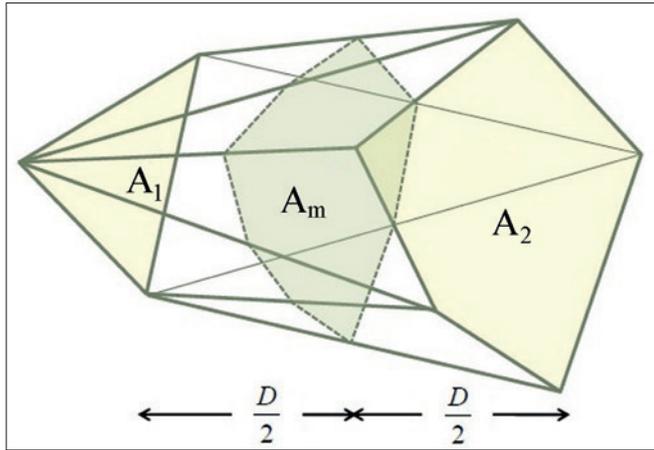


Figura 13 - Forma schematica del prismoide per il calcolo del volume con la formula di Torricelli.

Dai risultati riportati in tabella 6 si vede che l'analisi di stabilità in condizioni pseudostatiche sviluppa una superficie, cui corrispondono i valori minimi di Fs, di appena 12.17 m<sup>2</sup> superiore rispetto a quella dell'analisi statica. Tuttavia, poiché le frane che potrebbero innescarsi in condizioni statiche avrebbero, generalmente, uno spessore max. leggermente superiore rispetto a quello che potrebbe aversi in condizioni pseudostatiche (Tab. 5), ai fini del calcolo della massa di terreno globalmente coinvolgibile dalla coalescenza dei potenziali franamenti lungo i versanti delle otto sezioni, si è scelto di tener conto del volume compreso all'interno della perimetrazione ottenuta per le condizioni statiche.

Per il calcolo di tale volume di terreno occorre considerare i solidi che vengono a definirsi tra sezioni di verifica contigue; tali solidi sono delimitati, superiormente

dalla superficie topografica mentre la loro parte inferiore è delimitata da una superficie convessa che raccorda tra di loro le linee di scorrimento critiche. È evidente quindi che si tratta di solidi aventi forme non riconducibili a quelle per cui esistono formule precise per il calcolo del volume. Infatti, non si tratta di prismi e nemmeno di poliedri ma di solidi delimitati da superfici irregolari, non parallele e nemmeno piane.

Pertanto, in via del tutto approssimativa, per la stima dei volumi è stata utilizzata la formula delle sezioni ragguagliate che è una semplificazione della formula di Torricelli, messa a punto per il calcolo del volume di un prismoide contenuto tra due facce piane e parallele (Fig. 13).

Secondo il Torricelli, il volume di un prismoide (Fig. 13) può essere calcolato con la seguente formula:

$$V = \frac{D}{6} \cdot (A_1 + 4A_m + A_2) \quad [1]$$

dove:

V: volume del solido

D: distanza tra le due facce estreme del solido

A<sub>1</sub> e A<sub>2</sub>: area delle sezioni estreme

A<sub>m</sub>: area della sezione media

Se nella formula [1] si assume che l'area della sezione media A<sub>m</sub> sia data dalla formula:

$$A_m = \frac{(A_1 + A_2)}{2} \quad [2]$$

ne deriva la seguente formula, detta "formula delle sezioni ragguagliate", che è stata quella effettivamente utilizzata per i calcoli dei volumi:

$$V = D \cdot \frac{(A_1 + A_2)}{2} \quad [3]$$

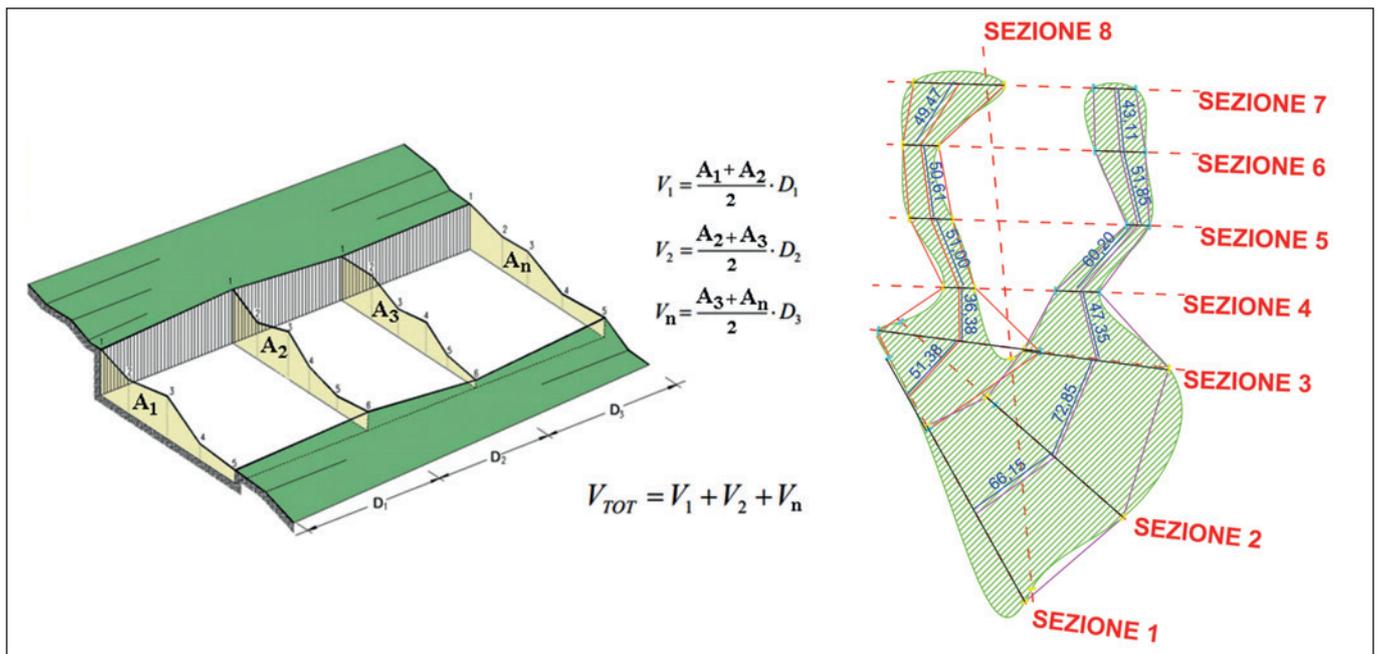


Figura 14 - Schema di calcolo con il metodo delle sezioni ragguagliate (a sinistra) e sua applicazione ai potenziali volumi in frana in condizioni statiche, in blu sono indicate le distanze (D) fra sezioni contigue (a destra).

SEZIONI	AREA IN SEZIONE A (m <sup>2</sup> )	DISTANZA TRA DUE SEZIONI CONTIGUE D (m)	VOLUME TRA DUE SEZIONI CONTIGUE V (m <sup>3</sup> )
<b>FASCIA OVEST</b>			
sezione 7 W	33.39		
sezione 6 W	19.35	49.47	1304.52
sezione 5 W	87.30	50.61	2698.78
sezione 4 W	50.74	51.00	3520.02
sezione 3 W	1904.16	36.38	35559.63
sezione 1 W	472.54	51.38	61057.42
<b>FASCIA EST</b>			
sezione 1 E	2655.21		
sezione 2 E	1866.81	66.15	150220.37
sezione 3 E	1577.16	72.85	126167.46
sezione 4 E	121.50	47.35	40215.78
sezione 5 E	14.35	60.20	4089.09
sezione 6 E	28.84	51.85	1119.70
sezione 7 E	33.30	43.11	1339.43
<b>TOTALE m<sup>3</sup></b>			<b>427292.19</b>

Tabella 7 - Calcoli dei volumi parziali e totale, con la formula delle sezioni raggugliate, dell'area perimetrata come potenzialmente interessata da franamenti in condizioni statiche.

Nell'applicazione della formula [3] al caso in esame, le superfici contigue  $A_1, A_2, \dots A_n$  sono rappresentate dalle aree racchiuse tra la superficie topografica e le superfici di scivolamento critiche mentre la distanza  $D$  è rappresentata dalla distanza planimetrica tra i punti medi dei tratti di sezioni contigue interessati dalla superficie di scorrimento critica (Fig. 14).

I calcoli dei volumi parziali e totale sono stati eseguiti considerando le potenziali superfici di frana che si potrebbero innescare lungo entrambi i versanti (Ovest ed Est) di ognuna delle otto sezioni considerate in condizioni statiche (Tab. 7). Dai risultati riportati in Tabella 7 si evince che le sezioni di verifica che coinvolgerebbero i maggiori volumi di terreno sono le sezioni nn. 1÷3 sia lungo il versante Ovest che in quello Est della sezione di verifica. Il volume totale potenzialmente coinvolgibile dalla coalescenza dei franamenti compresi entro l'area perimetrata, definita dalle analisi di stabilità in condizioni statiche, è risultato pari a  $V = 427292.19 \text{ m}^3$ .

## 9. CONCLUSIONI

In occasione di un progetto per lavori di restauro e risanamento conservativo di un fabbricato, ubicato nel margine Sud-Est dell'area del centro storico di Pietramontecorvino, classificata nel P.A.I.-Puglia a pericolosità geomorfologica molto elevata (PG3), sono state eseguite indagini, rilievi in sito e prove geotecniche di laboratorio che hanno consentito di completare il quadro delle conoscenze geologico-tecniche del territorio relativamente alle arenarie ivi affioranti. Il rilievo geologico-strutturale di dettaglio ha consentito di definire con maggiore precisione l'affioramento delle Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino, su cui si fonda il centro storico dell'abita-

to; inoltre, il ritrovamento di due fossili di lamellibranchi fa propendere per una datazione al Pliocene medio-sup. di tale formazione geologica.

Tenuto conto dell'elevata pericolosità geomorfologica che l'area presenta nel P.A.I. e che attualmente il Comune di Pietramontecorvino ha avviato la procedura per la formazione del Piano Urbanistico Generale (PUG), si è ritenuto opportuno eseguire uno studio metodologico per la valutazione della stabilità dei versanti che delimitano il centro storico dell'abitato, con la finalità di stabilire se il grado di pericolosità sia effettivamente così elevato o se, viceversa, si possa avanzare una proposta di revisione all'autorità competente per una sua riduzione che, se accolta, potrebbe già essere integrata nella cartografia relativa al PUG prima della sua approvazione ed adozione finale.

L'analisi preliminare dello stato dei luoghi non evidenzia fenomeni gravitativi in atto; inoltre le evidenze geomorfologiche, geolitologiche e geotecniche rendono improbabile l'instaurarsi di fenomeni gravitativi, pertanto la classe PG3 di pericolosità attribuita nel P.A.I. sembrerebbe non corrisponde alle reali condizioni dell'area.

La scelta metodologica di realizzare una maglia di otto sezioni di verifica, che coprono l'intera area di interesse, ha consentito di valutare non solo la stabilità dei singoli versanti ma dell'intera area coperta dalla maglia. I fattori di sicurezza ( $F_s$ ) ottenuti per entrambi i versanti (Ovest ed Est) di tutte le sezioni verificate, sia in condizioni statiche che in presenza di sisma (analisi pseudostatiche) sono ampiamente cautelativi e indicativi di una sostanziale stabilità geomorfologica dell'area del centro storico di Pietramontecorvino. Tuttavia, si è ritenuto utile ricavare una perimetrazione delle due aree, rispettivamente, per le

condizioni statiche e pseudostatiche, che presenterebbero il minor grado di stabilità. Tale perimetrazione è stata realizzata interpolando gli estremi delle proiezioni sul piano orizzontale delle superfici di potenziale rottura, per le quali il  $F_s$  assume il valore minimo, in ogni sezione di verifica. La coalescenza di tali potenziali aree di frana in condizioni statiche interessa un volume di terreno, maggiore rispetto a quello in presenza di sisma, che calcolato con il metodo delle sezioni ragguagliate, è risultato pari a 427292.19 m<sup>3</sup>.

Sulla base delle conclusioni suesposte, quindi, si ritiene che l'area analizzata, attualmente classificata a pericolosità geomorfologica PG3, possa essere ridefinita utilizzando la perimetrazione ottenuta con le analisi statiche (Fig. 12 a sinistra) e riclassificata secondo una delle due diverse modalità alternative indicate di seguito:

- a. Classificare come area a pericolosità geomorfologica elevata (PG2), quella dove affiorano le Argille Varicolori, e come area a pericolosità media e moderata (PG1) quella dove affiorano le Calciruditi ed Arenarie di Pietramontecorvino;
- b. Classificare l'intera area a pericolosità geomorfologica elevata (PG2).

## BIBLIOGRAFIA

BORSELLI L. (2016) - SSAP 4.7.2 - Slope stability analysis program, Manuale di riferimento del codice SSAP Versione 4.7.2. DOI: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.1.3851.1766>.

BRUNO G., PAGLIARULO R. (1989) - Problematiche relative ai fenomeni di instabilità del territorio italiano. Rapp. Tecn. Int., C.N.R. - C.S.A.T.A.I., Bari.

BRUNO G., CANNATA A., GONZALEZ DIEZ I., SCHILIRÒ F. (1992) - Mineralogical and geotechnical peculiarity of the apulian and sicilian bentonite clays. Proc. M.C.M. '92, Lipari (ME), Miner. Petrogr. Acta, vol. XXXV-A, 331-343.

BRUNO G., CRESCENZI E., IOVINE G., MERENDA L., ZEZZA F. (1992a) - Condizioni di instabilità idrogeologica nei comuni dell'Appennino Dauno Pugliese. CNR- IRPI, Rapp. Tecn. Int. 379 bis, 85 pp., Cosenza.

BRUNO G., CRESCENZI E., IOVINE G., MERENDA L., ZEZZA F. (1992b) - Valutazione di sicurezza idrogeologica e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno Pugliese. Un esempio: l'abitato di Motta Montecorvino (Foggia). 2° Conv. Naz. Giov. Ric. Geologia Applicata, Viterbo.

BRUNO G., CHERUBINI C., RAMUNNI F.P. (1994) - Fenomeni di cattura fluviale e condizioni di stabilità nel territorio di Castelluccio Valmaggiore (Puglia). Geologica Romana, XXX.

BRUNO G., CHERUBINI C., PAGLIARULO R., SURGO C., TRIZZINO R. (2006) - Valutazione della suscettività al dissesto idrogeologico della fascia pedemontana dell'Appennino Dauno: il caso dell'abitato di Troia (Foggia). Giornale di Geologia Applicata, 3, 167-172, Doi: 10.1474/GGA.2006-03.0-22.0115.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI (2008) - Spettri-NTC. [www.cslp.it](http://www.cslp.it).

DAZZARO L. & RAPISARDI L. (1982) - Le bentoniti dell'Appennino dauno tra Casalnuovo Monterotaro e Motta Montecorvino (FG). Geol. Appl. Idrogeol., XVII, 151-160, Bari.

DAZZARO L. & RAPISARDI L. (1984) - Nuovi dati stratigrafici, tettonici e paleogeografici della parte settentrionale dell'Appennino Dauno. Boll. Soc. Geol. It., 103, 51-58, Roma.

DAZZARO L., DI NOCERA S., PESCATORE T., RAPISARDI L., ROMEO M., RUSSO B., SENATORE M. R. & TORRE M. (1988) - Geologia del margine della Catena Appenninica tra il F. Fortore ed il T. Calaggio (Appennino meridionale). Atti 74° Congr. Soc. Geol. It., vol. B, Sorrento.

HOEK E., BROWN E. T. (1997) - Practical estimates of rock mass strength. Int. J. of Rock Mech. Min. Scie., 34(8), 1165-1186.

HOEK E., CARRANZA-TORRES C. & CORKUM B. (2002) - Hoek-Brown failure criterion-2002 edition. Proceedings of NARMS-Tac, 1, 267-273.

IOVINE G., PARISE M., CRESCENZI E. (1996) - Analisi della franosità nel settore centrale dell'Appennino Dauno. Mem. Soc. Geol. It., 51, 633-641.

JANBU N. (1973) - Slope stability computations. The embankment-dam Engineering Casagrande Volume, John Wiley e Sons, 47-86, New York.

PENNETTA L. (2006) - Analisi del dissesto da frana in Puglia. <http://www.isprambiente.gov.it/files/pubblicazioni/rapporti/rapporto-frane/capitolo-21-puglia.pdf>. PIERI P., GALLICCHIO S., MORETTI M. (2011) - Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 407 - San Bartolomeo in Galdo. ISPRA - Servizio Geologico d'Italia.

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1964) - Carta geologica d'Italia a scala 1:100.000, Foglio 163, Lucera, 1<sup>a</sup> ediz..

STUCCHI M., MELETTI C., MONTALDO V., AKINCI A., FACCIOLI E., GASPERINI P., MALAGNINI L., VALENSISE G. (2004) - Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale MPS04 [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/sh/mps04/ag>.

ZEZZA F., MERENDA L., BRUNO G., CRESCENZI E. & IOVINE G. (1994) - Condizioni di instabilità e rischio da frana nei comuni dell'Appennino Dauno Pugliese. Geologia Applicata e Idrogeologia, XXIX, 77-141.

## IL BACINO DI ACQUATINA (FRIGOLE, LECCE), OPPORTUNITÀ DI RICERCA SUI SINKHOLE E IMPLICAZIONI ECOLOGICHE

Stefano Margiotta<sup>1</sup>, Mario Parise<sup>2</sup>, Francesco Marco D'Onghia<sup>3</sup>, Sergio Fai<sup>4</sup>,  
Gabriele Marini<sup>5</sup>, Maurizio Pinna<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Libero Professionista (geomargiotta@libero.it) - Iscritto ORG Puglia, n. 601 - Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Università del Salento, Lecce

<sup>2</sup>Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali, Università degli Studi di Bari Aldo Moro, (mario.parise@uniba.it)

<sup>3</sup>Museo Marino Artistico (MuMART) Bari (fmdonghia@alice.it)

<sup>4</sup>Laboratorio di fotografia e monitoraggio dei sistemi costieri, Università del Salento (sergiofai80@gmail.com)

<sup>5</sup>Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Centro di Ricerche per la Pesca e l'Acquacoltura di Acquatina di Frigole, Università del Salento, Lecce (gabriele.marini@unisalento.it)

<sup>6</sup>Dipartimento di Scienze e Tecnologie Biologiche ed Ambientali, Centro di Ricerche per la Pesca e l'Acquacoltura di Acquatina di Frigole, Università del Salento, Lecce (maurizio.pinna@unisalento.it)

### RIASSUNTO

Lo sviluppo di doline da crollo nelle aree carsiche costiere ha un impatto significativo sull'ambiente naturale ed antropico determinando non solo cambiamenti nelle morfologie ma anche danni ingenti alle cose ed alle persone. Il Salento (Puglia meridionale) è un territorio che, in quanto costituito da rocce prevalentemente carbonatiche, è da sempre interessato da fenomeni di sprofondamento (*sinkhole*) i quali si manifestano solitamente con cedimenti improvvisi. Tra le zone più colpite vi è sicuramente quella adriatica leccese, compresa tra l'area delle Cesine a Sud e Casalabate a Nord: una fascia costiera estesa circa 35 km, caratterizzata da spiagge sabbiose di limitata estensione, delimitate lateralmente da piccoli promontori rocciosi e, nell'entroterra, da un sistema di dune, ampiamente erose dall'azione del mare e dalle attività antropiche. Questi sistemi di dune separano l'ambiente della spiaggia da vaste zone umide che occupano bassi morfologici più o meno stretti, allungati circa parallelamente alla linea di costa ed impostati in corrispondenza di depressioni tettoniche del substrato roccioso. Le aree umide sono state oggetto di interventi di bonifica svolti nella prima metà del secolo scorso e aventi l'obiettivo di debellare la malaria e restituire suolo utile per l'agricoltura. Negli anni 1960, e soprattutto nei decenni 1970 e 1980, queste aree, come tutte quelle costiere, sono state oggetto di un incontrollato sviluppo edilizio che ha portato a mascherare praticamente quasi del tutto le originarie depressioni. Il paesaggio originario è stato quindi frammentato e testimonianze delle aree umide presenti nei primi anni del 1900 si ritrovano esclusivamente in lembi variamenti estesi delle Cesine, di Acquatina e del Parco Regionale "Bosco e Paludi di Raucio". Le aree colmate sono invece sedi di allagamenti e dissesti che interessano anche l'edificato, con particolare riferimento a Casalabate, Torre Rinalda, Spiaggiabella e Torre Chianca.

In questo lavoro si riportano i risultati preliminari di uno studio in atto sul bacino di Acquatina di Frigole (IT9150003), un sito di importanza comunitaria (SIC) dove negli ultimi 15 anni si sono formate numerose depressioni, il cui processo evolutivo è ancora in atto. Il

bacino di Acquatina costituisce quindi un eccezionale laboratorio dove monitorare tali fenomeni e sviluppare modelli utili alla comprensione di ciò che avviene anche in altre aree, laddove le coperture antropiche rendono molto difficile fare studi di dettaglio.

### 1. INTRODUZIONE

L'impatto dei fenomeni di *sinkhole* sull'ambiente antropizzato è ben noto in letteratura (De Waele *et al.*, 2011; Ford & Williams, 2007; Parise & Gunn, 2007; Gil *et al.*, 2013; Gutierrez *et al.*, 2014; Margiotta *et al.*, 2016; Parise *et al.*, 2018; Margiotta & Parise, 2019; Parise, 2012, 2019; Zumpano *et al.*, 2019). La Regione Puglia in particolare, per la presenza di rocce carbonatiche solubili, è stata da sempre interessata da fenomeni di sprofondamenti per il crollo della volta di cavità naturali ed antropiche. Dall'inizio di questo secolo, la frequenza degli eventi ha registrato un netto aumento, raggiungendo un picco nel 2009 e 2010, sebbene sia impossibile quantificare realmente la portata dei fenomeni a causa della difficoltà nel monitorare l'intero territorio e per le azioni antropiche abusive di colmamento delle depressioni che si vengono a formare (Parise & Lollino, 2011; Fiore & Parise, 2013; Parise & Venneri, 2013, 2017; Parise, 2015). Lo sviluppo e tipologia dei *sinkhole* nelle aree carsiche è strettamente legato ad una serie di variabili quali ad esempio il tipo di costa (sabbiosa o rocciosa), la litologia (calcareniti, sabbie, calcari, depositi di torba, ecc.), le condizioni idrauliche ed idrogeologiche. Anche le azioni antropiche (scavi, sovraccarichi) possono accelerare i processi di sprofondamento influenzando, nel caso dei contesti costieri, l'evoluzione dei tratti di costa (Norris & Back, 1990; Forth *et al.*, 1999; Frumkin *et al.*, 2011).

Le coste basse del Salento, sia adriatico che ionico, sono in più aree interessate da fenomeni di *sinkhole*. A Torre Castiglione (a Nord di Porto Cesareo), numerose doline da crollo (localmente denominate *spunnulate*), originate da fenomeni di ipercarsismo, si sono aperte lungo gli assi delle principali lineazioni tettoniche (Bruno *et al.*, 2008; Basso *et al.*, 2013). Poco più a Sud, nell'area della Palude del Capitano, il paesaggio carsico sembra-

rebbe ancora più evoluto con forme coalescenti collegate anche nel sottosuolo da gallerie sommerse delle quali solo una parte è stata esplorata dagli speleo-sub (Beccarisi *et al.*, 2006; Denitto *et al.*, 2006; Onorato *et al.*, 2017; Parise *et al.*, 2017).

Altrettanto importanti i fenomeni osservati sul versante adriatico e dei quali approfondiremo nel paragrafo successivo. Fatto sta che i fenomeni di *sinkhole*, costituiscono, insieme a quelli legati all'erosione, i principali fattori di rischio geologico s.l. nelle aree costiere pugliesi (Delle Rose *et al.*, 2004; Del Prete *et al.*, 2010 a, b; Margiotta *et al.*, 2012; Margiotta & Parise, 2019) e per questo meritano, da parte dei pianificatori e delle Autorità locali, una particolare attenzione. Purtroppo, data la celerità con cui si manifesta l'atto dello sprofondamento, l'identificazione di aree potenzialmente affette, ed il monitoraggio delle stesse, è tutto altro che semplice.

In questo contesto, si descrive nel seguito lo stato di avanzamento di studi che sono in atto nel bacino di Acquatina (Frigole, Lecce), laddove, negli ultimi 15 anni, si è osservata l'apertura di numerosi *sinkhole*.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

Geograficamente il bacino dell'Acquatina è ubicato a nord-est di Lecce (Salento, Puglia), immediatamente a

nord della marina di Frigole e ricade nel Foglio 204 della Carta Topografica d'Italia. Esso è parte di un più vasto sistema costiero (Fig. 1) caratterizzato da coste basse sabbiose delimitate da cordoni dunari con, nella parte retrostante, estese aree palustri. Questo paesaggio costiero si estende per circa 35 km da Sud, dove vi sono le Cesine (comune di Vernole), proseguendo verso Nord con le località costiere di San Cataldo, Frigole, Torre Chianca, Spiaggiabella e Torre Rinalda (tutte facenti parte del territorio amministrativo di Lecce) ed infine Casalabate (parte di Trepuzzi e Squinzano).

Dal punto di vista geologico (Fig. 1), il basamento roccioso è costituito dall'unità cretacea del Calcarea di Altamura. Questa formazione affiora estesamente in un'area a nord di Lecce nei dintorni di Surbo. L'intervallo stratigrafico localmente affiorante è costituito da un'alternanza tra calcari e calcari dolomitici, micritici, compatti e tenaci di colore biancastro, grigio chiaro o nocciola, in strati di spessore variabile da qualche centimetro a circa un metro. A luoghi gli strati si presentano fittamente laminati. In più luoghi gli stessi risultano fratturati e disarticolati (Bossio *et al.*, 2006). Una perforazione effettuata a monte di Acquatina ha attraversato i sedimenti calcarei del Cretaceo ad una profondità di circa di 50 m dal piano campagna (Margiotta & Negri, 2004), per cui ipotizzando un ragionevole approfondimento verso l'area costiera è verosimi-

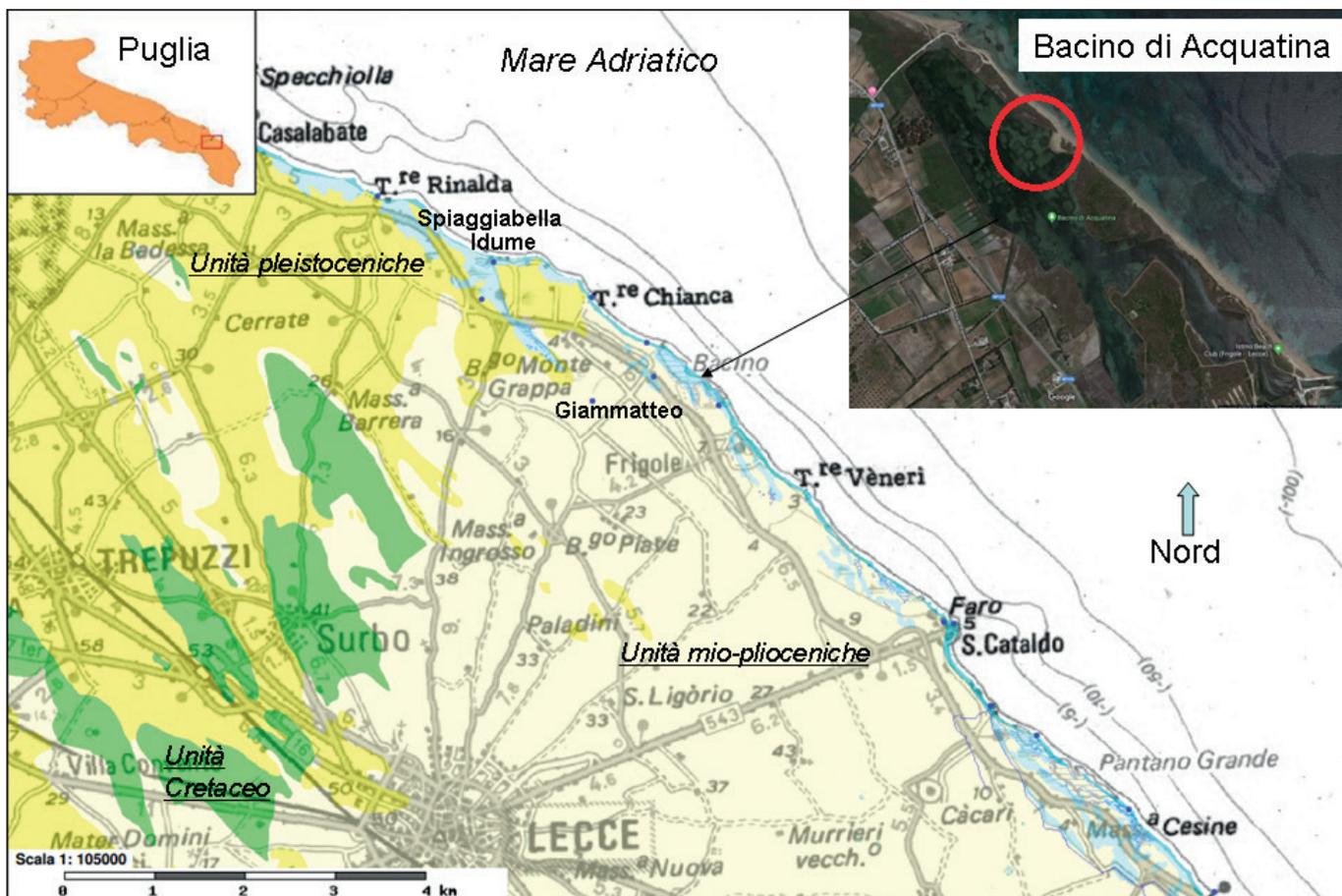


Figura 1 - Carta Idrogeomorfologica (fonte: Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale) dell'area vasta di studio, con indicazione del bacino di Acquatina.

le che gli stessi calcari si trovino a circa 90 m – 100 m di profondità rispetto al livello dell'acqua del bacino. All'interno di questa unità, negli spazi delle fratture e faglie allargate dai processi carsici, circola la falda principale, a pelo libero dove i calcari sono affioranti o sopra il livello del mare ed in pressione dove invece il tetto dei calcari si spinge in profondità sotto il livello del mare, confinato da sedimenti miocenici impermeabili (Giudici *et al.*, 2012). La mobilità delle acque di questa falda è in relazione ai caratteri di permeabilità, così come ben evidenziato nella vicina area del fiume Idume (Magri & Troisi, 1969; Tadolini *et al.*, 1971; Cotecchia, 1977, 2014): attraverso misure della velocità di filtrazione con traccianti radioattivi, sono state rilevate velocità medie di 11 cm al giorno nei tratti maggiormente fratturati e di 2–3 cm al giorno in quelli meno permeabili. Misure di salinità condotte in corrispondenza di questo acquifero ne hanno messo in evidenza la elevata salinizzazione, tanto maggiore quanto più ci si avvicina alla costa.

Sui depositi del Cretaceo, in mancanza dei sedimenti oligo-miocenici della Formazione di Galatone e di Lecce, poggiano quelli miocenici della Pietra Leccese e delle Calcareniti di Andrano. Nella sua espressione generale la Pietra Leccese è una biomicrite giallo-paglierino a prevalenti organismi planctonici e con bentonici indicativi della parte più profonda della zona neritica esterna. La Pietra Leccese è il risultato della trasgressione marina che interessa quasi tutto il territorio salentino nel Miocene. I fondali marini dovevano inoltre essere interessati dall'azione erosiva/dispersiva delle correnti, responsabile di una lacunosità nella successione sedimentaria, riscontrata tutta entro un intervallo più o meno intensamente glauconitico che caratterizza la porzione sommitale dell'unità. La Calcareniti di Andrano sono il prodotto sedimentario di un trend regressivo che caratterizza il Miocene superiore in questa porzione di territorio. Con i calcari e calcareniti di questa unità, i cui ricchi contenuti fossiliferi sono indicativi di un contesto ambientale di acque basse, si chiude la sedimentazione messiniana locale e nell'intero Salento, mentre il Bacino Mediterraneo si apprestava a conoscere la ben nota "crisi di salinità". Questa unità è largamente affiorante nel tratto immediatamente a monte del bacino dell'Acquatina. Dal punto di vista idrogeologico, le calcareniti che costituiscono la base della Pietra Leccese sono molto fini, marnose soprattutto verso il basso stratigrafico, costituendo una copertura impermeabile per la falda principale, e un letto per le falde superficiali circolanti nei livelli sovrastanti. Questi ultimi sono caratterizzati da calcari dolomitici, arenarie calcaree a grana grossa passanti superiormente a calcareniti glauconitiche verdognole ricche in fossili, e quindi calcari dolomitici e calcari. Tali livelli intermedi, spessi circa 20 m nell'area dell'Idume, si presentano particolarmente fratturati e carsificati, e quindi ospitano un acquifero di acqua piuttosto dolce che diviene maggiormente salina laddove contaminata dalle acque dell'acquifero posto a maggiore profondità. Proprio l'intervallo glauconitico risultò, nelle

ricerche condotte da Tadolini *et al.* (1971), essere quello in cui le acque hanno la maggiore mobilità (anche 18 m al giorno, sebbene questo dato andrebbe depurato del contributo delle altre falde). L'ultimo livello miocenico, quello stratigraficamente più alto, è caratterizzato da calcareniti biancastre ben compatte e scarsamente permeabili.

Sull'unità miocenica poggia una massa caotica di grossi clasti in genere non elaborati, spesso qualche decina di metri e che caratterizza proprio l'area a sud, contermine il bacino. Questa breccia è stata interpretata come la breccia di trasgressione della successiva unità pliocenica (Bossio *et al.*, 2006), come il prodotto dello smantellamento del substrato miocenico una volta andato in emersione (Bossellini *et al.*, 1999), o derivante dall'effetto di scivolamenti gravitativi durante la deposizione (Ricchetti, 2009).

Sulla breccia calcarea poggiano i sedimenti calcarenitici pliocenici della Formazione di Uggiano la Chiesa: questi, sempre di ambiente marino, sono a luoghi visibili in corrispondenza dei tagli dei canali di bonifica. Si tratta di depositi calcarenitici a grana grossa con spessori massimi di 6-7 m, ospitanti una falda acquifera che poggia sull'ultimo livello impermeabile miocenico. Questi depositi sono permeabili per porosità e, secondariamente, per fratturazione. La salinità è generalmente contenuta in qualche grammo/litro ed aumenta man mano che ci si avvicina al mare.

La costa, bassa e prevalentemente sabbiosa, è caratterizzata da un discontinuo sistema di dune. La discontinuità nel cordone dunare è legata ad erosione per fenomeni naturali (testimoniata dai gradini formati al piede della duna che scoprono il substrato roccioso, dalle ampie aree dunari prive di vegetazione e dalle profonde incisioni) e/o a fatti antropici (scavi per accessi alla spiaggia, per viabilità, ecc.). A luoghi, sono presenti più cordoni dunari di ordine differente. In più punti è visibile l'evoluzione da una condizione di dune controllate dalla vegetazione ad una di dune "libere" nella quale il vento può prelevare grandi quantità di sabbia rimodellando l'intera fascia dunare. Venendo infatti a mancare interi tratti di cordoni, nonché estesi di vegetazione, le particelle sabbiose, con fenomeni di saltazione, invadono gli ambienti palustri retrostanti. A ridosso della zona costiera prevalgono, infine, estese aree palustri, a luoghi colmate per opere di bonifica; i depositi relativi sono caratterizzati da torba frammista a percentuali variabili di fango sabbioso-limoso ed argilla. Laddove i sedimenti sono di ambiente lagunare, questi sono rappresentati da limi argillosi e/o sabbioso-argillosi, a struttura laminitica e di colore grigio-verde e nocciola, i quali contengono residui carboniosi e concrezioni calcaree interessate da patine di ossidazione.

All'interno delle aree palustri è possibile osservare, a luoghi, depressioni prevalentemente circolari associate a fenomeni di *sinkhole* (1 dolina ogni 4600 mq, con densità massima di 1 evento ogni 2500 mq nella palude che occupa parte dell'abitato di Torre Rinalda; Margiotta & Parise, 2019). Si tratta di *sinkhole* di crollo dei quali è pressoché impossibile monitorare gli sprofondamenti a



Figura 2 - Alcuni esempi di dissesti negli abitati di Casalabate (foto a, da Margiotta *et al.*, 2012), Torre Rinalda (foto b, con in primo piano un *sinkhole*, e c) e Spiaggiabella (foto d). Tutti questi abitati, così come parte di quello di Torre Chianca, sono ubicati in corrispondenza di originarie zone paludose.

causa delle coperture di vegetazione. Delle Rose & Parise (2002) hanno proposto un modello di evoluzione per l'area delle Cesine: il modello parte dall'individuazione dei singoli *sinkhole*, la cui distribuzione appare controllata dall'andamento dei principali lineamenti tettonici nell'ammasso roccioso calcarenitico. Crolli e ribaltamenti avvengono ai margini dei *sinkhole*, ampliandoli e riducendo i ponti di roccia esistenti tra uno sprofondamento e l'altro. Tali distacchi, favoriti dallo sviluppo di processi ipercarsici connessi al miscelamento tra acque dolci e acque salate e, almeno localmente, da processi di carattere biocarsico, risultano ancora controllati dalle discontinuità tettoniche. La forma dei *sinkhole* tende così a cambiare, da circolare (tipica dei fenomeni singoli) ad ellittica o allungata lungo le direzioni dei principali assi tettonici. L'ulteriore allargamento dei *sinkhole*, mediante distacchi progressivi, produce la genesi di morfologie composte e di ampie aree allagate, che si estendono per qualche migliaio di metri quadri formando quelli che sono le attuali aree paludose.

Le aree retrodunali sono quasi ovunque occupate da abitazioni, che si trovano così in condizioni di elevata sus-

scettibilità ai crolli (Fig. 2) ed agli allagamenti (Fig. 3), particolarmente frequenti nei centri di Casalabate, Torre Rinalda, Spiaggiabella e Torre Chianca (Margiotta *et al.*, 2012; Margiotta & Parise, 2019).

In queste aree la suscettibilità ai fenomeni di dissesto è essenzialmente legata ai seguenti fattori:

- realizzazione di abitazioni in aree fortemente dinamiche e quindi soggette a mutazioni, quali sono proprio quelle costiere;
- erosione da parte del moto ondoso che, ove manca il cordone dunare, impatta direttamente sulle abitazioni;
- scarse proprietà fisico-meccaniche dei sedimenti argillosi palustri che costituiscono terreno di fondazione delle abitazioni;
- condizioni geologiche s.l. favorevoli alla formazione di *sinkhole* per fenomeni di ipercarsismo.

Allo stesso modo la elevata suscettibilità agli allagamenti è connessa a:

- impermeabilizzazione mediante l'edificato di vasti areali che un tempo occupavano aree paludose depresse e quindi naturalmente predisposte agli allagamenti;



Figura 3 - Esempio di allagamento a Spiaggiabella.

- natura argillosa dei sedimenti palustri che non consentono una rapida infiltrazione delle acque;
- la presenza di una falda superficiale immediatamente sottostante il piano campagna che favorisce l'immediata saturazione del franco libero sfavorendo, al contempo, l'assorbimento delle acque meteoriche;
- l'impermeabilizzazione delle strade, in gran parte asfaltate con materiali bituminosi scarsamente drenanti. Si segnala che, in alcune aree, dove sono stati fatti lavori che hanno comportato lo scavo e la rimozione del manto stradale, queste operazioni hanno fatto sì che la falda, non essendo più confinata da un tetto impermeabile, fuoriesca provocando allagamenti;
- l'apertura di varchi nel cordone dunale che permette l'invasione del mare. Tali aperture sono state localmente effettuate dagli stessi residenti nel tentativo, mal riuscito, di risolvere il problema degli allagamenti eliminando l'ostacolo per il deflusso a mare delle acque meteoriche.

### 3. IL CONTESTO AMBIENTALE DI ACQUATINA

La configurazione attuale di Acquatina è il frutto della sovrapposizione agli elementi naturali di importanti opere di bonifica compiute nella prima metà del secolo scorso e che avevano sostanzialmente un duplice scopo: igienico per il debellamento della malaria, e economico per lo sfruttamento delle aree a fini agricoli ed ittici. L'analisi delle trasformazioni del paesaggio di Acquatina non può essere scissa da quella del Fiume Giammatteo che in tale bacino si immette.

L'esame della cartografia del 1879 (la prima a disposizione che sia rilevata con metodi "moderni", Fig. 4) in scala 1:50.000, evidenzia infatti come un tempo il corso

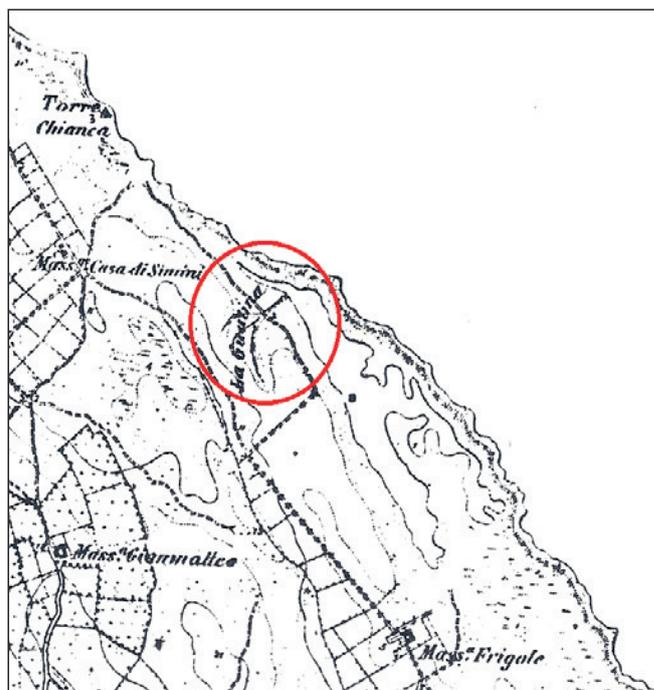


Figura 4 - Stralcio della tavoletta redatta dall'IGM nel 1879, dalla quale chiaramente si evince come il Giammatteo (indicato con il toponimo la Guatina) si immetteva direttamente nel lago di Acquatina.

d'acqua sfociasse esclusivamente nel bacino dell'Acquatina, senza alcuno sbocco a mare (come invece oggi avviene).

I primi tentativi di bonifica del territorio furono compiuti a partire dal 1870 da Federico Libertini, che era proprietario di gran parte dei terreni compresi tra la Torre Veneri e Torre Chianca. I lavori di Libertini consistettero nella realizzazione di una rete di canali sfocianti in mare e nel bacino di Acquatina stessa; questi canali avevano il compito di drenare le acque di più o meno vaste paludi ma ben presto i lavori di bonifica intrapresi, e che comprendevano anche l'apertura di strade per il raggiungimento dei fondi, lo spietramento degli stessi e la realizzazione di costruzioni e muretti a secco, risultarono troppo impegnativi per il Libertini, tanto che lo stesso dovette abbandonarli e morì in miseria. La bonifica dei terreni paludosi divenne nuovamente una priorità del governo nel 1900 quando Luigi Libertini, capo dell'ufficio tecnico provinciale, progettò il prosciugamento di terreni paludosi, inclusa l'Acquatina (Fig. 5). Le acque venivano convogliate direttamente a mare tramite canali, quando il fondo della palude era sopra il livello del mare. Nel caso in cui il fondo delle paludi si trovava al di sotto del livello del mare, come ad Acquatina, i canali convogliavano le acque in due vasche, una di arrivo e l'altra di scarico; da quest'ultima, attraverso macchine idrovore, le acque venivano riversate in mare. Questo sistema di bonifica risultò inefficace in quanto i canali scavati nella roccia intersecavano falde superficiali e quando le macchine idrovore smettevano di

lavorare gli specchi d'acqua ritornavano in breve tempo al livello di partenza. Nei primi anni del 1920 quindi il paesaggio era ancora caratterizzato da estese aree paludose e la malaria era piuttosto diffusa, né ebbe particolare successo il tentativo di debellarla mediante l'immissione in acqua di migliaia di gambusie, specie esotica proveniente dall'America che aveva la caratteristica di nutrirsi delle larve delle zanzare (Mainardi, 2018). Nel 1921 l'Opera Nazionale Combattenti (ONC) intraprese la gestione delle aree costiere comprendenti Acquatina ed affidò all'itttiologo Franco Cannaviello il compito di studiare la loro natura per valorizzarle. Lo studioso concluse che la palude di Acquatina dovesse essere messa in comunicazione con il mare attraverso una foce, sostenendo inoltre che la laguna così realizzata sarebbe potuta essere una ottima riserva di pesca. Gli insuccessi del prosciugamento meccanico, l'impossibilità di operare il colmamento della palude per gli enormi quantitativi di materiali necessari, e la prospettiva di creare un ambiente meno idoneo al proliferare delle zanzare mediante la salsificazione dell'ambiente palustre, oltre alla possibilità di avere un tornaconto economico dall'uso della laguna come riserva per la pesca, convinsero i tecnici dell'ONC a perseguire l'idea progettuale di Cannaviello. Nel 1931 era quindi pronto il progetto per il risanamento della palude di Acquatina attraverso l'approfondimento della sua parte centrale, il colmamento delle parti laterali che venivano sagomate con conchi, il collegamento della palude grande con quella piccola attraverso un canale e soprattutto la comunicazio-



Figura 5 - Cartografia allegata al progetto dell'Ing. L. Libertini. Si noti come originariamente il fiume Giammatteo dovesse sia defluire verso il lago di Acquatina che aggirarlo attraverso un canale che terminava a mare poco a nord del bacino stesso.

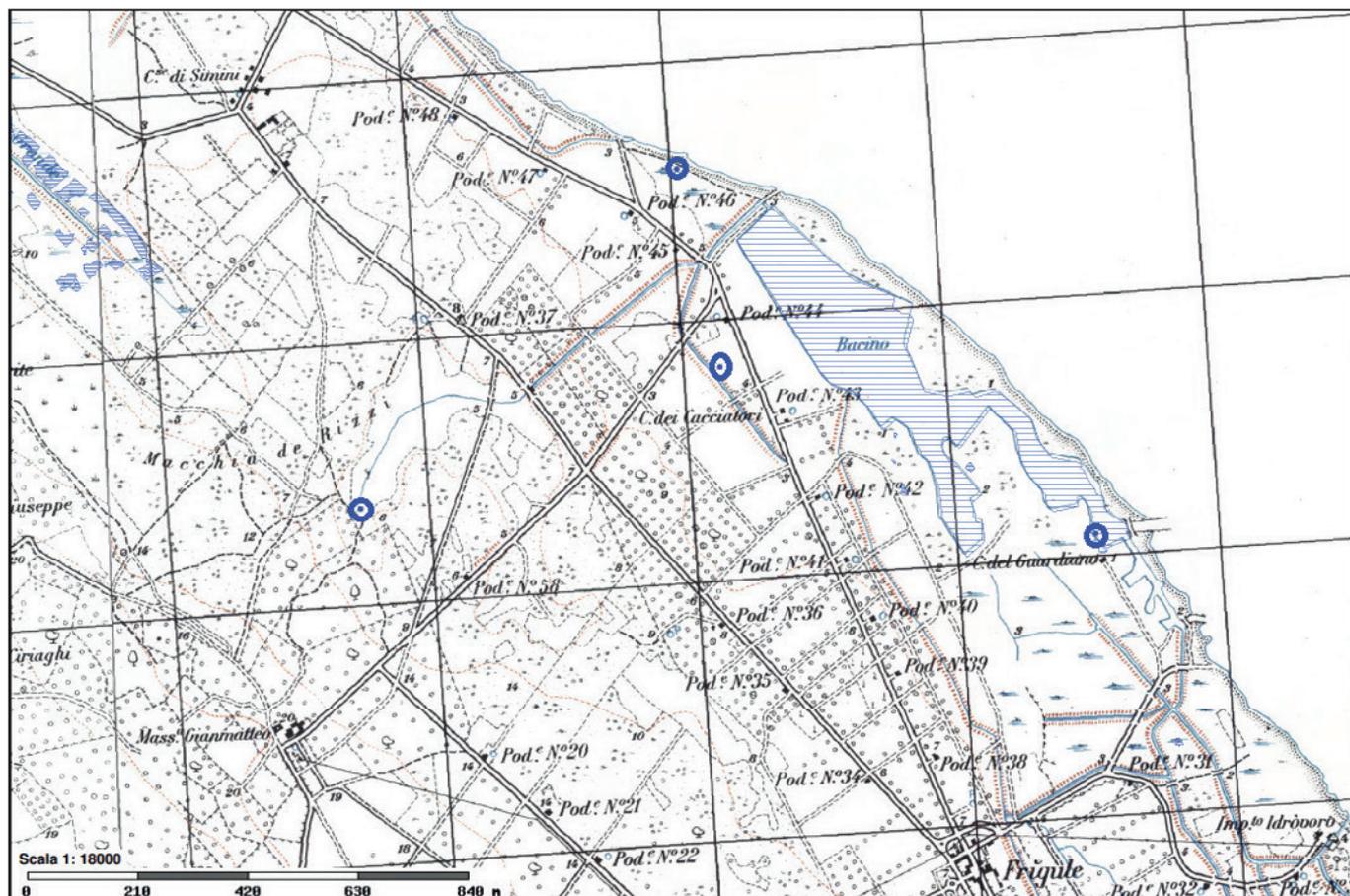


Figura 6 - Tavoletta redatta dall'IGM nel 1948. E' evidente come il fiume Giammatteo tagli il bacino di Acquatina e ne costituisca il limite settentrionale. I canali ben visibili dalla lettura della carta indicano come le opere di bonifica siano ormai compiute.

ne della palude con il mare attraverso due foci di opportuna larghezza e profondità. Nel 1936, grazie all'impiego di oltre 450 operai al giorno, l'intera opera di bonifica era compiuta, anche se si ultimò definitivamente solo quando venne sistemata anche la foce del Giammatteo, così come ora la osserviamo. Fatto sta che l'esame della tavoletta rilevata nel 1948 (Fig. 6) restituisce un ambiente praticamente identico all'attuale, in ciò testimoniando l'ultimazione dei lavori. Tale sistemazione ha comportato anche l'interruzione del sistema dell'Acquatina che un tempo era più esteso ed interessava parte delle aree poste a nord-ovest del Giammatteo, oggi interrate. Il tratto terminale del fiume è costituito da un unico canale che sfocia nel bacino di Acquatina e a mare (tramite sistemi di chiuse il recapito finale delle acque può essere variato). Il canale costituisce quindi anche il limite settentrionale dell'Acquatina. La portata del corso d'acqua è di circa 600 l/sec. La salinità del Giammatteo è risultata pressoché costante, in diverse misure effettuate nel 2018, dalle sorgenti sino alla foce, con valori di circa 2,4 g/l. Le temperature sono risultate altrettanto costanti, intorno ai 17°-18°C. Il bacino di Acquatina presenta quindi argini chiaramente di origine antropica che testimoniano i lavori di bonifica effettuati e perlopiù caratterizzati da sponde in calcestruzzo e/o blocchi di rocce per una estensione lineare di circa

5.628 m. L'andamento è subparallelo alla linea di costa e l'area interessata dalla presenza del bacino è di circa 424.634 m<sup>2</sup>. Le acque del bacino di Acquatina (misurazioni in continuo svolte all'interno del bacino nell'ultimo anno mostrano valori di salinità variabili da un minimo di 23 g/l ad un massimo intorno ai 30 g/l) provengono quindi dal Fiume Giammatteo, da una sorgente ricadente nella sua porzione meridionale (avente probabilmente medesima origine di quelle che alimentano il fiume nell'entroterra) e dalle acque marine (sia poiché il fondo del bacino è posto al di sotto del livello medio marino che in quanto il bacino comunica con il mare a mezzo di foci). Un'altra sorgente è posta nell'area palustre a nord del fiume, e che un tempo era parte integrante del bacino. Le risorgive presenti testimoniano la ricchezza dell'ambiente idrogeologico qui caratterizzato, in armonia con quanto descritto per l'area vasta da Frigole a Casalabate, da diverse falde idraulicamente sovrapposte: quella principale circola nei calcari del Cretaceo, mentre quelle mio-plioceniche sono costituite da più corpi idrici aventi estensione variabile sia in senso orizzontale che verticale. Tutte queste falde sono generalmente indipendenti in quanto separate dal livello calcarenitico marnoso di base della Pietra Leccese e dalle Calcareniti di Andrano ma di fatto, in alcune aree, laddove tali livelli presentano fratturazioni o sono interessate

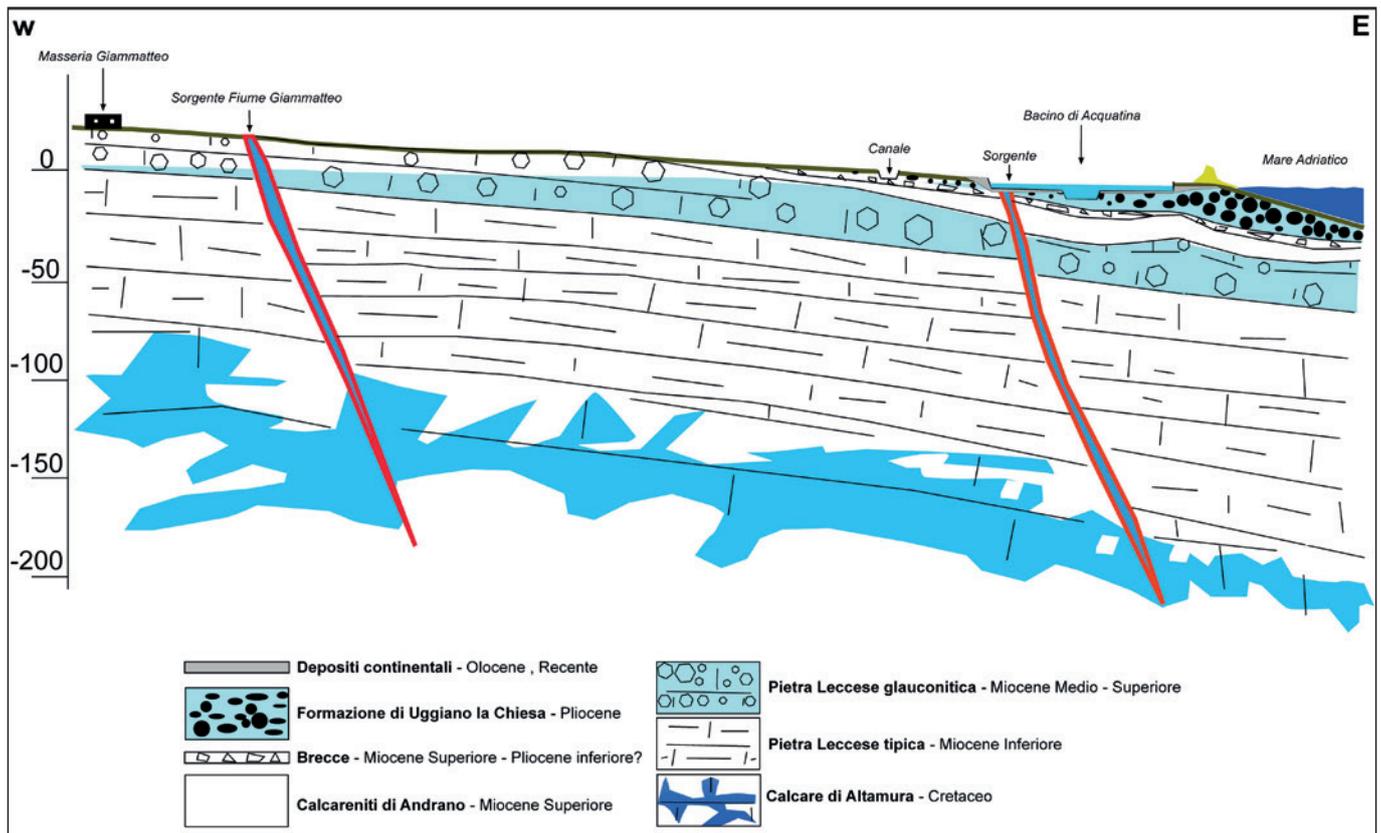


Figura 7 - Sezione idrogeologica schematica dell'area di interesse.

da carsismo, esse risultano collegate (Fig. 7). Le falde presentano livelli e carichi idraulici praticamente equivalenti ma dove ciò non avviene si osservano correnti verticali che testimoniano circolazione idrica tra le diverse falde.

Alla ricchezza idrogeologica corrisponde un'altrettanto ricca biodiversità. Il bacino di Acquatina è compreso nel Sito di Importanza Comunitaria (SIC) e Zona Speciale di Conservazione (ZSC), ai sensi della Direttiva Habitat 92/43/CEE, denominato "Acquatina di Frigole" (IT9150003), all'interno del quale sono stati individuati habitat di interesse comunitario meritevoli di tutela. Alcuni di questi, in pericolo di scomparsa, hanno carattere prioritario e sono elencati nell'allegato I della Direttiva Habitat. Si tratta delle Praterie di Posidonia (*Posidonium oceanicae*) 1120\*, le Lagune costiere 1150\* e le Dune costiere con *Juniperus* spp. 2250\*. Gli altri habitat di interesse comunitario individuati, meno fragili dei precedenti, che caratterizzano l'area protetta sono la Vegetazione annua delle linee di deposito marine 1210, la Vegetazione annua pioniera a Salicornia e altre specie delle zone fangose e sabbiose 1310, le Praterie e fruticeti alofili mediterranei e termo-atlantici (*Sarcocornietea fruticosi*) 1420, le Dune mobili del cordone litorale con presenza di *Ammophila arenaria* (dune bianche) 2120 e le Dune con vegetazione di sclerofille dei *Cisto-Lavanduletalia* 2260. Acquatina di Frigole presenta un'elevata variabilità di specie vegetali tipiche della zona salmastra, macchia mediterranea e del sistema dunale. Lungo gli argini del bacino l'astro marino *Aster tripollum*, la cannuccia di palude *Phragmites*

*australis*, e la salicornia glauca *Arthrocnemum glaucum* sono molto comuni. La macchia mediterranea ospita specie arbustive come il cisto comune *Cistus creticus*, il cisto maschio *Cistus monpellierensis* e tre specie arboree come l'ulivo, il pino marittimo e il leccio. Sono presenti anche il lentisco *Pistacia lentiscus*, il mirto *Myrtus communis*, l'ofride pugliese *Ophrys apulica*, la poligala maggiore *Polygala major*, la fillirea *Phillyrea latifolia*, la dafne gnidio *Daphne gnidium* e il vilucchio rosso *Convolvulus althaeoides*. Lungo la duna costiera si osserva l'euforbia *Euphorbia paralias*, il logliarello *Cutandia maritime* e il giglio di mare che è una delle più belle piante delle coste sabbiose. Molto resistente agli ambienti aridi e alla salsedine marina e per questo spesso utilizzato per consolidare le dune litoranee, è il fico degli Ottentotti *Carpobrotus acinaciformis* che si accompagna al ginepro coccolone *Juniperus oxycedrum*, alla salicornia bianca delle spiagge *Otanthus maritimus*, alla ginestra spinosa *Cytisus infestus* e allo sparto pungente *Ammophila littoralis*.

La varietà di ambienti e habitat presenti nell'area protetta permettono una elevata presenza di uccelli migratori e nidificanti. Alcuni di questi, elencati nell'allegato I della Direttiva Uccelli 2009/147/CE sono vulnerabili e a rischio di estinzione come l'airone rosso *Ardea purpurea*, il Tarabuso *Botarus stellaris*, l'Albanella reale *Circus cyaneus*, il Tarabusino *Ixobrychus minutus*, la Moretta tabaccata *Aythya nyroca* e infine il Cavaliere d'Italia *Himantopus himantopus*. Lungo gli argini del bacino è possibile imbattersi in numerose coppie di ardeidi come

l'Airone bianco maggiore *Ardea alba*, la Garzetta *Egretta garzetta* e stormi di cormorani *Phalacrocorax carbo*. Tra i rapaci è presente il falco di palude *Circus aeruginosus* che in primavera nidifica tra la vegetazione che circonda la laguna. Tra gli anatidi sono presenti il germano reale *Anas platyrhynchos*, la marzaiola *Anas querquedula* e l'alzavola *Anas crecca*. Le acque della laguna ospitano anche un'abbondante ittiofauna e differenti specie di crostacei e molluschi. Tra questi ultimi il più grande bivalve endemico del Mediterraneo la *Pinna nobilis* specie protetta inserita nell'allegato IV della Direttiva Habitat, e recentemente inclusa nella lista rossa delle specie minacciate dell'Unione Internazionale per la Conservazione della Natura (IUCN; <https://www.iucnredlist.org>) nella categoria "in pericolo critico" a causa della pesca illegale, il prelievo a scopo ornamentale, i cambiamenti climatici e la presenza di parassiti (Marocco *et al.*, 2018, 2019; Pinna *et al.*, 2017, 2018). Sono presenti anche piccoli anfibi e rettili di interesse comunitario come la testuggine d'acqua o palustre *Emys orbicularis*, il cervone *Elaphe quatuorlineata* and il colubro leopardino *Elaphe situla*.

Recentemente, è stata anche osservata la presenza di specie aliene o invasive tra cui gli ctenofori *Beroe ovata* and *Mnemiopsis leidyi*, l'alga verde *Caulerpa cylindracea* ed il granchio blu *Callinectes sapidus*.

#### 4. L'EVOLUZIONE DEL BACINO NEGLI ULTIMI 14 ANNI

L'ambiente di Acquatina è ben lungi dall'aver raggiunto un equilibrio definitivo, ed è fortemente dinamico. Negli ultimi 14 anni infatti, l'osservazione delle foto aeree ha messo in evidenza la presenza di numerosi ele-

menti circolari le cui dimensioni e densità sono aumentati progressivamente nel corso degli anni (Fig. 8). L'evoluzione di questi elementi circolari può essere effettuata a partire dal 2006, anno a cui risalgono le prime foto aeree aventi una buona risoluzione. È evidente che il processo ha avuto inizio in corrispondenza della parte centrale del bacino, laddove è presente il canale costruito per la bonifica della originaria palude. Nel 2006 già un numero elevato di forme circolari era presente lungo tale canale, con una particolare concentrazione proprio in corrispondenza dell'incrocio con un altro canale ortogonale, mentre relativamente pochi erano quelli visibili nelle restanti parti del bacino. Prendendo come riferimento la porzione più settentrionale del bacino, delimitata dai due canali ortogonali tra loro e dal perimetro esterno nord-orientale del bacino, possiamo vedere come, nel 2006 siano riconoscibili perlomeno 3 elementi circolari, due dei quali con contorno chiaramente visibile e diametro di circa 58m (quello posto ad est) e 56m. Alcune morfologie circolari di minori dimensioni (diametro di una decina di metri) sono presenti nella porzione settentrionale del bacino.

L'analisi delle fotografie aeree del 2008 evidenzia l'avanzata del fenomeno: i due *sinkhole* presenti in corrispondenza del canale, riconosciuti nelle foto 2006, hanno raggiunto diametro di 62 m e nuove morfologie si sono sviluppate all'interno del bacino. Esse sembrano allineate in direzione NW-SE (la stessa di allungamento del bacino), con il *sinkhole* maggiore che presenta diametro di 20 m. La foto aerea del 2010 mostra come praticamente l'intera porzione dei canali sia interessata da queste forme, tanto che con difficoltà si distinguono i singoli elementi, ormai in fase di coalescenza con quelli limitrofi. Anche

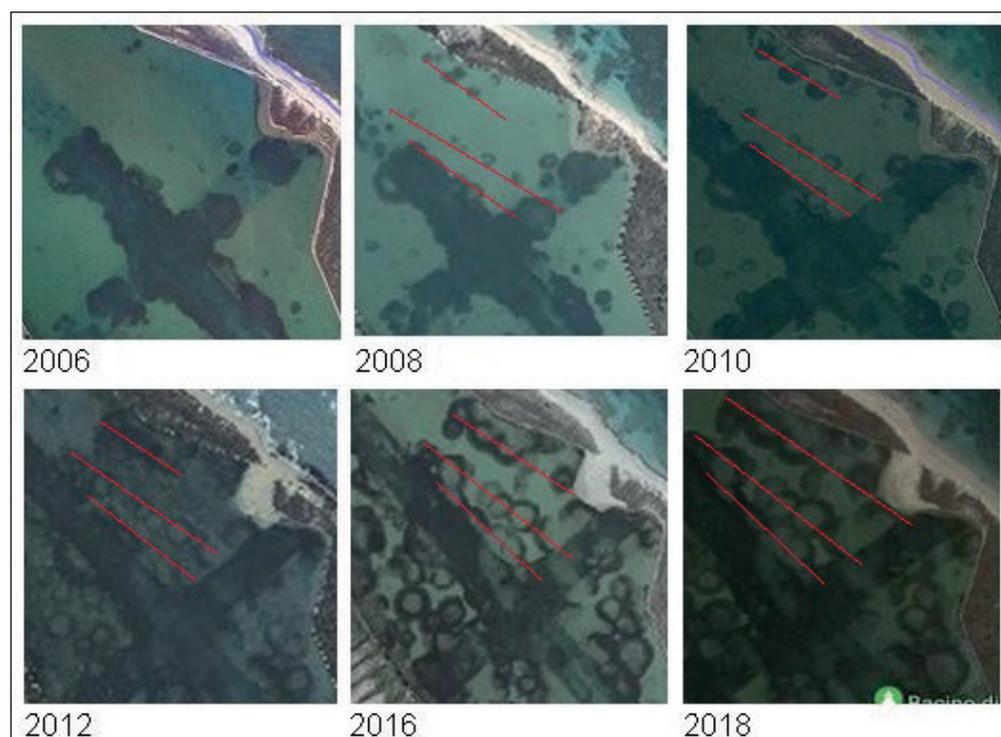


Figura 8 - Evoluzione temporale dei *sinkhole* di Acquatina. Il dettaglio si riferisce all'area nel circolo rosso di Figura 1. Si noti come i *sinkhole* siano allineati in direzione NW-SE.

all'interno del bacino i *sinkhole* sono aumentati in numero (sempre secondo la direzione anzidetta) e dimensioni (i più grandi presentano in tale data circa 30 m di diametro). Lo stesso trend si può notare nelle foto del 2012 con i *sinkhole* di formazione più antica che hanno raggiunto i 40 m di diametro, mentre alcune morfologie cominciano ad unirsi. Nel 2016 il diametro delle forme di maggiore dimensione sfiora i 50 m e sono numerose le coalescenze. Infine, le foto del 2018 evidenziano come quasi l'80 % della superficie del bacino qui analizzata è interessata da morfologie tipo *sinkhole*.

Nel febbraio del 2019 sono stati effettuati dei sopralluoghi che hanno consentito di confermare come le forme circolari descritte siano delle depressioni doliniformi (con massimi dislivelli tra bordi e centro della depressione stimati inferiori al metro) il cui perimetro è messo in evidenza dallo sviluppo di *Cymodocia nodosa* (Fig. 9). Questa specie è una pianta acquatica marina, con un fusto eretto di piccole dimensioni, che presenta da 2 a 5 foglie nastriformi di colore verde, larghe 3-4 mm e lunghe sino a 40 cm. La pianta ha un robusto rizoma, con radici inserite ad ogni internodo, molto ramificate. La sua presenza sta a sottolineare il tipo di substrato del bacino, prevalentemente sabbioso e fangoso, la trasparenza dell'acqua che ben facilita la penetrazione della luce, la poca profondità della laguna e la sua scarsa dinamicità. Essa ben vive, difatti, in ambiente lagunare, ma quando la salinità scende troppo, scompare o viene sostituita dalla specie *Zostera spp.*



Figura 9 - Il dislivello apprezzabile tra i bordi degli sprofondamenti e la parte centrale. In primo piano sviluppo rigoglioso di *Cymodocia nodosa*.

Nello stesso periodo è stato effettuato un telerilevamento mediante l'impiego di un drone dji Phantom 4 pro ad un'altezza di 60 m e con risoluzione dell'ortomosaico di 1,57/pix. Il rilevamento ben evidenzia lo stato dei luoghi (Fig. 10) e permette di stimare con ottima risoluzione i processi di allargamento delle depressioni (le più ampie sfioravano, al momento delle misure, i 60m).

Nel Luglio 2019 sono stati poi eseguiti rilievi all'interno del bacino con un R.O.V. (*Remotely Operated Vehicle*), modello BLUROV della Blu-Robotics (Fig. 11). Il veicolo filoguidato è stato equipaggiato con telecamera subacquea *full HD*, termometro, ecoscandaglio a *singlebeam* e GPS di superficie (modello GARMIN ECHO MAP 72sv). All'interno dell'area sono stati eseguiti dal ROV n. 5 transetti continui denominati tr01, tr02, tr03, tr04 e tr05 paralleli tra loro e alla costa, e n. 5 transetti perpendicolari alla linea di costa continui denominati tr06, tr07, tr08, tr09 e tr10 per un totale di circa 1 km di percorso indagato. Durante il tragitto eseguito dal veicolo filoguidato sono state registrate n. 4 tracce (rispettivamente, della lunghezza di 97 m, 274 m, 310 m e 304 m) con i relativi dati di profondità, di temperatura dell'acqua e di posizionamento del ROV, mentre la registrazione video è stata fatta solo in parte dato che il movimento del mezzo sul fondale, ha provocato una sospensione eccessiva del sedimento fangoso rendendo nulla la visibilità. I dati registrati hanno consentito di verificare come le porzioni più profonde del bacino siano poste a 1,2 m mentre le meno profonde sono a 0,3 m. In corrispondenza delle prime le temperature sono mediamente di 29,7° (con minimi di 29,4° e pochi punti superiori ai 30°) mentre nelle seconde la temperatura sale di circa un grado (Fig. 11).

## 5. INTERPRETAZIONE DEI RILIEVI EFFETTUATI

I rilevamenti condotti consentono di interpretare la natura delle forme visibili nel bacino di Acquatina e di ipotizzarne i meccanismi di formazione (Fig. 12). L'evidenza che l'iniziale sviluppo dei *sinkhole* sia avvenuto in corrispondenza dei canali scavati all'interno del bacino consente di ipotizzare che gli scavi abbiano indebolito e assottigliato gli strati di roccia calcarenitica che costituivano la volta di cavità poste all'interno dei sedimenti miopliocenici, generatesi per processi di ipercarsismo. L'ampliamento verso l'alto di queste cavità ha determinato innanzitutto il crollo delle volte laddove queste erano meno spesse (in corrispondenza dei canali) e magari la roccia più fratturata anche per i lavori di scavo effettuati. Questi crolli hanno favorito l'allargamento delle cavità anche nelle porzioni interne del bacino, in corrispondenza di lineazioni tettoniche orientate NW-SE, probabilmente associate all'asse della piega sinclinale in cui si è sviluppata l'intera originaria palude di Acquatina. Il controllo tettonico nell'evoluzione delle forme è piuttosto evidente. La presenza di coperture sabbiose limose ha quindi innescato meccanismi di *suffosion sinkhole* con movimento, attraverso le principali discontinuità, verso il basso dei depositi incoerenti a riempire i vuoti generatisi nelle calcareniti

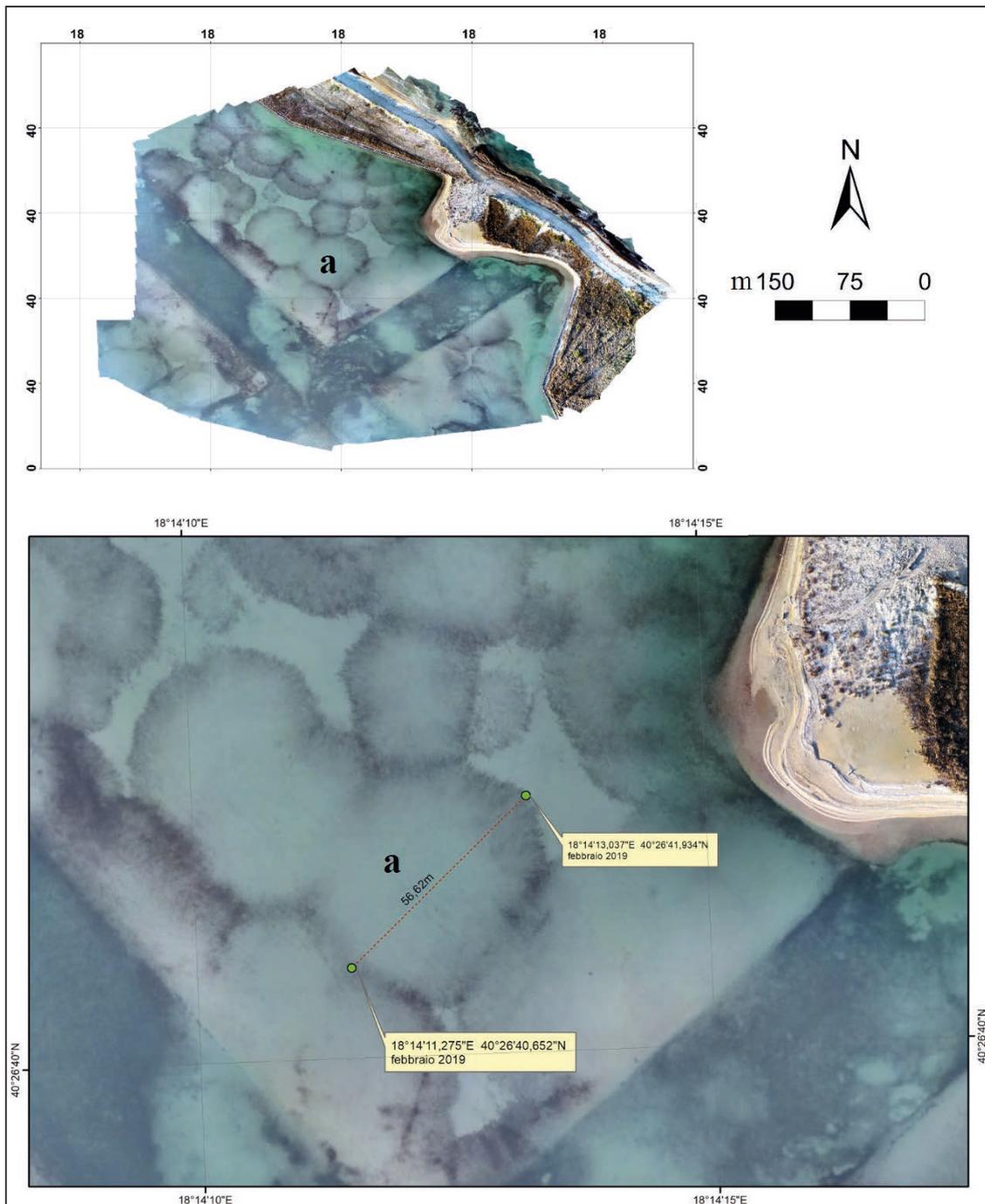


Figura 10 - Risultati dei rilevamenti effettuati con il drone.

mio-plioceniche. La risalita di acque meno calde dal basso ed il contemporaneo sprofondamento della parte centrale delle depressioni non è favorevole all'attecchimento della *Cymodocia nodosa* che si sviluppa invece rigogliosamente ai bordi delle depressioni. Il tasso di allargamento dei *sinkhole*, sulla base della ricostruzione cronologica da noi effettuata, è stimabile in circa 5 m l'anno.

6. CONCLUSIONI

Lo sviluppo di *sinkhole* ha un rilevante impatto sulle attività umane con particolare riferimento a quelle ne-

gli ambienti costieri laddove le occupazioni antropiche hanno interessato, nel corso dei decenni, aree con terreni suscettibili a fenomeni di sprofondamento. Questa situazione è ben leggibile lungo il litorale adriatico leccese dove però spicca la situazione del bacino di Acquatina. Questo ultimo, per la sua natura di laguna ed in quanto facente parte di un SIC, è stato risparmiato dagli sviluppi urbanistici e consente oggi di osservare l'evoluzione dei processi che generano gli sprofondamenti. In sintesi, il bacino di Acquatina rappresenta un importante laboratorio di osservazione dei fenomeni di *sinkhole* che interes-

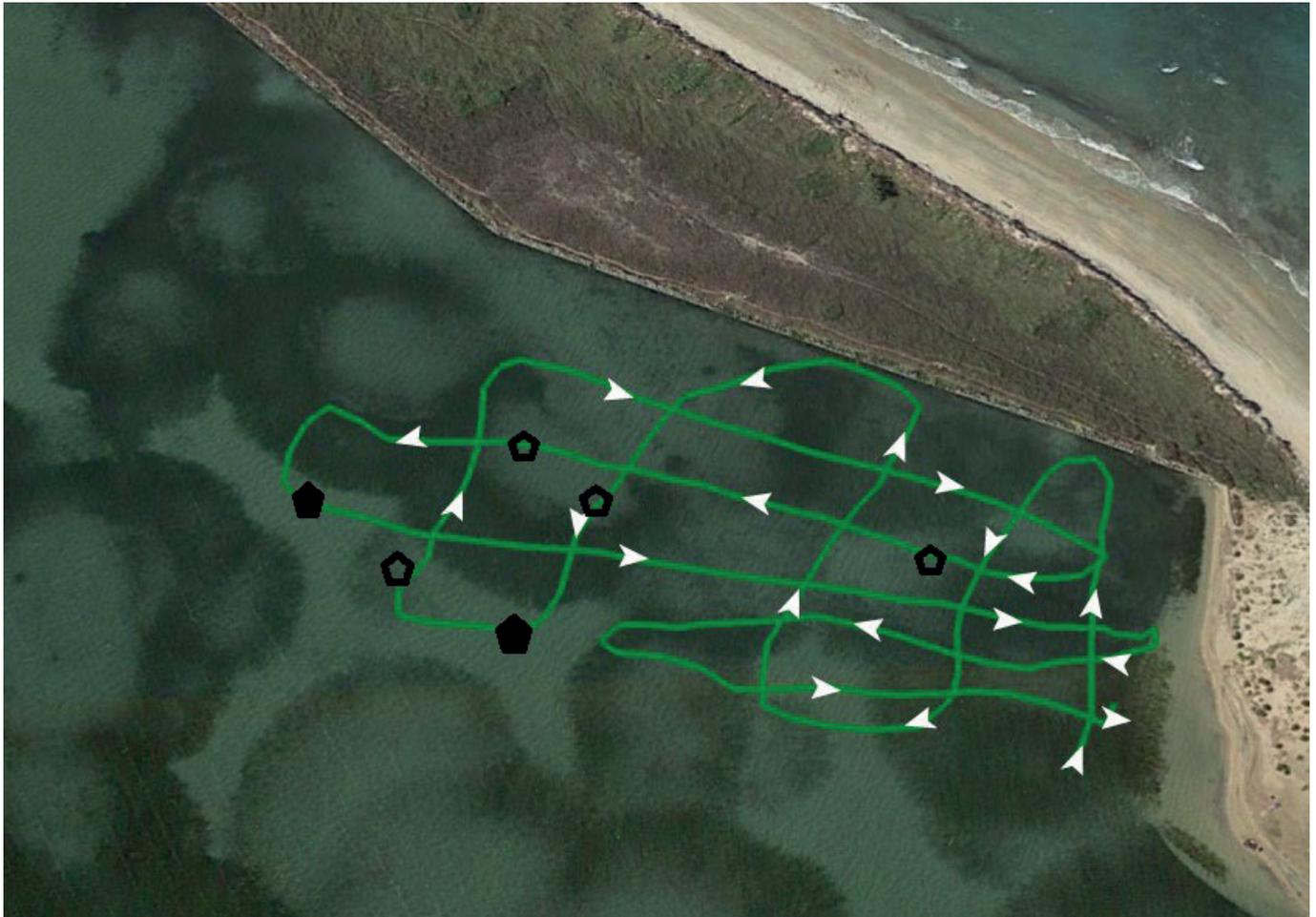


Figura 11 - Area investigata con il ROV: con i poligoni neri sono indicate le aree più profonde alle quali corrispondono temperature più basse. Si notino i due poligoni pieni in quanto apparentemente non ricadono in aree di sprofondamenti circolari. Potrebbe trattarsi di processi in neoformazione.

sano i territori costieri. In questa ottica il monitoraggio dell'evoluzione del fenomeno appare indispensabile e una possibilità è fornita dall'impiego del telerilevamento mediante APR che consente di rilevare in modo economico, rapido e replicabile nel tempo, aree anche molto estese con una risoluzione del centimetro per pixel. Anche i rilievi con ROV hanno dato ottime indicazioni (sia per quanto riguarda le batimetrie che i parametri fisici) ma questi potrebbero essere ulteriormente integrati con altri, quali ad esempio quelli con sistemi tipo *Sub Bottom Profiler*, allo scopo di delineare con dettaglio il profilo del substrato roccioso sotto i sedimenti sabbioso-limosi. Inoltre, si potrebbero programmare rilievi di tipo geofisico allo scopo di migliorare il dettaglio dei modelli, così come sarebbe auspicabile la realizzazione di una perforazione a carotaggio continuo spinta sino ai calcari del Cretaceo e con rilevamento delle falde idriche presenti.

#### BIBLIOGRAFIA

BASSO A., BRUNO E., PARISE M. & PEPE M. (2013) - *Morphometric analysis of sinkholes in a karst coastal area of southern Apulia (Italy)*. Environmental Earth Sciences 70 (6), 2545-2559.

BECCARISI L., ERNANDES P., DELLE ROSE M. & ZUCCARELLO V. (2006) - *Valutazione dello stato di conservazione delle "spunnulate" della costa di Porto Cesareo e Nardò (provincia di Lecce) con un approccio vegetazionale*. *Thalassia Salentina*, 29, 215-236.

BOSELLINI A., BOSELLINI F.R., COLALONGO M.L., PARENTE M., RUSSO A. & VESCOGNI A. (1999) - *Stratigraphic architecture of the Salento coast from Capo d'Otranto to S. Maria di Leuca (Apulia, Southern Italy)*. *Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia*, 105, 397-416

BOSSIO A., FORESI M.L., MARGIOTTA S., MAZZEI R., SALVATORINI G. & DONIA F. (2006) - *Stratigrafia neogenico-quadernaria del settore nord-orientale della Provincia di Lecce (con rilevamento geologico alla scala 1:25.000)*. *Geologica Romana* 39, 63-88.

BRUNO E., CALCATERRA D. & PARISE M. (2008) - *Development and morphometry of sinkholes in coastal plains of Apulia, southern Italy. Preliminary sinkhole susceptibility assessment*. *Engineering Geology* 99, 198-209.

COTECCHIA V. (1977) - *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. *Quaderni dell'Istituto Ricerca sulle Acque, CNR*, 462 pp.

COTECCHIA V. (2014) - *Le acque sotterranee e l'intru-*

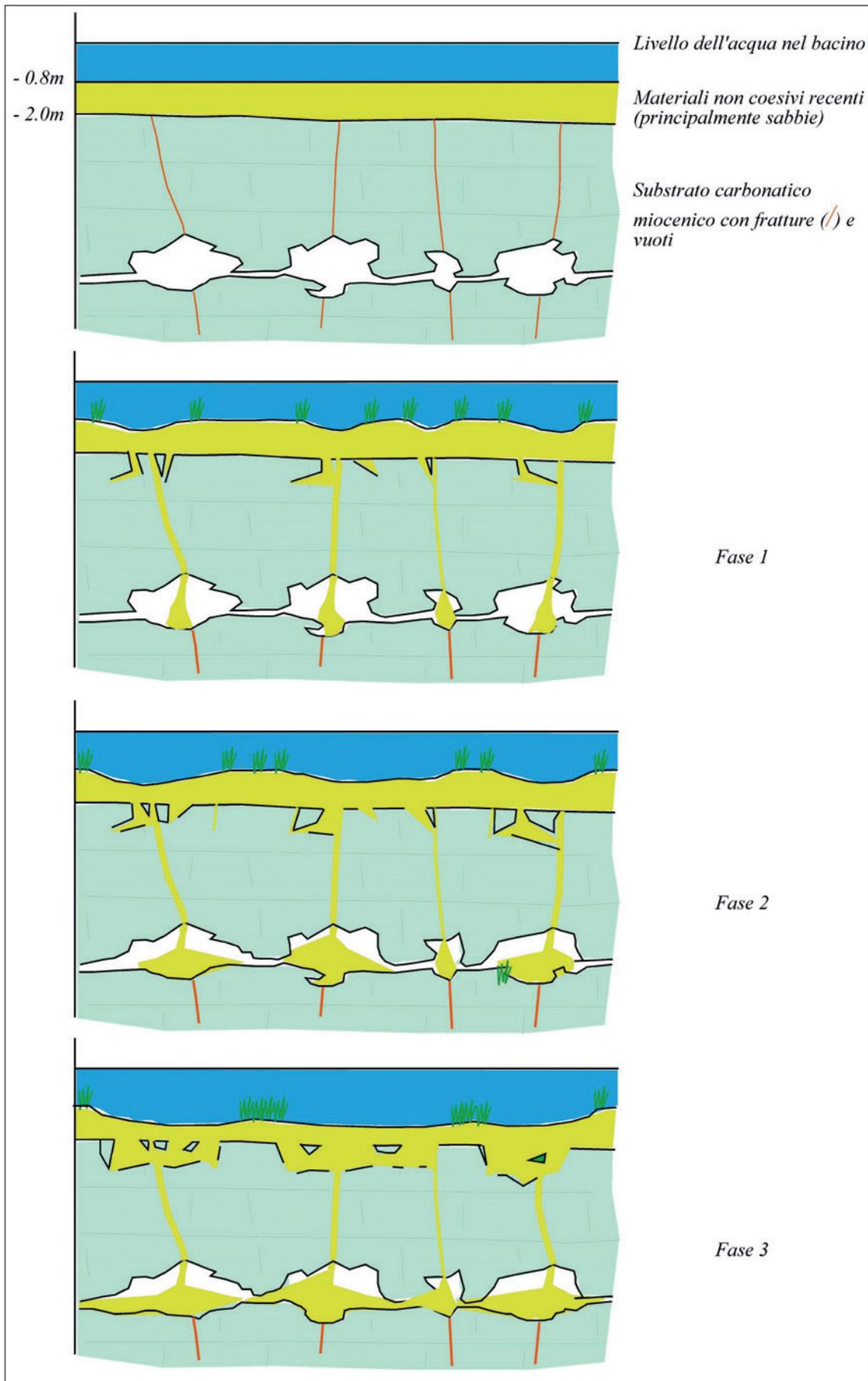


Figura 12 - Modello schematico di formazione dei *sinkhole*. Nella fase 1, le sabbie penetrano negli spazi vuoti delle fratture allargate del substrato roccioso, cominciando a riempire cavità sotterranee. Tale movimento, oltre alla risalita di acque più fredde inibisce l'attecchimento della *Cymodocia nodosa* che al contrario si sviluppa rigogliosa ai bordi delle depressioni. Nella fase 2 il progredire dei processi genera la coalescenza delle forme. Nella fase 3 le aree interessate dai processi di sprofondamento sono così vaste da generare un generale abbassamento del bacino sino alla determinazione di una nuova condizione di equilibrio.

sione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa. Memorie Descrittive Carta Geologica d'Italia, vol. 92, 416 pp.

DELLE ROSE M. & PARISE M. (2002) - *Karst subsidence in south-central Apulia Italy*. International Journal of Speleology, vol. 31 (1/4), p. 181-199.

DELLE ROSE M., FEDERICO A. & PARISE M. (2004) - *Sink-hole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment*. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 4, 747-755.

DEL PRETE S., DI CRESCENZO G., SANTANGELO N. & SANTO A. (2010a) - *Collapse sinkholes in Campania (southern Italy): predisposing factors, genetic hypothesis and susceptibility*. Z. Geomorphol. 54, 259-284.

DEL PRETE S., IOVINE G., PARISE M. & SANTO A. (2010b) - *Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy*. Geodinamica Acta, vol. 23 (1/3), 113-127.

DENITTO F., MOSCATELLO S., PALMISANO P., POTO M. & ONORATO R. (2006) - *Novità speleologiche, idrologiche e naturalistiche dalla Palude del Capitano (pSIC IT9150013), Costa Neretina (Lecce)*. Thalassia Salentina, 29 (suppl.), 99-116.

DE WAELE J., GUTIÉRREZ F., PARISE M., PLAN L. (2011) - *Geomorphology and natural hazards in karst areas: a review*. Geomorphology 134, 1-8.

FIORE A. & PARISE M. (2013) - *Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l'ambiente antropizzato*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, 93, 239-252.

FORD D.C. & WILLIAMS P. (2007) - *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Wiley, Chichester, 562 pp.

FORTH R.A., BUTCHER D. & SENIOR R. (1999) - *Hazard mapping of karst along the coast of the Algarve, Portugal*. Eng. Geol. 52 (1-2), 67-74.

FRUMKIN A., EZERSKY M., AL-ZOUBI A., AKKAWI E., & ABUELADAS A.R. (2011) - *The Dead Sea sinkhole hazard: geophysical assessment of salt dissolution and collapse*. Geomorphology, v. 134, 1102-1117.

GIL H., PEPE M., SORIANO M.A., PARISE M., POCOVÌ A., LUZON A., PEREZ A. & BASSO A. (2013) - *Sviluppo ed evoluzione di sprofondamenti in rocce solubili: un confronto tra il carso coperto del Bacino dell'Ebro (Spagna) e la Penisola Salentina (Italia)*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia, vol. 93, p. 253-276.

GIUDICI M., MARGIOTTA S., MAZZONE F., NEGRI S. & VASSENA C. (2012) - *Modelling hydrostratigraphy and groundwater flow of a fractured and karst aquifer in a Mediterranean basin (Salento peninsula, southeastern Italy)*. Environmental Earth Science 67, 1891-1907.

GUTIERREZ F., PARISE M., DE WAELE J. & JOURDE H. (2014) - *A review on natural and human-induced geohazards and impacts in karst*. Earth Science Reviews 138, 61-88.

LIBERTINI L. (1900) - *Relazione sul progetto di Bonificazione dei terreni paludosi compresi tra Torre Specchia Ruggeri e Torre Rinalda*. Tipografia Cooperativa Via Giu-

seppe Palmieri, 64 pp.

MAGRI G. & TROISI S. (1969) - *Sulla influenza delle fluttuazioni di specchi d'acqua sui livelli delle falde costiere, applicazioni allo studio della circolazione idrica sotterranea nella penisola salentina*, Geologia Applicata e Idrogeologia, 4, 25-40

MAINARDI M. (1998) - *La malaria nel Salento. Salute e territorio. Paludismo e "paesaggi della malaria" in provincia di Lecce nella prima metà del XX secolo*. Lecce, Edizioni Del Grifo.

MAINARDI M. (2018) - *Piscatus voluptas. L'Acquatina", da palude a peschiera*. In Comunità e sviluppo. L'Acquatina di Frigole tra storia e ambiente a cura di Bruno R. e Spedicato M., Grifo editore, 152 pp

MARGIOTTA S. & NEGRI S. (2004) - *Alla ricerca dell'acqua perduta*. Congedo Editore, 191 pp.

MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., VALLONI R. (2012) - *Mapping the susceptibility to sinkholes in coastal areas, based on stratigraphy, geomorphology and geophysics*. Nat Hazards 62(2), 657-676

MARGIOTTA S., NEGRI S., PARISE M., QUARTA T. (2016) - *Karst geosites at risk of collapse: the sinkholes at Nociglia (Apulia, SE Italy)* Environmental Earth Sciences 75 (1),8

MARGIOTTA S. & PARISE M. (2019) - *Hydraulic and Geomorphological Hazards at Wetland Geosites Along the Eastern Coast of Salento (SE Italy)*. Geoheritage, vol. 11, 1655-1666.

MARROCCO, V., SICURO, A., ZANGARO, F., PINNA, M. (2018) - *First record of the protected species Pinna nobilis (Linnaeus, 1758) in the Aquatina Lagoon (NATURA 2000 site IT9150003, South-East Italian coastline)* Nature Conservation 28, 51-59

MARROCCO, V., ZANGARO, F., SICURO, A., PINNA M. (2019) - *A scaling down mapping of Pinna nobilis (Linnaeus, 1758) through the combination of scientific literature, NATURA 2000, grey literature and citizen science data*. Nature Conservation 33, 21-31

NORRIS R.M. & BACK W. (1990) - *Erosion of seacliffs by groundwater*. In: Higgins C.G. & Coates D.R. (eds), Groundwater geomorphology: the role of subsurface water in earth-surface processes and landforms. Geol. Soc. Am. spec. paper 252, 283-290.

ONORATO M., ONORATO R., POSI M.E. & POTO M. (2017) - *La Spinnulata della Pajara. Esplorazione e prime osservazioni*. Thalassia Salentina, 39.

PARISE M. (2012) - *A present risk from past activities: sinkhole occurrence above underground quarries*. Carbonates and Evaporites 27(2), 109-118.

PARISE M. (2015) - *A procedure for evaluating the susceptibility to natural and anthropogenic sinkholes*. Georisk, vol. 9 (4), 272-285

PARISE M. (2019) - *Sinkholes*. In: White W.B., Culver D.C. & Pipan T. (Eds.), Encyclopedia of Caves. Academic Press, Elsevier, 3<sup>rd</sup> edition, ISBN ISBN 978-0-12-814124-3, 934-942.

PARISE M. & GUNN J. (eds) (2007) - *Natural and anthropogenic hazards in karst areas: recognition, analysis*

and mitigation. Geological Society, London, Special Publication 279.

PARISE M. & LOLLINO P. (2011) - *A preliminary analysis of failure mechanisms in karst and man-made underground caves in Southern Italy*. *Geomorphology*, 134 (1-2): 132-143.

PARISE M. & VENNARI C. (2013) - *A chronological catalogue of sinkholes in Italy: the first step toward a real evaluation of the sinkhole hazard*. In: Land L., Doctor D.H. & Stephenson B. (Eds.), *Proceedings of the 13<sup>th</sup> Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst*, Carlsbad (New Mexico, USA), 6-10 May 2013, National Cave and Karst Research Institute, 383-392.

PARISE M. & VENNARI C. (2017) - *Distribution and features of natural and anthropogenic sinkholes in Apulia*. In: Renard P. & Bertrand C. (eds), *EuroKarst 2016*, Neuchatel. *Advances in the hydrogeology of karst and carbonate reservoirs*. Springer, ISBN 978-3-319-45464-1, 27-34.

PARISE M., PALMISANO P. & ONORATO R. (2017) - *Contributo alla conoscenza dei fenomeni carsici di collasso in zone costiere del Salento Jonico (Puglia): la Spunnulata della Pajara*. *Thalassia Salentina*, n. 39, p. 99-121.

PARISE M., GABROVSEK F., KAUFMANN G., RAVBAR N.

(eds) (2018) - *Advances in Karst Research: Theory, Fieldwork and Applications*. Geological Society, London, Special Publication 466, ISBN 978-1-78620-359-5.

PINNA M., MARROCCO V., ZANGARO F., SICURO A., GIALONGO G., BIZHANOVA N., UTEBAYEVA G., MARINI G., SPECCHIA V. (2018) - *Il bivalve più grande del Mediterraneo, Pinna nobilis, nella Laguna di Acquatina: indagini preliminari e prospettive*. *Il Bollettino, Periodico di Cultura dell'Università del Salento VIII (8/9)*: 15-18. ISSN: 2284-0354.

PINNA, M., JANZEN, S., FRANCO, A., SPECCHIA, V., MARINI, G. (2017) - *Role of habitats and sampling techniques on macroinvertebrate descriptors and ecological indicators: An experiment in a protected Mediterranean lagoon*. *Ecological indicators* 83, 495-503.

RICCHETTI G. (2009) - *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 537, Capo Santa Maria di Leuca*. ISPRA Servizio Geologico d'Italia, 128pp

TADOLINI T., TAZIOLI G. S., TULIPANO L. (1971) - *Idrogeologia della zona delle sorgenti Idume (Lecce)*. *Geologia Appl. e Idrogeol.*, 4, 41-63

ZUMPARO V., PISANO L. & PARISE M. (2019) - *An integrated framework to identify and analyze karst sinkholes*. *Geomorphology*, vol. 332, p. 213-225.



# ECO SUD AMBIENTE

S.r.l.

**TRASPORTO E SMALTIMENTO RIFIUTI SPECIALI TOSSICI E NOCIVI**  
**BONIFICA SITI INQUINANTI**  
**SMALTIMENTO AMIANTO - NUOVE COPERTURE**  
**CONSULENZA AMBIENTALE**

e-mail: [amianto@ecosudambiente.it](mailto:amianto@ecosudambiente.it)  
[www.ecosudambiente.it](http://www.ecosudambiente.it)

Via Bruxelles, 84 - 73010 Soletto  
 Tel/Fax: 0836/427612

## Ricordo del Prof. Vincenzo Cotecchia

(Napoli, 1 marzo 1925 - Bari, 16 dicembre 2019)

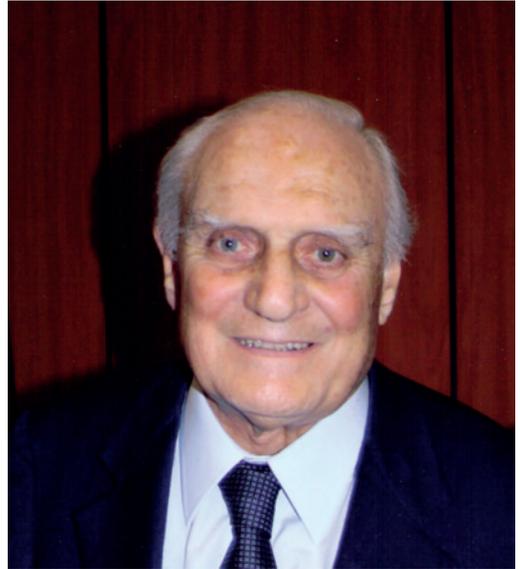
Vincenzo Cotecchia è stato un fine intellettuale e scienziato dalle speciali doti umane che ne facevano di lui una personalità eclettica e poliedrica. Professore Emerito, è stato il fondatore e leader, per oltre 60 anni, dell'Engineering Geology in Italia e delle sue applicazioni nella ricerca, rappresentando una figura predominante non solo per l'alto livello dell'attività scientifica, ma anche per le straordinarie doti di ideatore, promotore e coordinatore di grandi progetti di ricerca nazionali ed internazionali, perseguiti con entusiasmo, tenacia e autorevolezza, favorendo la interdisciplinarietà tra le diverse figure professionali, motivando colleghi e collaboratori a dare sempre il meglio di sé. Ingegnere e Geologo, docente di Geologia Applicata e Geotecnica è stato Direttore dell'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica del Politecnico di Bari, nonché Preside della Facoltà di Ingegneria dal 1972 al 1981, fondatore e Direttore del Centro di Studi sulle Risorse Idriche e la Stabilità del Territorio (CERIST) del Consiglio Nazionale delle Ricerche. Dal 1972 al 1997 è stato Presidente del Gruppo Italiano dell'International Association of Engineering Geology (IAEG). Diversi i riconoscimenti internazionali acquisiti nel corso della sua carriera professionale. La scomparsa di Vincenzo Cotecchia segna la fine di un'epoca e di una storia umana e professionale estremamente prestigiosa, grazie alla sua competenza, alla passione e alla capacità di sintesi e a grandi intuizioni. Pioniere della geologia applicata e dell'ingegneria geotecnica si è sempre adoperato nel mettere in relazione le conoscenze geologiche alle tematiche idrogeologiche, alla stabilità dei pendii, alla meccanica delle rocce e la geotecnica, all'influenza dei processi geologici sulla evoluzione e conservazione di siti archeologici, agli impatti della risalita del livello eustatico del mare sugli ambienti costieri, trasformando gli elementi e i concetti della geologia da qualcosa di naturalistico a qualcosa di applicato alle grandi opere di ingegneria del territorio. Da sempre convinto assertore delle soluzioni ingegneristiche innovative e sostenibili per l'ambiente. Termini come salvaguardia, pianificazione del territorio, sostenibilità erano ben conosciuti a tutti noi, i suoi collaboratori, e in quest'ottica sono stati portati avanti i grandi progetti di ricerca. La geologia applicata, l'idrogeologia, la stabilità del territorio, le indagini del sottosuolo sono stati i principali campi di ricerca. Gli studi sul fenomeno dell'intrusione marina hanno fatto scuola. Memorabile il Quaderno N. 20 (CNR- IRSA) del 1977 in cui furono pubblicati i risultati degli studi e le ricerche condotte in Puglia dal 1966 al 1972 sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina. Concetti del tutto attuali poi ripresi, ri-editati e confluiti nella Monografia (2014) su "Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa" a cui Vincenzo Cotecchia si è dedicato negli ultimi anni della sua vita.

Ho avuto la fortuna, da giovane laureata in Scienze Geologiche, di conoscere il Professore subito dopo il terremoto che colpì l'Irpinia nel 1980, occasione di studio e formazione per me con la sua guida e successivamente il privilegio di far parte del suo staff. Ho avuto modo di vivere una stagione speciale e di apprezzare le sue doti di capo pragmatico, le sue qualità scientifiche e manageriali, ma anche i tratti umani della sua personalità, la sua indimenticabile e trascinante vis comica e di godere della stima che generosamente riservava ai suoi più stretti collaboratori. La strategia vincente è sempre stata quella dell'approccio multidisciplinare, quindi nei gruppi di lavoro le diverse figure professionali si sono sempre armonizzate e amalgamate tra loro con lo scopo del raggiungimento degli obiettivi e del successo finale. Non c'era riunione formale o informale in cui non finisse per assumere il ruolo di chairman e ciò accadeva in maniera del tutto naturale, essendo in lui connaturata la vocazione di animare e moderare discussioni scientifiche con abilità, entusiasmo e passione. Numerosi i Congressi e i Symposia a livello internazionale organizzati con meticolosità dal Professore, tra i tanti vorrei ricordare l'International Symposium "Engineering Geology Problems in Seismic Areas" (Bari- Napoli 1986) e "La Città Fragile" a Giardini Naxos (Messina) nel 1995 nell'ambito dell'IAEG.

Manca alla nostra comunità geologica una personalità così spiccata e influente in un momento in cui la consapevolezza della salvaguardia dell'ambiente, nonostante gli sforzi profusi, sembra sottostare alle logiche dell'economia e del profitto. Amava le arti e la musica e ha animato per decenni la vita culturale nella città di Bari con i "Mercoledì Letterari".

Grata per gli insegnamenti ricevuti, l'entusiasmo e la passione che mi ha trasmesso.

Giugno 2020



Rosa Pagliarulo



Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA)  
Sezione Puglia



ORDINE DEI GEOLOGI  
DELLA PUGLIA

con il patrocinio



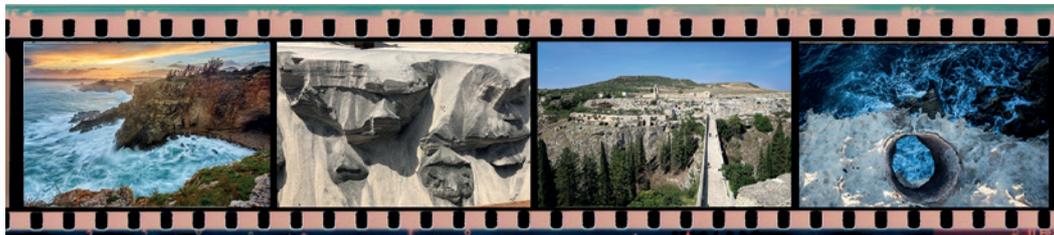
Regione Puglia

organizzano il

CONCORSO FOTOGRAFICO

## “Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia”

11<sup>a</sup> edizione 2020



La SIGEA Sezione Puglia e l'Ordine dei Geologi della Puglia, al fine di promuovere la conoscenza e la valorizzazione dei siti di interesse geologico (geositi) e i paesaggi geologici della Regione Puglia, bandiscono l'undicesima edizione del concorso fotografico come di seguito specificato.

Il concorso prevede le seguenti **Sezioni**:

- A. “Paesaggi geologici o geositi”
- B. “La geologia prima e dopo l'Uomo”
- C. “Una occhiata al micromondo della geologia”

**La sezione A** sarà dedicata ad immagini di luoghi, paesaggi, siti a valenza geologica dove gli elementi geologici o i singoli affioramenti hanno sviluppato forme di qualsiasi tipo e genere.

**La sezione B** sarà dedicata ad immagini di opere antropiche che si integrano nel contesto geologico o geomorfologico.

**La sezione C** sarà dedicata ad immagini di elementi paleontologici, sedimentologici e petrografici ripresi a dimensioni naturali o al microscopio.

La partecipazione al concorso è **TOTALMENTE GRATUITA**. Possono partecipare tutti coloro che sono interessati a condividere le emozioni ricevute attraverso la rappresentazione di uno degli aspetti dei “paesaggi geologici” della Puglia.

Le foto dovranno essere inviate entro il **30 settembre 2020**, seguendo le istruzioni disponibili sui siti web degli organizzatori. Info: [foto.paesaggi.puglia@gmail.com](mailto:foto.paesaggi.puglia@gmail.com)

La premiazione, la cui data sarà comunicata sui siti web degli organizzatori, avverrà durante una manifestazione appositamente organizzata ed associata ad una iniziativa pubblica da tenersi in Bari.

Con il sostegno di



**Apogeo S.r.l.**

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (Ba) - Tel. 080.3143324 - [www.apogeo.biz](http://www.apogeo.biz)

**REGOLAMENTO, MODALITÀ DI PARTECIPAZIONE E SCHEDA AUTORE:**

<http://puglia.sigeaweb.it> e [www.geologipuglia.it](http://www.geologipuglia.it)

**Info:**

Segreteria organizzativa del concorso:

*Silvio Spizzico* (Ordine dei Geologi della Puglia) • *Oronzo Simone* (SIGEA Sezione Puglia)

Ordine dei Geologi della Puglia

Via Junipero Serra, 19 - 70125 BARI

# 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.



Certificati N° 2540 ISO 14001  
2541 BS OHSAS 18001



SOA OS208 Il Livello



Organismo di Certificazione  
AZIENDA CON SISTEMA DI GESTIONE CERTIFICATO  
UNI EN ISO 9001