

## 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 variamente 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-

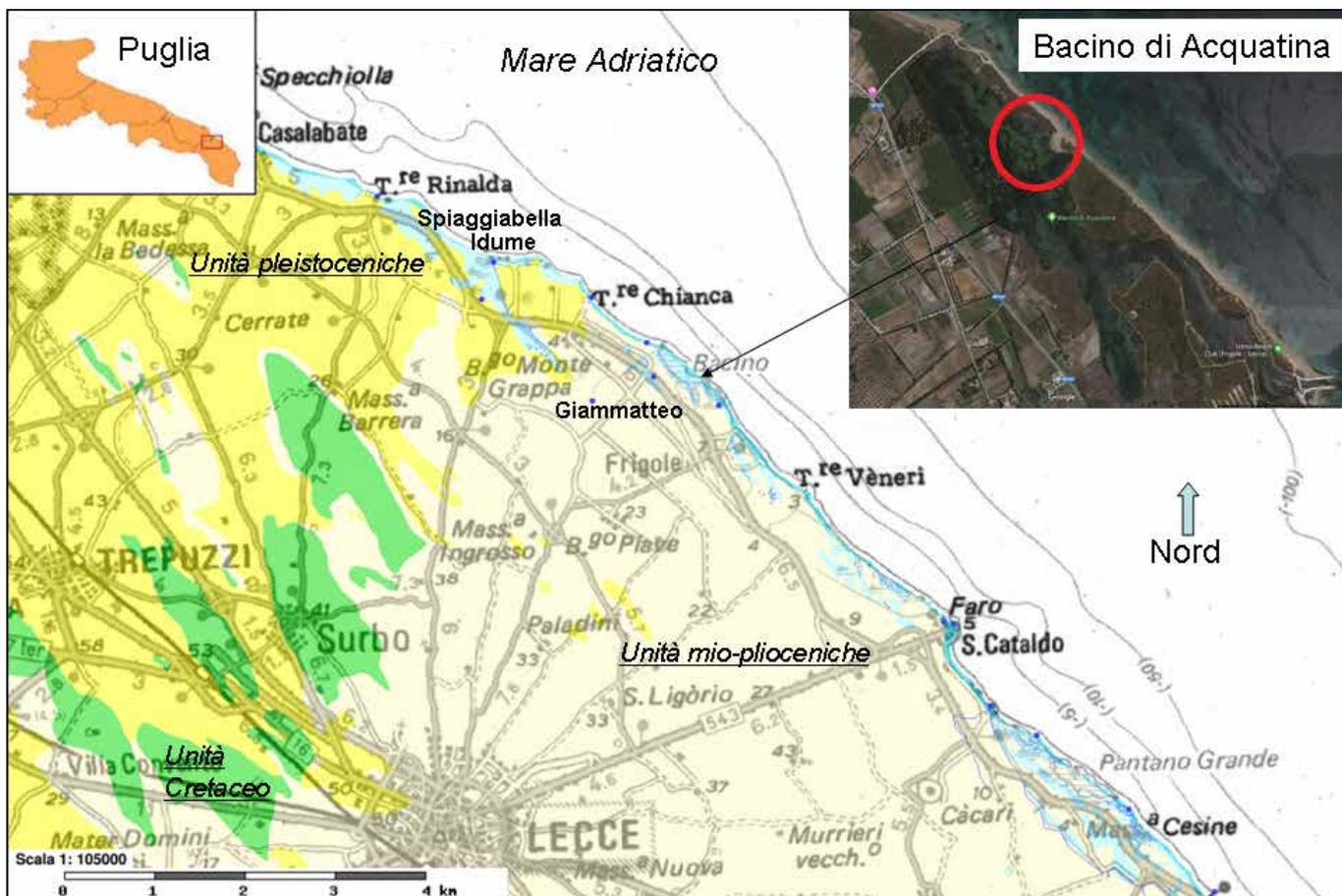


Figura 1 - Carta Idrogeomorfologica (fonte: Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale) dell'area vasta di studio, con indicazione del bacino di Acquatina.

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'entro 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 compattate 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 (Bosellini *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.

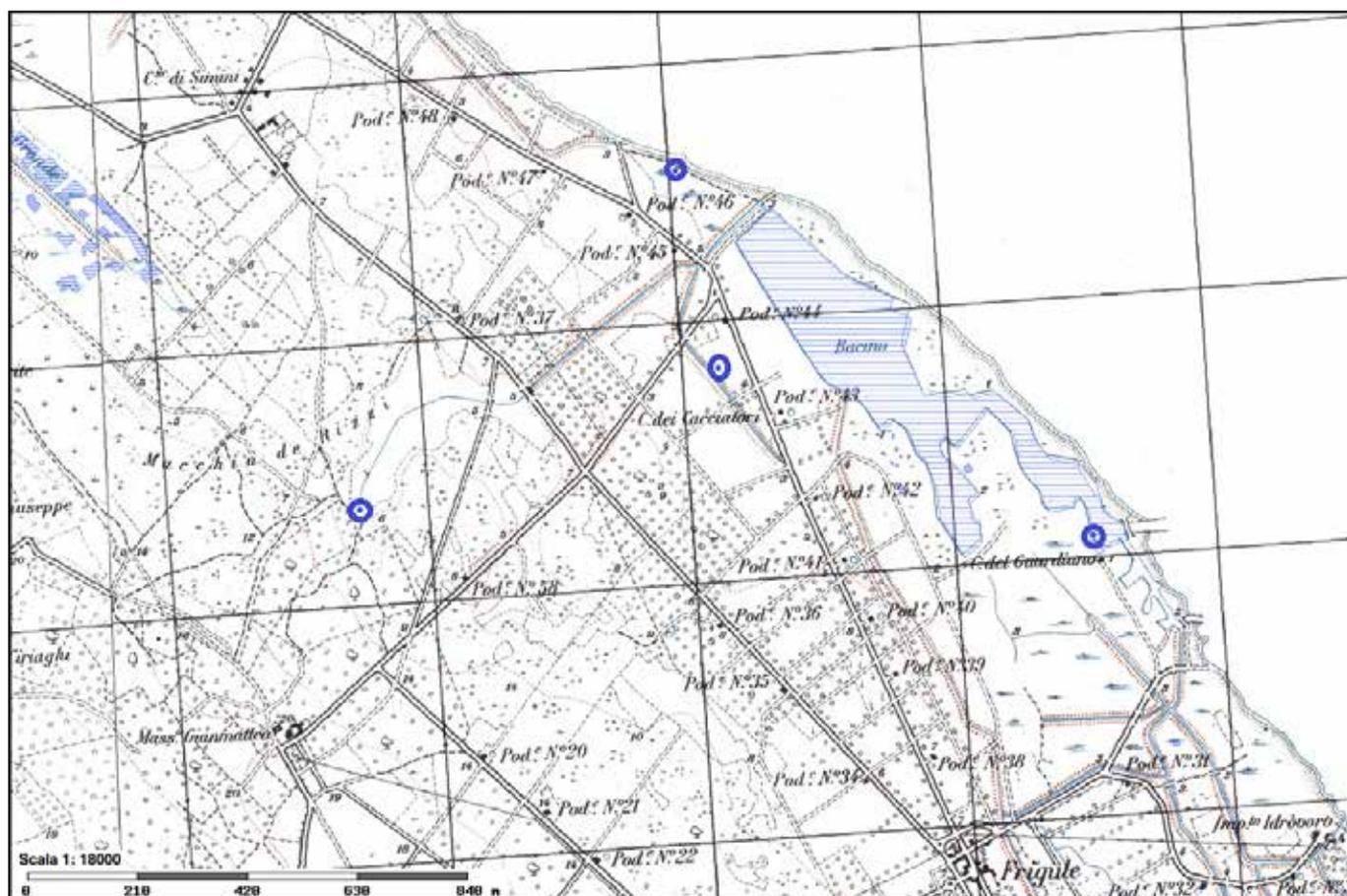


Figura 6 - Tavoleta redatta dall'IGM nel 1948. E' evidente come il fiume Giammatteo tagli il bacino di Acquatina e ne costituisca il limite settentrionale. I canali ben visibili dalla lettura della carta indicano come le opere di bonifica siano ormai compiute.

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

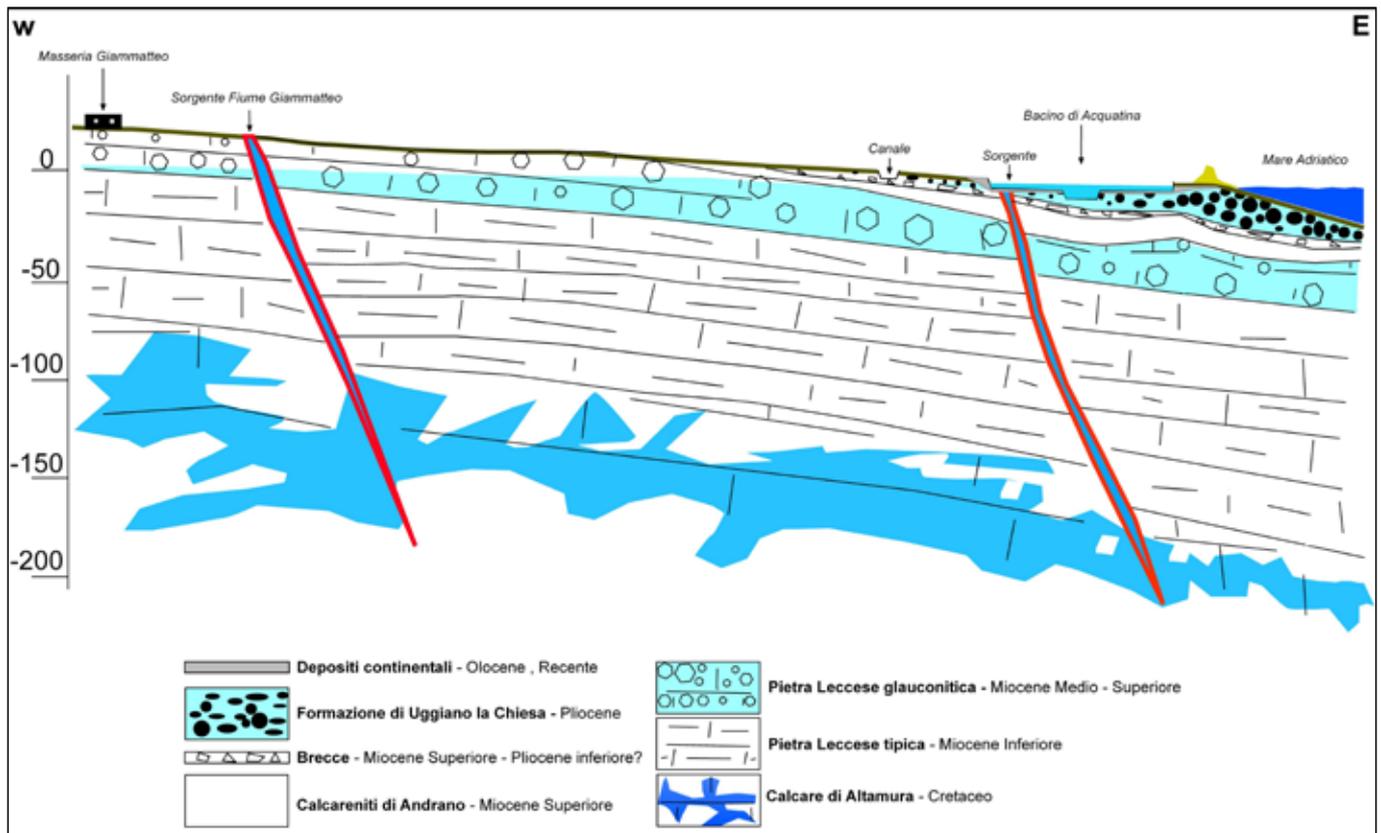


Figura 7 - Sezione idrogeologica schematica dell'area di interesse.

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. E' 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

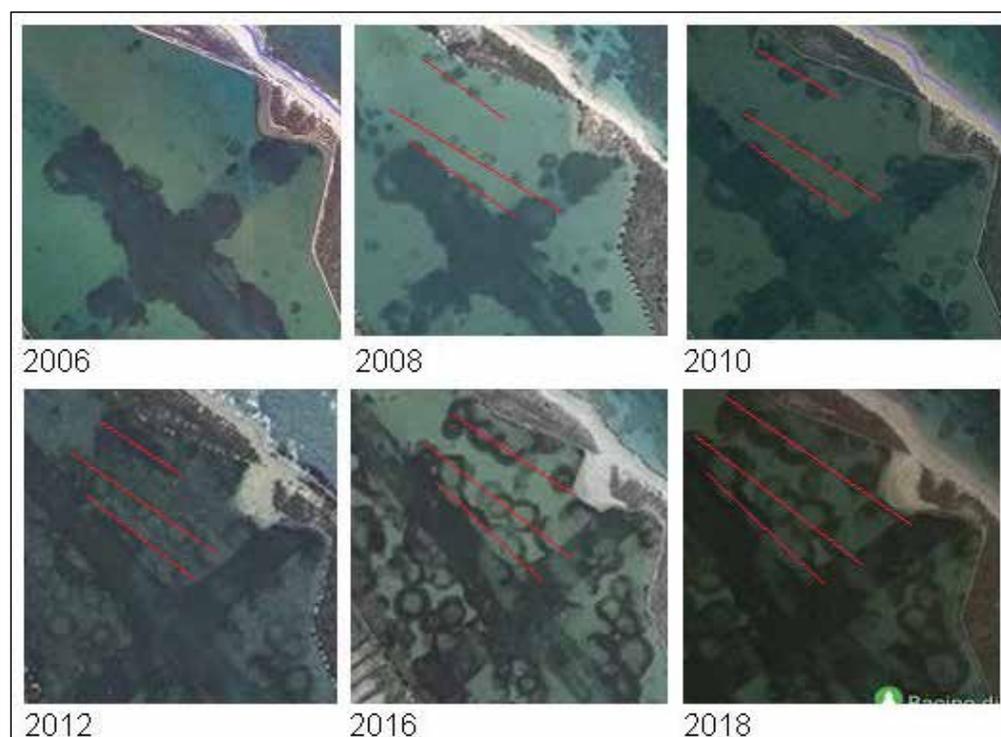


Figura 8 - Evoluzione temporale dei *sinkhole* di Acquatina. Il dettaglio si riferisce all'area nel circolo rosso di Figura 1. Si noti come i *sinkhole* siano allineati in direzione NW-SE.

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

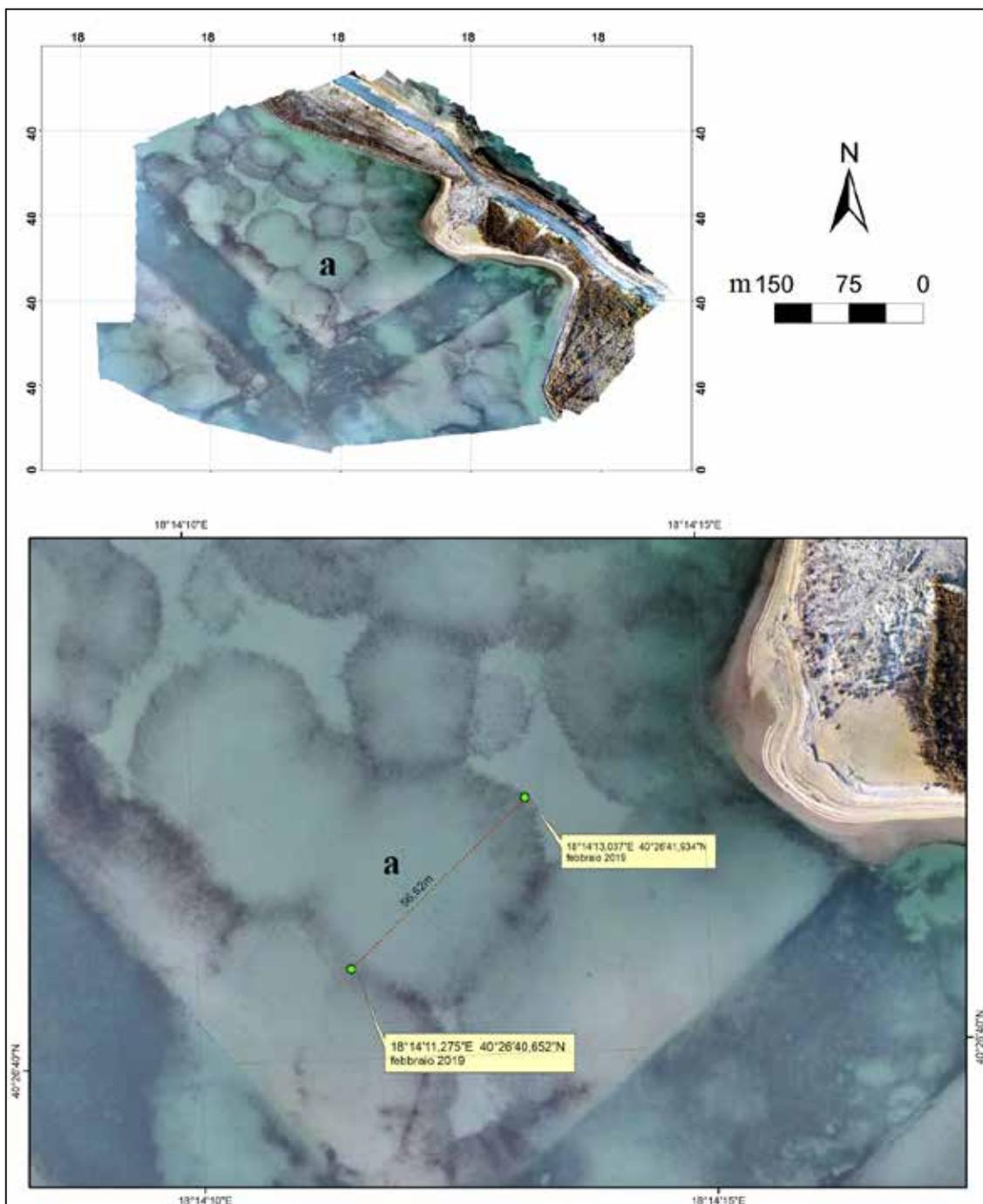


Figura 10 - Risultati dei rilevamenti effettuati con il drone.

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-

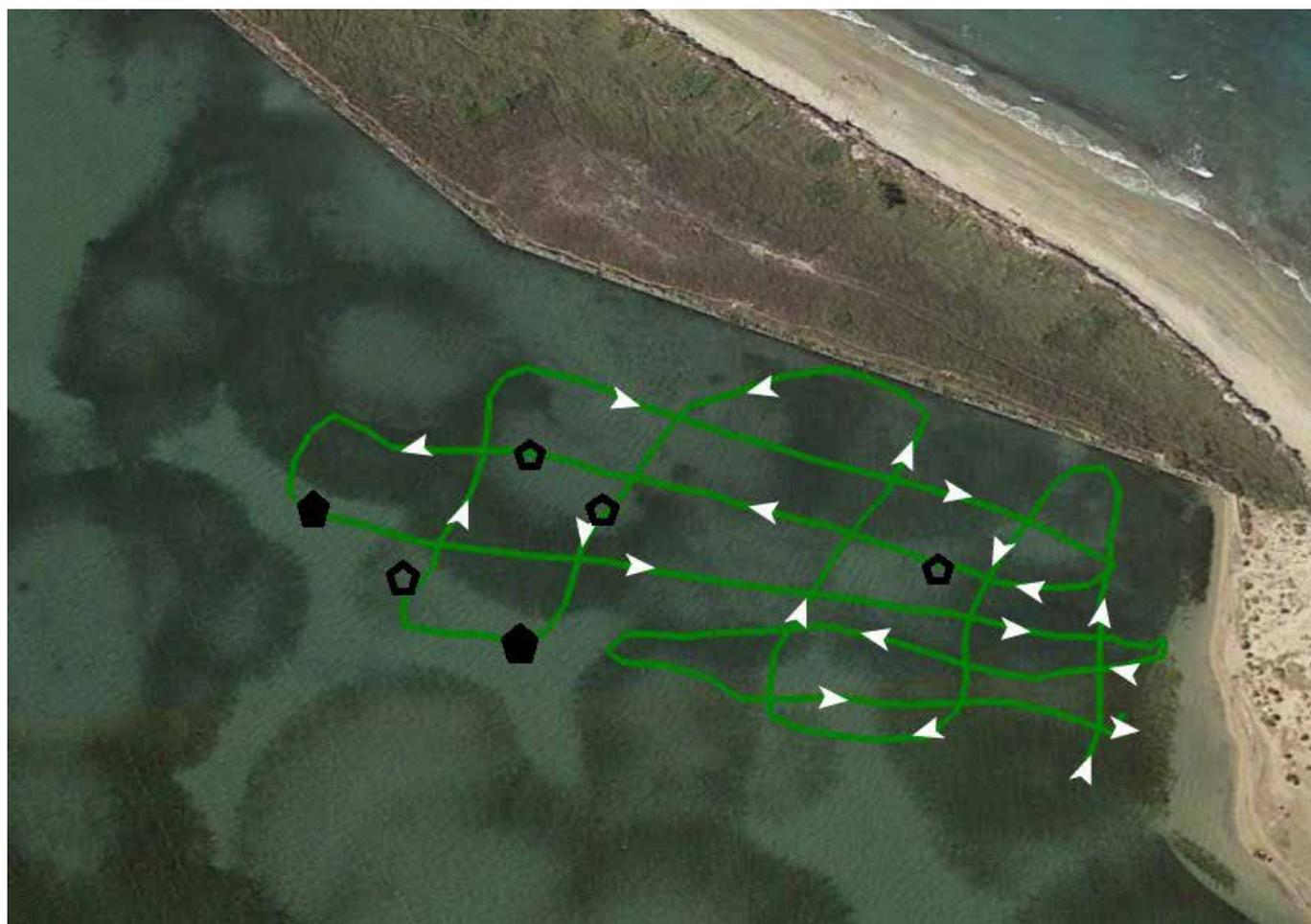


Figura 11 - Area investigata con il ROV: con i poligoni neri sono indicate le aree più profonde alle quali corrispondono temperature più basse. Si notino i due poligoni pieni in quanto apparentemente non ricadono in aree di sprofondamenti circolari. Potrebbe trattarsi di processi in neoformazione.

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 "spinnulate" 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-*

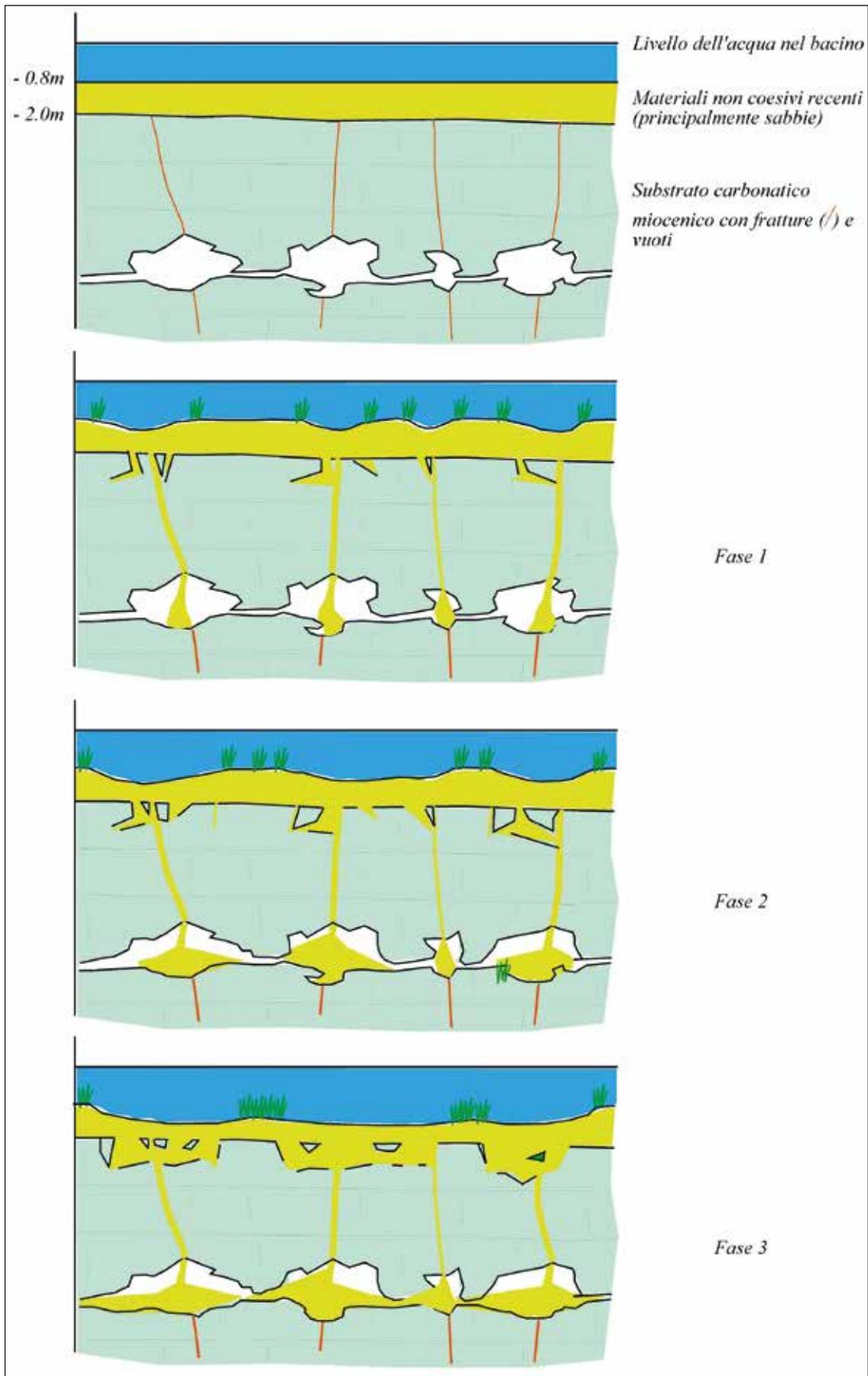


Figura 12 - Modello schematico di formazione dei *sinkhole*. Nella fase 1, le sabbie penetrano negli spazi vuoti delle fratture allargate del substrato roccioso, cominciando a riempire cavità sotterranee. Tale movimento, oltre alla risalita di acque più fredde inibisce l'attecchimento della *Cymodocia 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) - *Sinkhole 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., GIALLONGO 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.