

La lettura geologica del paesaggio delle Serre: i processi evolutivi, dalla genesi sino alle forme attuali: conoscere per valorizzare

Stefano Margiotta*

Abstract. *The Serre correspond to a series of ridges with tabular tops, elongated in a NNW – SSE direction, with a more developed south-western flank, made up of Upper Cretaceous carbonate formations that characterize the Salento landscape. The Serre constitute structural highs (horsts) delimited by normal faults that lower the adjacent blocks, giving rise to tectonic depressions (grabens) which over geological times have been progressively partially filled by the products of the most recent sedimentations of the Paleogene, Neogene and Quaternary.*

The carbonate nature of the rocks that constitute the ridges, the tectonic and stratigraphic structure, the geological processes that have occurred over time have given rise to a wide variety of forms that uniquely characterize the landscape of the Serre. Among these forms we have the case study of the Spiggiani sinkhole (Salve).

The Spiggiani site is the first example of recovery of a sinkhole in Salento for tourism and information purposes on geodiversity and biodiversity. This recovery takes on even more exceptional value and becomes unique in the regional panorama if compared to the history of the geomorphological component, violated over the years with authorized interventions to carry out quarrying activities and as a waste disposal site and which, instead, following safety measures and reclamation, specifically identified, experiences a real environmental recovery aimed at creating social and cultural value.

Riassunto. *Le Serre corrispondono ad una serie di dorsali con sommità tabulari, allungate in direzione NNO – SSE, con fianco sud-occidentale più sviluppato, costituite da formazioni carbonatiche del Cretaceo superiore che caratterizzano il paesaggio salentino. Le serre costituiscono degli alti strutturali (horst) delimitati da faglie normali che ribassano i blocchi adiacenti dando vita a delle depressioni tettoniche (graben) che nel corso dei tempi geologici sono state progressivamente parzialmente colmate dai prodotti delle sedimentazioni più recenti di età paleogenica, neogenica e quaternaria.*

La natura carbonatica delle rocce che costituiscono l'ossatura delle dorsali, l'assetto tettonico e stratigrafico, i processi geologici che si sono succeduti nel corso dei tempi hanno dato vita a una ampia varietà di forme che caratterizzano univocamente il paesaggio delle Serre. Tra queste forme abbiamo si presenta il caso di studio della dolina di Spiggiani (Salve).

Il sito di Spiggiani costituisce il primo esempio di recupero di una dolina in Salento per gli scopi turistici e divulgativi della geodiversità e delle biodiversità. Tale recupero assume ancora più eccezionale valore e diviene unico nel panorama regionale se rapportato alla storia della componente geomorfologica, violentata negli anni con interventi autorizzati per svolgere attività di cava e come discarica di RSU e che, invece, a valle di interventi di

messa in sicurezza e bonifica, appositamente individuati, vive un reale recupero ambientale finalizzato a creare valore sociale e culturale.

La genesi del paesaggio delle Serre

Dal punto di vista geologico-geografico il territorio pugliese può essere scomposto nei domini del Promontorio del Gargano, delle Murge e delle Serre salentine delimitati dalle interposte depressioni tettoniche del Tavoliere delle Puglie, della Fossa bradanica e del Tavoliere di Lecce. Il territorio salentino, assieme alle restanti parti sia emerse (Gargano e Murge) che sommerse (Apulian Swell, Rossi e Borsetti, 1975) fa parte dell'Avampaese apulo (Figg. 1 e 2), corrispondente al tratto più meridionale della Piastra Apula (Lort, 1971).

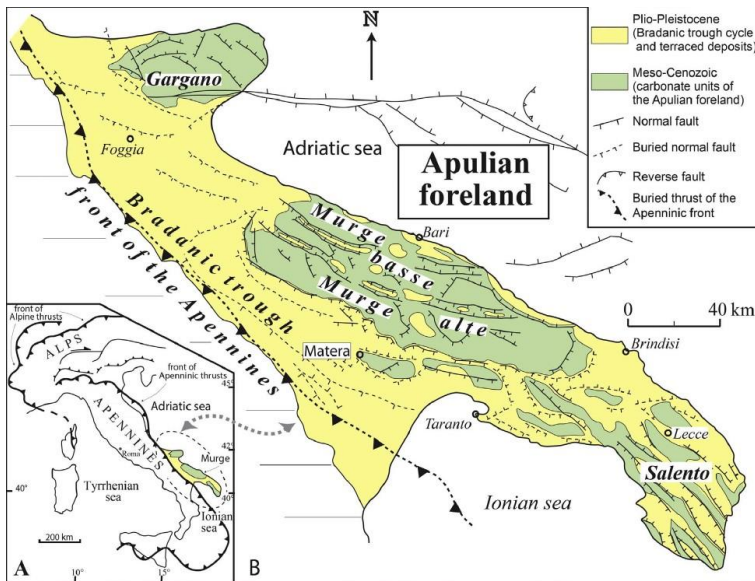


Fig. 1 - Schema geologico tridimensionale dell'Italia meridionale (da Funicello et al., 1991).

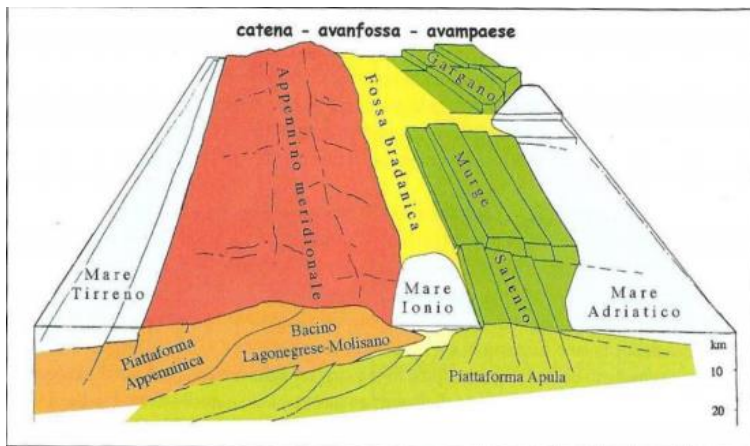


Fig. 2 - Carta geologica schematica della Puglia (da Pieri et al., 1997 e modificata da Festa et al., 2018).

La penisola salentina, ubicata nel sud della Puglia (Italia), è una area poco elevata sul livello del mare (la quota massima è di 200 m) che si protende tra il Mar Adriatico e il Mar Ionio. Le principali forme del rilievo del territorio salentino corrispondono quindi ad una serie di dorsali con sommità tabulari, allungate in direzione NNO – SSE, con fianco sud-occidentale più sviluppato, costituite da formazioni carbonatiche del Cretaceo superiore attribuibili all'unità formazionale del Calcarea di Altamura (Fig. 3).

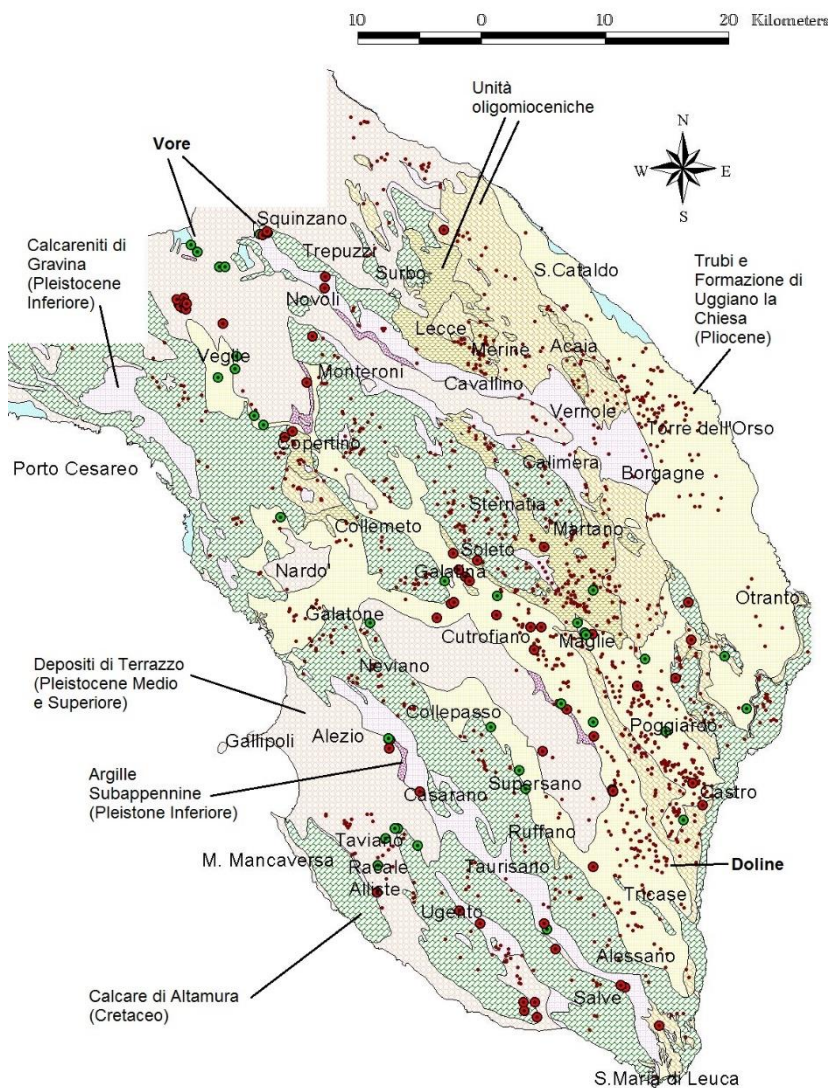


Fig. 3 - Carta geologica del Salento con indicazione delle principali cavità carsiche (vore).

La relativa struttura scompone l'impalcatura carbonatica della Piattaforma apula in blocchi leggermente inclinati a SO mediante una serie di allineamenti di faglia sub paralleli, ad alto angolo. Tale assetto è complicato da un sistema di faglie trasversali con direzione SO-NE che determina un progressivo ribassamento a NE della stessa impalcatura carbonatica, verso l'ampia depressione tettonica del Tavoliere di Lecce, tra le Serre Salentine e l'altopiano delle Murge. Gli alti strutturali individuano una serie di rilievi allungati e convergenti verso SE (baia di Leuca), costituiti dalle formazioni carbonatiche cretatiche e paleogenico-mioceniche; le depressioni di angolo di faglia, coperte dai depositi terrigeni plio-pleistocenici corrispondono alle sottostanti aree sub pianeggianti (Ricchetti, 2009).

I depositi carbonatici delle Serre sono il prodotto della sedimentazione in un ambiente marino di piattaforma carbonatica interna, di serie cicliche legate a periodiche ingressioni e regressioni del mare del Cretaceo. Dal punto di vista litologico il risultato sono successioni di calcari e calcari dolomitici a grana fine microfossiliferi e calcari organogeni ricchi in rudiste formanti, a luoghi, biocostruzioni. Oggi possiamo osservare i calcari mesozoici soprattutto in corrispondenza proprio delle Serre. Le serre costituiscono degli alti strutturali (horst) delimitati da faglie normali che ribassano i blocchi adiacenti dando vita a delle depressioni tettoniche (graben) che nel corso dei tempi geologici sono state progressivamente parzialmente colmate dai prodotti delle sedimentazioni più recenti di età paleogenica, neogenica e quaternaria (Figg. 3, 4 a, 4 b).



Fig. 4 a - Veduta panoramica di una cava posta a Nord del paese di Specchia, sul bordo orientale di una Serra.



Fig. 4 b - Particolare della cava precedente dalla quale si può apprezzare una faglia diretta che mette a contatto i calcari cretaci del Calcarea di Altamura (Cretaceo) a sinistra con le calcareniti sabbiose pleistoceniche (Calcareniti di Gravina) a destra.

Nel Salento, tra la fine del Cretaceo (e quindi del Mesozoico) e l'inizio del Paleocene (e quindi del Cenozoico) si verificò l'emersione della piattaforma (Fig. 5). Tale periodo di emersione (che portò alla sedimentazione di potenti suoli) durò molto a lungo (in molte aree superò i 40 milioni di anni) e venne solo a luoghi, in corrispondenza del margine orientale della penisola, interrotto dalla periodica deposizione di sedimenti eocenici di scogliera (Calcari di Torre Specchia la Guardia e di Tiggiano).

Nell'Oligocene (Bossio et al., 1999; Margiotta e Ricchetti, 2002) il paesaggio salentino mutò nuovamente assumendo dapprima la conformazione di una scogliera piuttosto estesa sempre ad Est della penisola (Calcari di Castro) con aree di retroscogliera caratterizzate da lagune, stagni costieri e paludi (Formazione di Galatone).

Dopo un breve periodo di emersione, il mare invase le parti meno alte del territorio salentino producendo la sedimentazione (Bossio et al., 1998 e 2006) di calcareniti bioclastiche a scutelle, alghe ed organismi unicellulari come i foraminiferi (Calcareniti di Porto Badisco e Formazione di Lecce).

Nel Paleogene quindi si crearono le condizioni per l'avvio di una importante fase carsogenetica, ben nota in letteratura (Cotecchia & Dell'Anna, 1959; Crescenti & Vighi, 1967; Sansò, 1997) e che ha generato le forme di tipo tropicale modellate sui calcari cretaci nonch  gran parte delle grotte costiere. La superficie carsificata modellata durante questa fase   stata estesamente fossilizzata nell'Oligocene e Miocene.

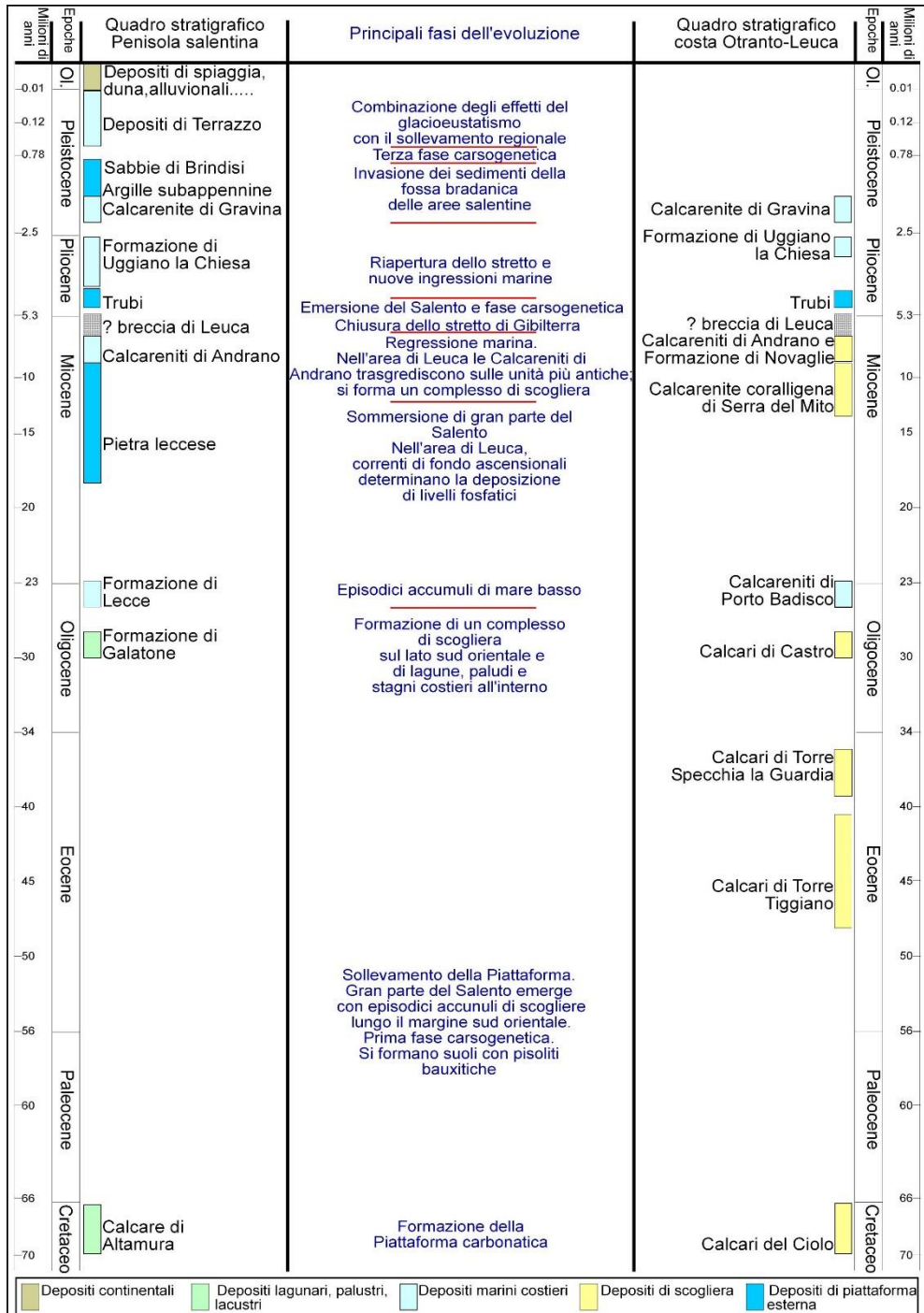


Fig. 5 - Schema riportante l'evoluzione geologica s.l. del Salento.

Il Salento, nel Miocene inferiore, circa 17 milioni di anni fa, fu quindi caratterizzato da un'ingressione marina (trasgressione) piuttosto veloce che portò alla deposizione dei sedimenti calcarenitici della ben nota Pietra leccese. Il bacino di sedimentazione divenne di piattaforma esterna (intorno ai 150-200m di profondità) ed i primi sedimenti a deporsi furono quelli a grana fine, bianco-giallastri delle varietà gentile e gagginara sui quali poggiano altri più marnosi (varietà saponara). A questi sedimenti seguirono depositi glauconitici che costituiscono la varietà detta piromafo o pilumafu. Nel corso della parte superiore del Tortoniano e, soprattutto, nel Messiniano basale (circa 7 milioni di anni fa, nel Miocene superiore) si ha una rapida diminuzione batimetrica: in conseguenza di questo trend regressivo (per regressione si intende il ritiro del mare da aree che precedentemente occupava) l'ambiente deposizionale tornò a trovarsi a profondità non lontane da quelle del limite zona neritica esterna / zona neritica interna. Prodotto di questo trend regressivo sono le Calcareniti di Andrano costituenti la varietà mazzara dei locali cavatori.

Questo schema evolutivo è parzialmente verificato nell'area di Leuca dove le Calcareniti di Andrano sono trasgressive sui sedimenti più antichi compreso un livello miocenico ricco in ciottoli fosfatici (Calcarenite coralligena di Serra del Mito). Qui i depositi tardo miocenici costituiscono anche un complesso di scogliera (Formazione di Novaglie) clinostratificato verso Est (Margiotta in Febbraro e Cavalera 2018 con bibliografia).

Nel Miocene superiore, circa 6.5 milioni di anni fa, un nuovo importante evento è destinato a sconvolgere la paleogeografia dell'intero bacino del Mediterraneo. A seguito della chiusura dello stretto di Gibilterra, situato tra la Spagna ed il Marocco in Africa, si interruppero le comunicazioni con l'Oceano Atlantico ed il Mar Mediterraneo divenne un grande lago salato. Il Salento, in questo periodo, andò presto in emersione motivo per il quale non si conoscono depositi di tipo evaporitico.

La seconda fase morfogenetica si è verificata quindi al passaggio tra il Miocene superiore ed il Pliocene inferiore. Tra le evidenze più significative di questa fase si possono ricordare le ventarole della Pietra leccese: cavità riempite da breccie e conglomerati di probabile età pliocenica costituiti da frammenti di dimensioni variabili di calcareniti laminitiche, clasti di Pietra leccese, noduli fosfatici, clasti di calcari e calcareniti oligoceniche, bioclasti, immersi in una matrice calcarenitica poco cementata di colore giallognolo. Questa fase morfogenetica probabilmente ha modellato un paesaggio poco sviluppato che è stato estesamente eroso o ricoperto nel corso dei successivi cicli sedimentari (Sansò, 2004).

Il Salento, nel Pliocene, sarà interessato da due distinti cicli sedimentari, cioè due distinti episodi di ingressione (trasgressione) e ritirata (regressione) del mare. Il primo cha dà luogo ai noti Trubi e si materializza con marne e calcareniti glauconitiche di ambiente marino relativamente profondo. Il secondo, che si apre con un conglomerato ad elementi fosfatici, è costituito da calcareniti grossolane di ambiente costiero o poco profondo (Formazione di Uggiano la Chiesa).

Al passaggio tra il Pliocene ed il Pleistocene i sedimenti dell'avanfossa bradani- ca si estesero su vaste aree dell'Avampese apulo sommergendo, nel momento di

massima ingressione, quasi tutto il territorio pugliese ad eccezione delle aree più elevate delle Murge e del Gargano.

Nella penisola salentina sono presenti solo i termini ingressivi di questi cicli sedimentari della fossa bradanica il cui inizio è segnato dalla deposizione di calcareniti bioclastiche grossolane con *Artica Islandica*, del Pleistocene inferiore, ad identificare un ambiente di sedimentazione marino costiero poco profondo. Con l'approfondimento del bacino di sedimentazione iniziò la deposizione di depositi argillosi e siltosi (Argille subappennine). La terza fase morfogenetica è databile tra la fine del Pleistocene inferiore e la prima parte del Pleistocene medio e ha dato forma ad un paesaggio contrassegnato da una notevole frequenza e sviluppo delle forme carsiche epigee (con sviluppo di veri e propri campi di doline) ed ipogee. Questo paesaggio carsico è stato estesamente fossilizzato durante il ciclo sedimentario dei Depositi Marini Terrazzati ed ha subito una parziale riesumazione probabilmente nel corso del Pleistocene superiore. Le forme più espresse nel paesaggio carsico attuale sono riconducibili a questa fase morfogenetica che è ancora in atto (Sansò, 2004). I depositi del Pleistocene superiore sono legati alle oscillazioni del livello del mare a seguito dei cambiamenti climatici che interessano il pianeta in questo range di tempo. Il mare ciclicamente invade e si ritira dalle terre emerse lasciando una serie di terrazzi che è possibile riconoscere a varie quote, da pochi metri sul livello marino attuale se non al disotto di esso sino a 140m-150m di altezza.

In alcuni luoghi su queste superfici si elevano modesti rilievi arginiformi di depositi calcarenitici semicoerenti, riferibili ad antichi cordoni di dune costiere, generalmente delimitati a monte da depressioni ricoperte da depositi residuali ("terre rosse") di facies palustre.

Le forme del paesaggio

I processi evolutivi descritti nel paragrafo precedente hanno portato alle forme del paesaggio che oggi possiamo riconoscere. In linea generale, il Salento leccese può essere suddiviso in due distretti (Margiotta e Sansò, 2018).

Il settore orientale è segnato da rocce carbonatiche di origine marina di età oligo-miocenica (*Formazione di Galatone, Formazione di Lecce, Formazione della Pietra Leccese e Formazione della Calcarenite di Andrano*) e pliocenica (*Formazione dei Trubi e Formazione di Uggiano La Chiesa*). In quest'area si possono individuare:

1) una superficie carsica di età paleogenica ubicata sulla sommità delle Serre di Capo d'Otranto, Montevergine, Poggiardo e Martignano. Questa superficie è stata modellata in condizioni climatiche tropicali umide durante un lungo periodo di continentalità, tra la fine del Cretaceo e l'Oligocene superiore;

2) un sistema di blande depressioni tettoniche allungate in direzione SSW-NNE da Casamassella a Roca. La più estesa di queste forme ospita i Laghi Alimini;

3) il ripido versante costiero che costituisce la costa orientale del Salento leccese meridionale, esteso da Otranto a Santa Maria di Leuca. Questo versante si

estende da circa 100 m di quota a 50 metri di profondità e risulta costituito da una serie di sistemi carbonatici disposti lateralmente a mantello di età compresa tra il Cretaceo e il Pleistocene (Bosellini *et al.*, 1999).

Il paesaggio fisico dell'area occidentale del Salento leccese appare alquanto differente. Esso è segnato da una superficie di modellamento carsico modellata sulla *Formazione della Calcarenite di Gravina*, formazione carbonatica di origine marina del Pleistocene inferiore, e coperta da depositi più recenti (*Argille subappennine* e Depositi Marini Terrazzati). La recente erosione di queste coperture ha parzialmente riesumato e riattivato la superficie carsica del Pleistocene inferiore (Selleri *et al.*, 2002).

Il paesaggio costiero della penisola, invece, appare segnato da una gradinata di terrazzi marini formati per la sovrapposizione delle variazioni glacioeustatiche del livello del mare al sollevamento tettonico della regione verificatosi nel corso del Pleistocene medio-superiore.

La natura carbonatica delle rocce e l'assetto tettonico caratterizzato, come abbiamo scritto, dalla presenza di faglie dirette che hanno scomposto il substrato cretaceo determinando strutture a horst e graben (faglie poi riattivate nel corso dei tempi geologici) ha facilitato l'instaurarsi del fenomeno carsico. In generale, possiamo dire che le forme presenti sulle Serre, laddove affiorano le rocce cretache hanno diametri e profondità superiori rispetto a quelle formatesi nelle calcareniti più recenti; le prime inoltre mostrano in più punti gli effetti di successivi rimodellamenti erosivi sia di tipo carsico che marino, risultando livellate in corrispondenza dei ripiani e "smussate" in corrispondenza dei gradini. La distribuzione dei principali inghiottitoi ("vore"), che risultano in gran parte (ma non solo) in corrispondenza degli allineamenti di faglia che marginano i versanti delle dorsali costituiti dalle formazioni carbonatiche del Cretaceo superiore, confermano questa considerazione (Fig. 3). Qui la presenza delle faglie, cioè di elementi di discontinuità e debolezza degli ammassi rocciosi carbonatici, oltre alla elevata quantità di acqua disponibile per la corruzione proveniente dall'alto dalle sommità delle dorsali creano le condizioni ottimali per lo sviluppo del processo carsico che determina l'allargamento delle discontinuità tettoniche e stratigrafiche dando vita a un esteso e ben sviluppato reticolo che mette in comunicazione il suolo con il sottosuolo sino ad arrivare ai corpi idrici sotterranei più profondi.

La maggior parte dei reticoli idrografici che incidono il territorio prende origine proprio dalle pendici delle dorsali o dalle scarpate che marginano a monte i ripiani. Nel suo complesso, in mancanza di sorgenti significative, la locale rete idrografica ha deflussi effimeri: infatti i solchi erosivi vengono percorsi soltanto da acque di precipitazione meteorica e per periodi di norma giornalieri con portate molto variabili, in stretta correlazione con l'intensità e la durata delle stesse piogge alimentari. In corrispondenza di alcuni tratti costieri, il deflusso a mare è reso precario o impedito dalla presenza di cordoni di duna che provocano la temporanea ovvero, con il contributo delle acque di falda superficiali, la continua formazione di paludi, stagni o laghi costieri. In altri luoghi, la scarsità dei deflussi è determinata sia da

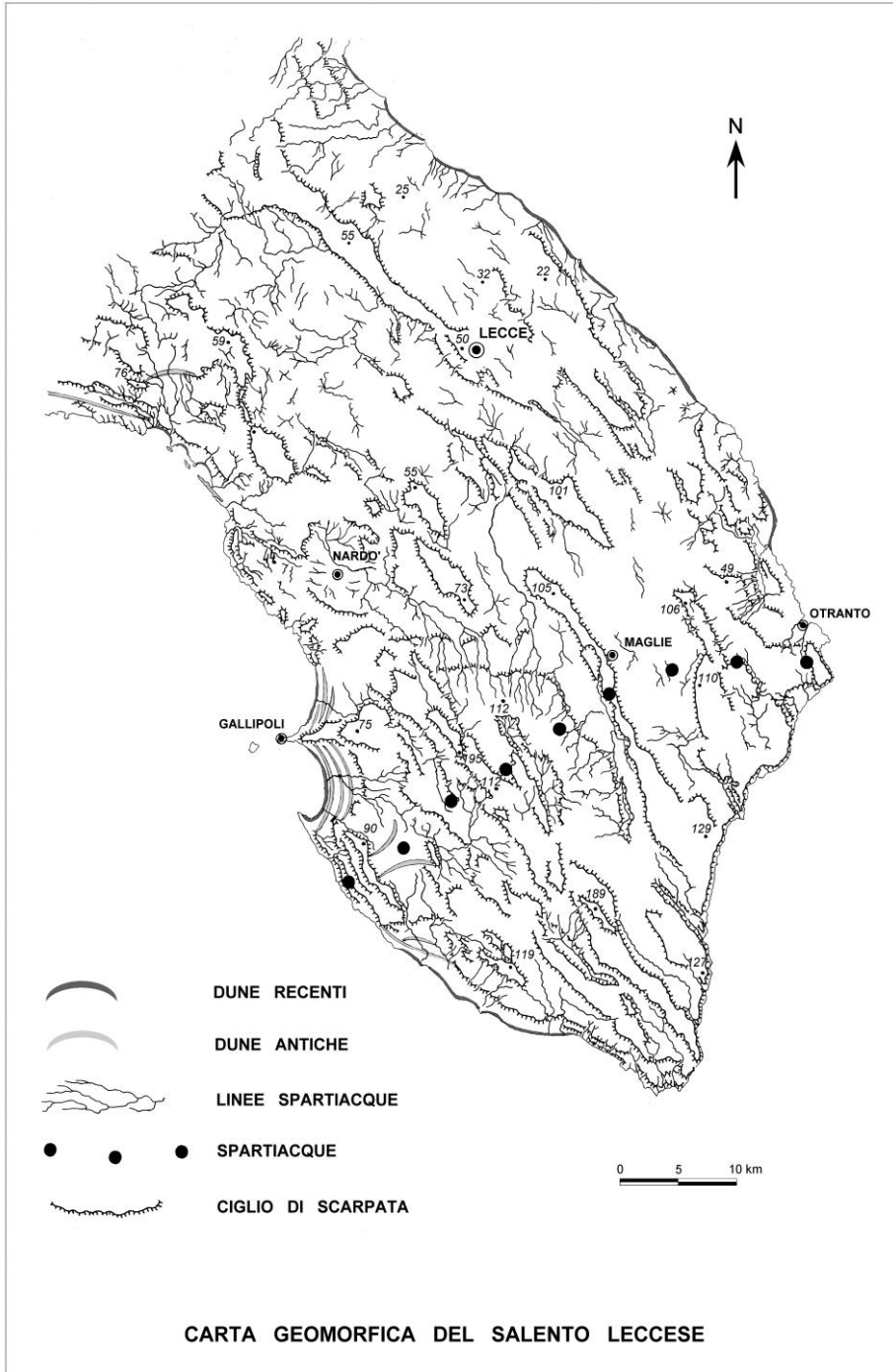


Fig. 6 - Carta geomorfica del Salento leccese (da Ricchetti, 1987).

una cospicua permeabilità del substrato, per carsismo o per porosità, sia da un diffuso ristagno delle acque di scorrimento superficiale lungo le stesse aste fluviali che presentano di norma profili irregolari con tratti in contropendenza (depressioni o conche anche estese, impermeabilizzate dall'accumulo di depositi residuali sul fondo). Le condizioni idrogeologiche locali hanno pertanto favorito la formazione di bacini endoreici nelle parti interne del territorio, le cui acque confluiscono a seconda dei casi in conche alluvionali oppure in inghiottitoi, presenti in qualche caso anche ai margini delle stesse conche. Nel loro complesso (Ricchetti, 1987), i reticoli idrografici presenti nel territorio leccese possono essere raggruppati in due distinti bacini (Fig. 6) delimitati da uno spartiacque che decorre da ENE a SSW lungo la congiungente Otranto – Torre Suda (marina di Racale e Traviano a sud di Gallipoli).

Allo scopo di compensare le carenze della corrivazione naturale delle acque meteoriche e di mitigare gli effetti di esondazione, sono sorti enti e consorzi di bonifica per l'esecuzione di canalizzazioni di drenaggio, che in alcuni luoghi formano estesi e fitti reticoli artificiali. La gran parte degli inghiottitoi che, come abbiamo scritto, si trovano ai margini delle Serre è stata da tempo utilizzata come recapiti naturali di reflui urbani, anche con recenti interventi ingegneristici. Per l'efficienza di queste opere di bonifica sono necessarie periodiche manutenzioni consistenti nella pulizia (in particolare nella estirpazione della vegetazione che si sviluppa rapidamente) sia dei canali sia delle imboccature carsiche (Fig. 7).



Fig. 7 - La “ora”, ubicata al piede della Serra di Supersano riceve le acque di un canale di bonifica.

Conoscere per valorizzare: il caso della Dolina di Spiggiani in Salve

Il caso di studio che qui si presenta riguarda la storia a lieto fine di una dolina ubicata nella porzione sud – occidentale del territorio Salentino all'interno dei limiti amministrativi del comune di Salve (provincia di Lecce), la cui geodiversità è stata oggetto di interesse scientifico sia per le esposizioni litostratigrafiche (D'Alessandro e Massari, 1997; D'Alessandro et al., 1987) che per le forme carsiche (Belgiorno et al., 2018; Margiotta, 2016; Margiotta in Febraro e Piccini, 2018).

Il lembo calcareo che caratterizza il blocco di Salve e Melissano presenta, accanto a fenomeni disgiuntivi, soprattutto frequenti al bordo orientale del rilievo calcareo, alcune pieghe (Fig. 8). Il loro asse ha orientamento NNO-SSE oppure NO-SE e passa rispettivamente presso Masseria Varano, per Serra Bianca, Serra di Pozzo Mauro e presso Salve. In queste anticlinali le pendenze dei calcari sono in genere comprese tra 4° e 8° sui fianchi sud-occidentali, mentre si fanno talora di $10-20^{\circ}$ sui fianchi opposti che appaiono inoltre molto brevi ed interrotti dalla faglia marginale. Accanto alle rotture segnate sulla carta, è possibile che altre siano presenti nel tratto costiero, dove i calcari, che s'immergono verso SO, danno spesso luogo ad una falesia con direzione NO-SE (Martinis, 1962).

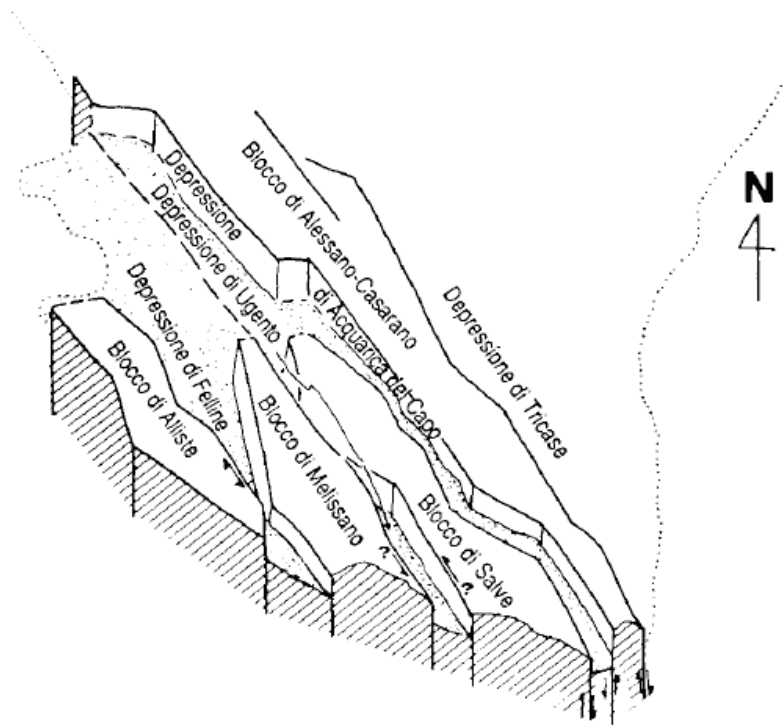


Fig. 8 - Tentativo di rappresentazione schematica dell'assetto strutturale del Salento sud-occidentale (da Tozzi et al., 1988).

Litostratigraficamente, le Serre sono caratterizzate dall'affioramento del Calcarea di Altamura qui costituito da calcari micritici a grana medio-fine di colore grigiastro e biancastro, ben litificati e stratificati. I calcari presentano a luoghi struttura laminare con alternati strati o banchi di dolomie grigio-nerastre ed altri di calcari biostromali a rudiste.

A nord est, nella stretta depressione tettonica all'interno della quale sono presenti gli abitati di Barbarano e Ruggiano (tra gli altri), affiorano le Calcareni di Gravina del Pleistocene Inferiore ed il Sintema di Miggiano del Pleistocene Medio. Queste due unità sono caratterizzate da prevalenti calcareniti macrofossilifere di colore bianco-giallastro e sono separate dalle Argille subappennine le quali non affiorano direttamente sul terreno ma si ritrovano nel sottosuolo.

Il lato occidentale della Serra è invece caratterizzato da una serie di depressioni le quali sono colmate generalmente da depositi eluvio-colluviali costituiti da terre rosse più o meno argillose.

Procedendo verso Ovest, possiamo incontrare una stretta depressione che da Ugento si estende sino a Posto Vecchio di Salve ed è delimitata dalla Serra di Casa Vecchia ad Ovest (costituente il blocco di Melissano di Tozzi, 1988, vedi fig. 8) e da quelle di Salve ad Est. In questa stretta depressione sono visibili distinte sequenze riferibili a ben nove cicli sedimentari marini tra loro trasgressivi, con interposti depositi continentali (D'Alessandro e Massari, 1997; D'Alessandro et al., 1987). Particolarmente sviluppato inoltre il reticolo idrografico che qui si caratterizza per la presenza dei canali Fano, Muscio e Tariano, in corrispondenza dei quali è possibile osservare le migliori esposizioni geologiche.

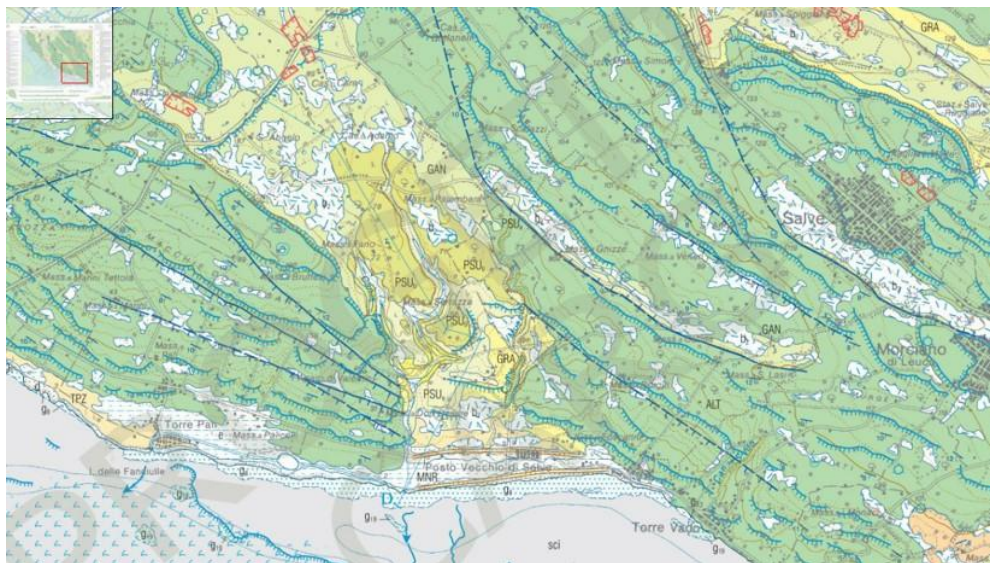


Fig. 9 - Stralcio della Carta Geologica d'Italia, Foglio Ugento, ISPRA.

Con riferimento alla Carta Geologica d'Italia in scala 1: 50.000 (Ricchetti, 2009) e al lavoro di D'Alessandro e Massari (1997), oltre ai depositi recenti ed attuali, quelli affioranti (Fig. 9) nella depressione di cui sopra sono:

- Formazione di Uggiano la Chiesa (Pliocene Medio)
- Calcareniti di Gravina (GRA, Pleistocene Inferiore)
- Argille subappennine (ASP, Pleistocene Inferiore)
- Sintema di Miggiano (GAN, Pleistocene Medio)
- Sintema di Pescoluse (PSU, Pleistocene Medio)

La forma carsica (Causo et al., 2024) che qui si presenta, già oggetto di interventi mediante la coltivazione della porzione settentrionale, per l'estrazione delle terre rosse residuali di riempimento della depressione, risulta essere stata utilizzata dal Comune di Salve, negli anni 1986-1996 come discarica di RSU (Fig. 10) prodotti dagli abitanti del Comune di Salve, della frazione Ruggiano e dalle marine (Pescoluse, Torre Pali, Posto Vecchio, Lido Marini) in regime di "ordinanze contingibili e urgenti".



Fig. 10 - Panoramica della dolina di Spiggiani prima degli interventi di messa in sicurezza. In primo piano alcuni abbranchi di rifiuti.

I rifiuti sono stati depositati prevalentemente lungo il lato Nord, a parziale colmamento della porzione svuotata dall'attività estrattiva. Servendosi quindi della na-

turale conformazione dell'area, i rifiuti sono stati adagiati nel tempo sul versante scosceso della dolina, sfruttando il salto di quota di circa 10 metri tra il limite superiore e la porzione centrale della dolina, accrescendo progressivamente la discarica a partire dal bordo occidentale verso il centro, lasciando spesso a vista i rifiuti che risultavano mascherati solo dalla vegetazione spontanea. In conformità alle specifiche previste dal par. 4.2.2 della Delibera C.I.T.A.I. del 24 luglio 1984 "Disposizioni per la prima applicazione dell'art.4 del D.P.R. 10 settembre 1982, n. 915 concernente lo smaltimento dei rifiuti, la discarica, non è stata attrezzata con sistemi di impermeabilizzazione, né del fondo né delle pareti laterali, non sono altresì mai stati realizzati sistemi di raccolta ed estrazione del percolato, né pozzi per la captazione del biogas. Mancando un sistema di regimazione delle acque superficiali, la copertura è stata realizzata solo in sporadici casi con un sottile strato di terreno vegetale prelevato in loco, frammisto a inerti, consentendo alle acque meteoriche di infiltrarsi nel corpo rifiuti. L'Amministrazione Comunale di Salve ha attuato nel 2008 (per mezzo di Toma Abele), ai sensi del D. Lgs.152/06 e ss.mm.ii., il "Piano di caratterizzazione ex discarica comunale non controllata in località Spiggiani" (approvato con Det.Dir. del Servizio Ciclo Rifiuti e Bonifica della Regione Puglia n. 106 del 18/06/2007), avendo ottenuto un finanziamento con fondi "ecotassa" – art. 15 della L.R. 5/97 (D.G.R. n. 2028 del 29/12/2004). Nell'ambito di tale Piano di caratterizzazione, le analisi chimiche svolte, hanno evidenziato superamenti delle CSC di cui al D.Lgs. n. 152/06 ss.mm.ii., part. IV tit. V all. 5, relative alla destinazione d'uso "verde pubblico e privato, residenziale" a carico della matrice suolo e sottosuolo per i parametri IPA (Benzo(a)antracene, Benzo(a)pirene, Benzo(b)fluorantene, Benzo(g,h,i)perilene, Dibenzo(a,e)pirene, Dibenzo(a,h)pirene, Dibenzo(a,h)antracene, Indenopirene). Non è risultata contaminata la falda profonda e non è stata rilevata la presenza di percolato. Nell'ambito della conferenza dei servizi tenutasi in data 12/05/2015, tenuto conto che i dati ambientali di caratterizzazione risalivano al 2008 e non potendo escludere la possibilità che le locali condizioni di contaminazione potessero essersi in qualche modo evolute, si è convenuto di procedere con una progettazione esecutiva, per stralci, degli interventi da realizzare: I° stralcio per la progettazione esecutiva delle indagini geognostiche ed ambientali di supporto, il II° stralcio per la progettazione esecutiva degli interventi di messa in sicurezza permanente e bonifica, sulla base degli esiti delle indagini del I stralcio. Sulla base del primo stralcio del progetto esecutivo, nel 2019, sono state svolte le indagini di aggiornamento del quadro ambientale con approfondimento della caratterizzazione del sito preliminare alla esecuzione dei lavori di MISP e bonifica. I risultati delle analisi chimiche hanno evidenziato superamenti delle CSC con riferimento siti ad uso "Verde pubblico e privato e Residenziale" a carico della matrice suolo e sottosuolo per i composti inorganici ed idrocarburi (idrocarburi pesanti C>12), cadmio e selenio nel sottosuolo ed idrocarburi pesanti C>12, berillio, cobalto, stagno e vanadio per il suolo, a quote diverse dal piano campagna. È altresì emersa la presenza di composti inorganici sia nel Top Soil che alla profondità tra i 20 m ed i 40 m. Superficialmente, nell'area occupata dei rifiuti

ed a profondità diverse dal piano campagna, in punti che non intercettano i rifiuti, è stata rilevata la presenza di idrocarburi. I dati aggiornati confermavano che la falda sotterranea non risulta interessata dalla contaminazione e l'assenza di biogas. Successivamente, gli esiti delle analisi eseguite da ARPA Puglia nel 2021 hanno mostrato nei campioni di top soil il superamento del valore limite di cui alla Tabella 1 colonna A dell'Allegato V alla parte IV del D.Lgs 152/06 per il parametro Berillio; tali superamenti sono stati riscontrati anche dall'Amministrazione nei campioni prelevati nel giugno 2019 (congiuntamente ad altri superamenti a carico dei parametri Vanadio e Cobalto) e in un campione di acque sotterranee il superamento del valore limite di cui alla Tabella 2 dell'Allegato V alla parte IV del D.Lgs 152/06 per il parametro PCB.

Alla luce dei risultati ottenuti con il Piano di Caratterizzazione della ex discarica e ai risultati degli approfondimenti geologici eseguiti successivamente alla approvazione del suddetto Piano, e l'aggiornamento del quadro ambientale, gli interventi sono stati indirizzati alla messa in sicurezza permanente e al ripristino definitivo dell'area da intendersi come progetto di *messa in sicurezza permanente e di bonifica* secondo quanto definito all'art. 240, comma 1 del D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii. let. o) relativamente al corpo dei rifiuti e let. p) relativamente all'intervento di bonifica dei terreni residuali, oltre al ripristino ambientale lettera q).

L'analisi comparativa effettuata per il sito in esame ha condotto a ritenere la Messa In Sicurezza Permanente (MISP) l'unico intervento possibile per la parte che interessa l'abbanco di rifiuti solidi urbani in base alle caratteristiche dell'area e della tipologia di contaminazione. Pertanto, come stabilito all'All.3 al titolo V della Parte IV del D.Lgs.152/06 e ss.mm.ii. gli interventi di messa in sicurezza permanente sono stati finalizzati al contenimento della diffusione degli inquinanti per impedirne il contatto con l'uomo e con i recettori ambientali circostanti. Tali interventi hanno quindi carattere di definitività in siti come quello in oggetto, non interessati da attività produttive in esercizio e dove non sia possibile procedere alla rimozione degli inquinanti. In aggiunta all'intervento su descritto, il progetto ha previsto, presso l'area libera da rifiuti, ma interessata dalla presenza di contaminanti, un intervento di bonifica tramite fitorimediazione, una tecnica "environmental-friendly" che prevede l'utilizzo di specie vegetali per la decontaminazione dei terreni. Il fitorimedio o (fitorimediazione) consiste nell'impiego di vegetali per la depurazione in situ di agenti inquinanti diffusi nell'ambiente prevalentemente sotto forma solida o liquida.

A completamento dell'intervento di ripristino dell'area, si è prevista anche la valorizzazione del sito attraverso interventi diretti alla tutela della dolina tettono-carsica sulla quale insiste la discarica stessa mediante la realizzazione di un parco geomorfologico – ambientale (Figg. 11 a, 11 b, 11 c).



Fig. 11 a - Panoramica della dolina dopo l'intervento di messa in sicurezza.



Fig. 11 b - Area relax e giochi all'interno della dolina.



Fig. 11 c - Percorso didattico con pannelli esplicativi all'interno della dolina.

Gli studi geologici s.l. condotti hanno consentito infatti di definire che la discarica ricade in corrispondenza di una splendida dolina tettono-carsica. Essa ha una forma ovale con asse maggiore di circa 220m orientato in direzione SO-NE ed asse minore di circa 140 m, ovviamente trasversale al principale (Figg. 12 e 13).

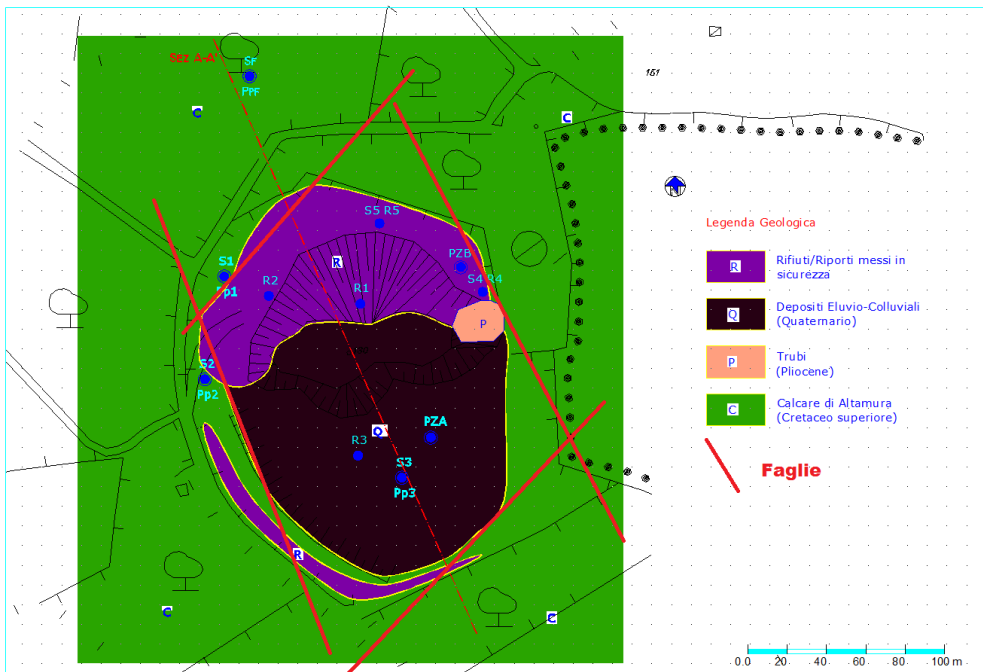


Fig. 12 - Carta geologica dell'area della dolina di Spiggiani.

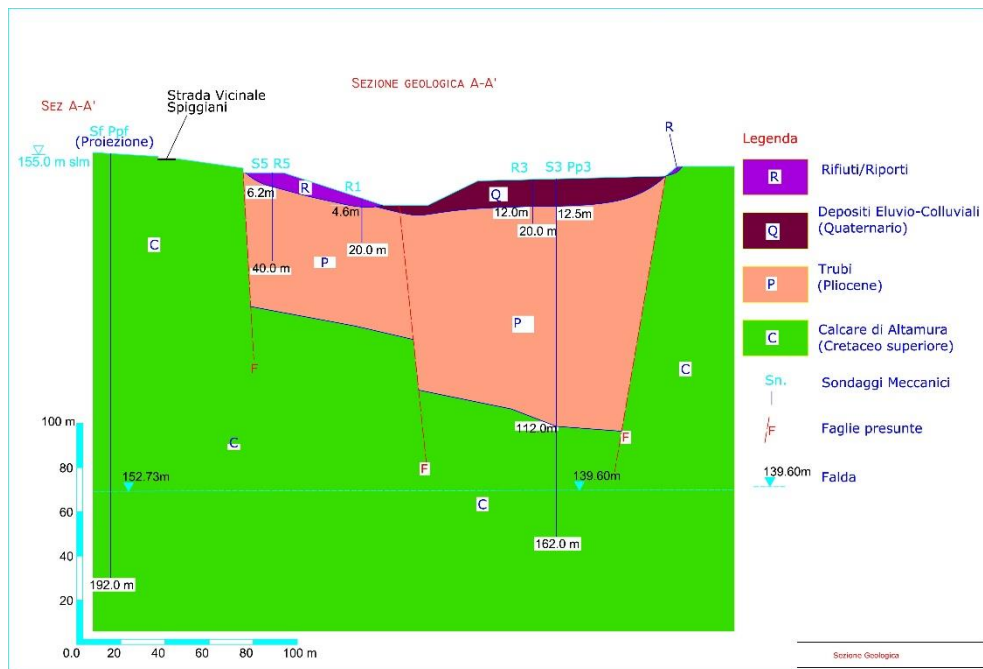


Fig. 13 - Sezione geologica dell'area della dolina di Spiggiani.

Il sito è ubicato in corrispondenza del versante occidentale delle Serre Follitte, nella loro porzione settentrionale terminale, poco distante dal tratto in cui l'alto strutturale perde la propria continuità che poi riprende con le Serre di pozzo Mauro. L'attento esame della morfologia evidenzia che procedendo da Sud verso Nord la Serra diminuisce gradualmente la sua elevazione che passa da circa 170m a circa 155m immediatamente a nord ovest della discarica. Questa variazione di quota non è né graduale né continua potendosi osservare un aumento delle pendenze proprio in un tratto posto circa a NE della discarica laddove si assiste dapprima ad una diminuzione rapida delle quote e quindi ad una loro leggera risalita. È evidente quindi che il sito è interessato da un sistema di faglie distensive parallele ma con immersione opposta che con probabile andamento SO-NE intersecano quelle principali che bordano i versanti delle Serre ed aventi direzione NO-SE in ciò determinando la presenza di un vero e proprio graben. Il rigetto di queste faglie è notevole (perlomeno se rapportato a quelli noti per la Penisola salentina) in quanto è ben superiore ai 100m così come si evince agevolmente dalla lettura dei sondaggi geognostici effettuati nelle campagne di caratterizzazione.

Questa situazione tettonica è tipica di varie aree carsiche laddove sono presenti vaste depressioni chiuse a fondo piatto e con drenaggio sotterraneo per via carsica delle acque. La presenza delle depressioni che ospitano i piani è legata a situazioni strutturali particolari come tettonica distensiva ad *horst* e *graben*, depressioni di angolo di faglia o sinclinali. L'origine della depressione dipende unicamente da queste cause strutturali, mentre la sua evoluzione successiva dipende da processi carsici e da processi di versan-

te. Il carsismo si sviluppa secondariamente, favorito dalla presenza di fratture e faglie normali e perciò distensive e permeabili all'acqua; anzi, è probabile che il carsismo inizi a svilupparsi già durante i movimenti tettonici che portano alla formazione della depressione. A testimonianza di questo si sottolinea che nel corso dei carotaggi sono stati riscontrati numerosi vuoti all'interno della successione cretacea e, in più intervalli, riempimenti di materiali terrosi rossastri. La depressione tettonica è stata quindi interessata dalle successive trasgressioni marine cenozoiche che hanno provveduto a colmarla parzialmente. In corrispondenza di un testimone di cava ubicato sul fondo della stessa e di una parete ancora visibile posta sul versante nord orientale, sono infatti affioranti delle sabbie medie molto glauconitiche con abbondanza di echinidi e lamelli-branchi al suo interno. Queste sabbie poggiano su un intervallo (ben osservabile in corrispondenza della parete) meno glauconitico ma con abbondanti bioturbazioni riempite dal materiale sovrastante. Questi depositi sono attribuibili ai Trubi (Pliocene inferiore). Molto probabilmente i termini superiori sono invece riferibili alla Formazione di Uggiano la Chiesa (Pliocene medio?-superiore) coperti a loro volta dai depositi continentali. Una delle faglie citate con andamento SO-NE probabilmente passa proprio lateralmente alla parete nelle sabbie e calcareniti glauconitiche e comunque tra il testimone di cava e la parete in terra.

L'ultima fase dell'evoluzione del sito è connessa alla dinamica della serie dei fenomeni carsici, eluviali e colluviali che hanno consentito l'accumulo di un decametrico spessore di sedimenti residuali rossastri a quasi totale colmamento della depressione.



Fig. 14 - Particolare della visita con i partecipanti al Convegno sul Patrimonio Geologico organizzato da SIGEA a Salve nel Giugno 2024.

Conclusioni

La penisola salentina, ubicata nel sud della Puglia (Italia), è una area poco elevata sul livello del mare (la quota massima è di 200 m) che si protende tra il Mar Adriatico e il Mar Ionio. Dal punto di vista geologico essa è costituita da una sequenza carbonatica mesozoica potente 3-5 km interessata da pieghe con asse NNO-SSE e un sistema di faglie che determinano la presenza di aree rilevate, le *Serre*, intervallate da depressioni morfostrutturali parzialmente riempite da depositi relativamente poco potenti di età paleogenica, neogenica e quaternaria.

La natura carbonatica delle rocce che costituiscono l'ossatura delle dorsali, l'assetto tettonico e stratigrafico, i processi geologici che si sono succeduti nel corso dei tempi hanno dato vita a una ampia varietà di forme che caratterizzano univocamente il paesaggio delle Serre. Tra queste forme abbiamo presentato il caso di studio della dolina di Spiggiani (Salve).

Il sito di Spiggiani costituisce il primo esempio di recupero di una dolina in Salento per gli scopi turistici e divulgativi della geodiversità e delle biodiversità. Tale recupero assume ancora più eccezionale valore e diviene unico nel panorama regionale se rapportato alla storia della componente geomorfologica, violentata negli anni con interventi autorizzati per svolgere attività di cava e come discarica di RSU e che, invece, a valle di interventi di messa in sicurezza e bonifica, appositamente individuati, vive un reale recupero ambientale finalizzato a creare valore sociale e culturale.

La scelta di Salve come sede del Convegno sul patrimonio geologico organizzato dalla Società Italiana di Geologia Ambientale (SIGEA), all'interno del quale Convegno una giornata è stata dedicata alla visita (Fig. 14) della dolina di Spiggiani, sancisce l'elevato valore didattico del sito che costituisce un caso da replicare per la valorizzazione di altre e differenti forme del paesaggio delle Serre salentine.

Bibliografia

- A. BELGIORNO, N. FEBBRARO, S. MARGIOTTA, M. PARISE, M. PICCINI *Pianificazione territoriale e geoturismo: il caso del Canale Fano e la Grotta delle Fate a Salve (Salento, Puglia)*, Atti del Convegno Il Patrimonio Geologico: dagli studi di base al geoturismo, Sasso di Castalda, 2018, pp. 41-47.
- A. BOSELLINI, F.R. BOSELLINI, M.L. COLALONGO, M. PARENTE., A. RUSSO, A. VESCOGNI, *Stratigraphic architecture of the Salento coast from Capo d'Otranto to S. Maria di Leuca (Apulia, southern Italy)*. In Riv Ital Paleont Strat 105, 1999, pp. 397-415.
- A. BOSSIO, D. ESU, L.M. FORESI, O. GIROTTI, A. IANNONE, E. LUPERTO SINNI, S. MARGIOTTA, R. MAZZEI, B. MONTEFORTI, G. RICCHETTI & G. SALVATORINI, *Formazione di Galatone, nuovo nome per un'unità litostratigrafica del Salento (Puglia, Italia meridionale)*. In Atti Soc. Toscana Sc. Nat., Mem., Serie A, 105, 1999, pp. 151-156.
- A. BOSSIO, L.M. FORESI, S. MARGIOTTA, R. MAZZEI, B. MONTEFORTI, G. SALVATORINI, *Carta geologica del settore nord orientale della Provincia di Lecce; scala 1:25000; settore 7,8,10 scala 1:10000*. Università di Siena, 1998.
- A. BOSSIO, L.M. FORESI, S. MARGIOTTA, R. MAZZEI, B. MONTEFORTI, G.G. SALVATORINI, F. DONIA, *Stratigrafia neogenico-quadernaria del settore nord - orientale della provincia di Lecce (con rilevamento geologico alla scala 1:25000)*. In Geologica Romana, 2006.
- F. CAUSO, L. LOPEZ, S. MARGIOTTA, *Da dolina a cava sino a discarica per poi divenire Parco geomorfologico: il caso di Spiggiani a Salve (Salento)*. Geologia dell'Ambiente, supplemento al n. 2. Riassunti degli Atti del Convegno di Salve (LE) 14-16 giugno 2024 I paesaggi e beni geologici, patrimonio culturale e patrimonio immateriale. 2, 2024, pp. 39-41.
- V. COTECCHIA e L. DELL'ANNA, *Contributo alla conoscenza delle bauxiti e terre rosse del Salento*. Memorie e note dell'Istituto di Geologia Applicata dell'Università di Napoli, VII, 1959, pp. 5-20.
- U. CRESCENTI e L. VIGHI, *Caratteristiche, genesi e stratigrafia dei depositi bauxitici cretacici del Gargano e delle Murge; cenni sulle argille con pisoliti bauxitiche del Salento (Puglia)*. Boll. Soc. Geol. It., 83, 1967, pp. 285-338.
- A. D'ALESSANDRO, F. LOIACONO, G. RICCHETTI, *Note illustrative alla carta geomorfica del Salento meridionale (F.525 Gallipoli, 526 Nardò, 527 Otranto, 536 Ugento e 537 Capo S. Maria di Leuca)*. - Atti del Convegno sulle conoscenze geologiche del territorio salentino. Lecce 12 dicembre 1987. Quaderni di Ricerche del Centro Studi Geotecnica e di Ingegneria Lecce, 11, 1987, pp. 207-222.

A. D'ALESSANDRO e F. MASSARI, *Pliocene and Pleistocene depositional environments in the Pesculuse area (Salento, Italy)*. Rivista Italiana di Paleontologia e stratigrafia, 103, 1997, pp. 221-258.

V. FESTA, A. FIORE, M. LUISI, M.N. MICCOLI, L. SPALLUTO, *Petrographic features influencing basic geotechnical parameters of carbonate soft rocks from Apulia (southern Italy)*, Engineering Geology, 233, 2018, pp. 76-97.

R. FUNICIELLO, P. MONTONE, M. PAROTTO, F. SALVINI, M. TOZZI, *Geodynamical evolution of an intra-orogenic foreland: The Apulia case history (Italy)*. Bollettino della Società geologica italiana. 110, nn. 3-4, 1991, pp. 419-425.

M.J. LORT, *The tectonics of the Eastern Mediterranean: a geophysical review*. Rev Geoph. & Space Phys., 9 (2), 1971.

S. MARGIOTTA, *Salento da esplorare* - Capone editore, 2016. 176 pp

S. MARGIOTTA, *Geologia, carsismo, geomorfologia e speleogenesi: il Salento, il canale Fano e Grotta delle fate*, pp. 37-62 in *Salento Sottoterra* di N. FEBBRARO e M. PICCINNI, Libellula Editore, 2018, pp. 256.

S. MARGIOTTA & G. RICCHETTI, *Stratigrafia dei depositi oligo-miocenici del Salento (Puglia)*. Boll. Soc. Geol. It., 121, 2002, pp. 243 - 252.

S. MARGIOTTA, P. SANSÒ, *I giacimenti minerari del Salento (Puglia, Italia) uno strumento per la promozione del patrimonio geologico locale*. Atti del Convegno Il Patrimonio Geologico: dagli studi di base al geoturismo, Sasso di Castalda, 2018, pp. 99-110.

B. MARTINIS, *Lineamenti strutturali della parte Meridionale della penisola salentina*. Geologia Romana. Vol. I, 1962, pp. 11-23.

P. PIERI, V. FESTA, M. MORETTI, M. TROPEANO, *Quaternary tectonic activity of the Murge area (Apulian foreland, Southern Italy)* Ann. Geofisica, 40/5, 1997, pp. 1395-1404.

G. RICCHETTI, *Carta geomorfica del Salento meridionale (F. 525 Gallipoli, 526 Nardò, 527 Otranto, 536 Ugento e 537 Capo S. Maria di Leuca)*. - Atti del Convegno sulle conoscenze geologiche del territorio salentino. Lecce 12 dicembre 1987. Allegato- Quaderni di Ricerche del Centro Studi Geotecnica e di Ingegneria Lecce, 11.

G. RICCHETTI, *Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio 536, Ugento*. ISPRA Servizio Geologico d'Italia, 2009, 102 pp.

S. ROSSI, A.M. BORSETTI, *Correlation entre sismique a reflection et stratigraphie de la dorsale del Pouillies (Mer Joienne)*. Rapp. Comm. INt. Mer Mediter., 23, 1975, pp. 307-308

G. SELLERI, P. SANSÒ, N. WALSH, *The contact karst of Salento region (Apulia, Southern Italy)*. In: Gabrovšek F (ed.) *Evolution of Karst: from Prekarst to Cessation*. Postojna-Ljubljana, Založba ZRC, 2002, pp. 275-282.

P. SANSÒ, *Caratterizzazione geomorfologica degli inghiottitoi carsici (vore) della Provincia di Lecce*, Provincia di Lecce, 2004, pp. 54.

P. SANSÒ, *The ancient landforms of Apulian region*. Abstract IV International Symposium on Geomorphology, Bologna (Italy), 1997.

M. TOZZI, *Assetto tettonico dell'Avampaese Apulo Meridionale (Murge Meridionali, Salento) sulla base dei dati strutturali*. *Geologica Romana*, 29, 1988, pp. 95-111.