

GEOLOGI e TERRITORIO

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

ISSN: 1974-1189

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

**NON TUTTI I SISMI VENGONO PER NUOCERE:
LA CRIPTA DELL'ASSUNTA DI SANARICA (PROVINCIA DI LECCE)**

Paolo Sansò

**UN CASO PARTICOLARE DI CONTAMINAZIONE NATURALE DI FALDA IDRICA
PRESENTE NELLE ROCCE MIOCENICHE**

Giuseppe Cesario Calò, Daniele Calò, Donato Lucrezio, Ilaria Maci,
Norberto Roveri, Roccaldo Tinelli

**DAL RIFIUTO AL RIPRISTINO: LA GESTIONE INTEGRATA
DEI MATERIALI INERTI NELLE CAVE PUGLIESI**

Francesco Tucci, Carlo Tucci



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



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

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



GEOLOGI e TERRITORIO

Periodico dell'Ordine Regionale
dei Geologi - Puglia
Anno XXII - n. 2/2025

Direttore editoriale:
Caputo Giovanni

Direttore responsabile:
Alfarano Espedito

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

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

Coordinamento scientifico:
Andriani Gioacchino Francesco, Valletta Salvatore

Segreteria di redazione:
Divella Serena, Frustace Mariacarmela

Redazione, Amministrazione e Pubblicità:
Ordine dei Geologi - Puglia
Via Junipero Serra, 19 - 70125 Bari
www.geologipuglia.it - info@geologipuglia.it

Stampa:
Sagraf Srl - Z.I. Capurso (BA)

Autorizzazione del Tribunale di Bari:
n. 29 del 16.06.2004

Chiuso in tipografia il 15 Dicembre 2025

SOMMARIO

2

Editoriale del Presidente dell'ORG - Puglia
Giovanni Caputo

3

**NON TUTTI I SISMI VENGONO PER NUOCERE:
LA CRIPTA DELL'ASSUNTA DI SANARICA
(PROVINCIA DI LECCE)**

Paolo Sansò

13

**UN CASO PARTICOLARE DI CONTAMINAZIONE
NATURALE DI FALDA IDRICA PRESENTE
NELLE ROCCE MIOCENICHE**

*Giuseppe Cesario Calò, Daniele Calò, Donato Lucrezio,
Ilaria Maci, Norberto Roveri, Roccaldo Tinelli*

30

**DAL RIFIUTO AL RIPRISTINO: LA GESTIONE
INTEGRATA DEI MATERIALI INERTI
NELLE CAVE PUGLIESI**

Francesco Tucci, Carlo Tucci



*Foto di copertina:
Cripta dell'Assunta, Sanarica (LE).
L'alta qualità pittorica di Costantino
imperatore, in ricche vesti e con la
corona imperiale sulla testa, risale
ad un periodo compreso tra
il XI e XII secolo.
(Foto Pro Loco Sanarica APS)*

Care Colleghe e cari Colleghi,

il 2025 è stato caratterizzato dal rinnovo del Consiglio dell'Ordine Regionale che mi vede, dal mese di maggio, nella veste di Presidente, incarico che ho assunto con profondo senso di responsabilità e grande entusiasmo, insieme a tutto il Consiglio.

Mi corre l'obbligo di ringraziare la Presidente uscente, Giovanna Amedei e i Consiglieri precedenti per il loro instancabile lavoro; attraverso l'esperienza di questi anni che mi hanno visto anche Tesoriere dell'Ordine sono state gettate le basi solide per il futuro.

La mia presidenza intende perseguire un chiaro impegno verso l'innovazione e la valorizzazione della professione del geologo, ponendo l'accento sulla sostenibilità, la gestione delle risorse idriche e la tutela del territorio.

Il nostro lavoro sarà finalizzato anche a promuovere la cultura della prevenzione, la salvaguardia del paesaggio e la valorizzazione del patrimonio geologico pugliese, in stretta collaborazione con istituzioni, università e associazioni.

Per raggiungere questi obiettivi, sono già al lavoro le commissioni interne dell'Ordine come quella relativa all'APC e ai rapporti con l'Università, impegnata per la definizione di una Convenzione di collaborazione. Si tratta di una grande opportunità per studenti che, attraverso lo scambio di informazione e formazione, potranno affacciarsi al mondo del lavoro con conoscenze ed esperienze che giungono direttamente dal mondo della professione e dell'impresa. Allo stesso tempo si intende favorire l'aggiornamento tecnico-scientifico degli iscritti con corsi APC più aderenti con le necessità richieste dal mercato professionale così come stiamo ponendo attenzione e proponendo osservazioni allo "Schema di disegno di legge recante delega al governo per la riforma della disciplina degli ordinamenti professionali".

Anche la commissione Regionale della Protezione Civile sta già al lavoro con la Struttura Tecnica Nazionale (S.T.N.) per la costituzione del Coordinamento Attività Regionale (C.A.R.) Puglia e per le Sezioni Operative Territoriali, per fornire nuove opportunità per i geologi impegnati in questo settore.

La commissione Norme Tecniche e Osservatorio Lavori Pubblici, invece, sta lavorando per l'aggiornamento del prezzario regionale delle opere pubbliche – edizione 2026 mentre la commissione Risorse idriche e georischi, è impegnata, con gli Enti preposti, nel fornire corrette interpretazioni e procedure in merito alla nuova Legge Regionale 30 maggio 2025, n. 7 "Disciplina regionale dell'utilizzo delle acque superficiali e sotterranee e disposizioni diverse".

Resta importante anche l'impegno di tutte le altre commissioni, ognuno nel loro campo di applicazione, dalla Crescita, Deontologia, Decoro Professionale e Parcelle, alla Pianificazione, Tutela e Sostenibilità Ambientale e Energie Alternative, alla Tutela del Patrimonio Geologico e Geositi, alle Pari Opportunità, a quella Giovani e Professione.

È auspicabile, inoltre, oltre che strategico per il futuro della nostra categoria, che il periodico "Geologi e Territorio" diventi sempre più un punto di riferimento per un confronto tecnico di alto livello. Pertanto, rivolgo un personale invito a tutti gli iscritti affinché partecipino attivamente alla vita della rivista, presentando contributi che affrontino nel dettaglio criticità operative. L'obiettivo è raccogliere e diffondere casi di studio che dimostrino, con chiarezza metodologica, come le problematiche geologiche complesse possono essere gestite e risolte. Condividere le chiavi di risoluzione tecnica non è solo un atto di divulgazione, ma un mezzo essenziale per elevare gli standard qualitativi della nostra professione attraverso il confronto e l'apprendimento reciproco.

In attesa di incontrarVi nelle prossime iniziative, auguro un Buon lavoro a tutti noi e Buon 2026 a Tutti Voi.

Bari, dicembre 2025

Giovanni Caputo

NON TUTTI I SISMI VENGO NO PER NUOCERE: LA CRIPTA DELL'ASSUNTA DI SANARICA (PROVINCIA DI LECCE)

Paolo Sansò

Iscritto ORG Puglia n. 184ES, DISTEBA Università del Salento, paolo.sanso@unisalento.it

INTRODUZIONE

Sanarica è un piccolo paese di appena 1500 abitanti ubicato nel Salento centro-orientale, in Provincia di Lecce (Fig. 1). Tra i monumenti degni di nota di questa località spiccano il Palazzo Ducale, il Santuario della Madonna delle Grazie e la chiesa parrocchiale dell'Assunta.

Il Palazzo Ducale (Fig. 2) fu costruito nel XV secolo nel punto di convergenza dei principali assi viari del paese. All'origine l'edificio era circondato e difeso da un fossato, oggi convertito in giardino di alberi fruttiferi. Sul terrazzo vi sono alcune colonne di stile dorico e l'attuale ingresso settecentesco è bugnato, con caratteristico coronamento ondulatorio. A destra della porta d'ingresso vi è una cappella, le cui pareti

sono coperte da affreschi, risalenti alcuni al XVI secolo, altri al XVIII. Altri quadri decorano le sale del palazzo e raffigurano scene mitologiche, ritratti di famiglia, santi.

Il Santuario della Madonna delle Grazie (Fig. 3) fu costruito nel XVIII secolo sul luogo di un tempietto del 1200 di cui si conserva solo l'affresco della Vergine, oggi collocato sull'altare centrale (Rizzello, 1989). Secondo la tradizione nel secolo XIV una grossa imbarcazione di tarantini fu sorpresa da una tempesta al largo di Porto Badisco, una località costiera posta poco a sud di Otranto. Ai marinai spaventati apparve la celestiale figura della Vergine che diede loro conforto e tranquillità e agli stessi chiese "Venite a trovarmi in Sanarica". Così da quell'evento miracoloso, i marinai tarantini si recarono a Sanarica l'8 settembre di ogni anno in compagnia delle proprie famiglie. I pellegrini tarantini divennero nel corso dei decenni sempre più numerosi tanto che nel XVI secolo nacque a Sanarica una vera e propria colonia tarantina con tanto di abitazioni, stalle e pozzi. Fu grazie al loro contributo economico che si poté costruire la navata centrale dell'attuale chiesa, portata poi a termine a tre navate nel 1712 ed inaugurata nel 1716 come riporta una epigrafe sulla facciata del Santuario. Numerosi sono inoltre i pellegrini provenienti da Matino e dintorni che giungono al Santuario, probabilmente a seguito di un altro intervento prodigioso della Madonna di Sanarica, il 5 di luglio di ogni anno.

La costruzione della Chiesa parrocchiale fu iniziata nel 1605 ed ultimata nel 1611 poiché la chiesa originaria, intitolata a S. Basilio, era piccola e assai precaria dal punto di vista strutturale (Poso, 2001).



Figura 1 - Ubicazione geografica del centro abitato di Sanarica (Provincia di Lecce).



Figura 2 - Il cortile interno del Palazzo Ducale di Sanarica



Figura 3 - Il Santuario della Madonna delle Grazie di Sanarica.



Figura 4 - La Chiesa parrocchiale di Sanarica.

La chiesa si presenta a navata unica con un unico portale di ingresso, con timpano spezzato recante al centro la statua della Madonna (Fig. 4), e ingloba una cappella dedicata a San Giovanni Battista. La chiesa ha nascosto sino agli anni '60 del secolo scorso una cripta (Fig. 5), sconosciuta agli storici locali di fine '800 (Tasselli, Maggiulli, Arditì, De Giorgi) nonché agli studiosi che si sono interessati in tempi più recenti delle chiese rupestri pugliesi.



Figura 5 - La Cripta dell'Assunta. In primo piano a sinistra, l'affresco dell'XI secolo di San Giovanni Battista che regge con la mano sinistra un cartiglio aperto con l'iscrizione esegetica in greco "Giovanni precursore". Sullo sfondo l'iconostasi che separa la zona del bema da quella del naos, caratterizzata dalla presenza di due strette finestre rettangolari (dal sito istituzionale del Comune di Sanarica).

La scoperta di questo ambiente ipogeo è il frutto della curiosità e dell'impegno del parroco del paese, don Francesco Rizzello, che a metà degli anni '60 del secolo scorso provvide a ripulire un luogo di raccolta rifiuti posto sotto il lato orientale della chiesa che, alla fine, si rivelò essere una cripta con pitture rupestri. Tra il materiale di scarico di vario genere fu rinvenuta una quantità rilevante di ossa, probabilmente umane, per cui è possibile ipotizzare che la cripta fosse stata utilizzata prima come ossario e solo in un secondo momento come luogo di scarico.

La cripta risulta interamente scavata nel substrato calcarenitico pliocenico (Formazione delle Sabbie di Uggiano), ha dimensioni di 11.10 x 7.4 metri e si presenta orientata in direzione NE-SO, con le absidi rivolte ad est (Fig. 6). L'ambiente ipogeo presenta un impianto a croce greca inscritta in un quadrato, su un lato del quale trova spazio il *bema* (l'area riservata al clero) costituito da 3 celle giustapposte di dimensioni pressoché uguali. Il bema è separato dal *naos* (l'area riservata ai fedeli) da una iconostasi lapidea con tre varchi e due strette finestre rettangolari. Quest'ultimo costituisce un elemento architettonico di rarità in quanto rappresenta una tipologia unica tra le iconostasi ancora esistenti nelle cripte del Basso Salento.

Le pareti della cripta presentano una decorazione pittorica ad affreschi che, purtroppo, è ridotta solo ad alcuni resti, i più significativi dei quali si trovano in corrispondenza della coppia di pilastri più vicina all'originario ingresso. L'analisi degli affreschi ha permesso di riconoscere tre fasi decorative; la più antica e qualitativamente migliore è attribuibile all'XI secolo. Una seconda fase è stata realizzata nei primi decenni del XII secolo mentre la terza ed ultima fase è attribuita al pieno XIII secolo (De Giorgi, 2001).

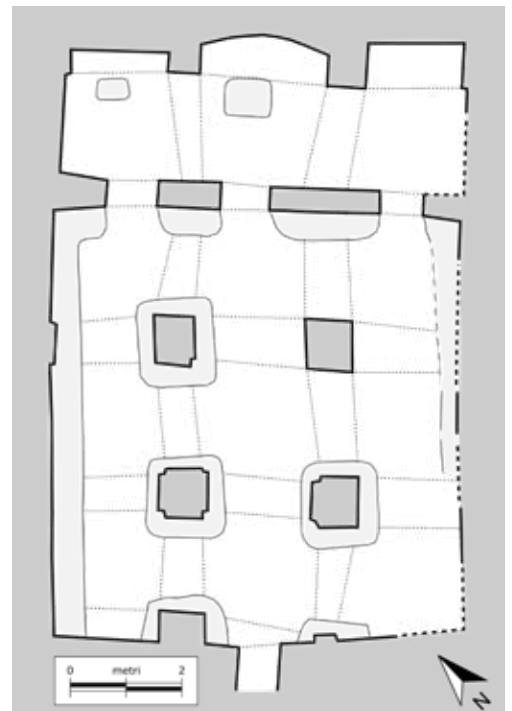


Figura 6 - La pianta della Cripta dell'Assunta (da Dell'Aquila & Messina, 1998; modif.).



Figura 7 - Isosiste del terremoto di Telepene del 3 aprile 1969 (da Gasparini, 1974, parte italiana; Bul. Sizm. Rep. Pop. Shqip., 1974, parte albanese).

La cripta non è rilevabile nella sua interezza essendo danneggiata nella zona dell'ingresso originario, ubicato probabilmente nell'area ovest, e in tutta la navata destra ostruita da conci di calcarenite con evidenti tracce di affreschi, probabilmente materiale di risulta dell'originaria chiesa di S. Basilio.

LA SCOPERTA DELLA CRIPTA ED IL TERREMOTO DI TELEPENE DELL'APRILE 1969

Alcune fonti (Poso, 2001) riportano che la scoperta della cripta presente al di sotto della Chiesa parrocchiale di Sanarica avvenne a seguito di una scossa sismica avvertita nell'area nei primi giorni di aprile del 1969. Il parroco, preoccupato per la staticità dell'edificio sacro, fece effettuare in data 20 aprile 1969 una perizia dal Genio Civile di Lecce e durante i necessari sopralluoghi si scoprì l'esistenza della cripta. La rilevanza storico-artistica dell'ipogeo e la necessità di provvedere ad un restauro furono poi segnalate nel dicembre 1971 dal Soprintendente Renato Chiurazzi (Chiurazzi, 1971).

In realtà, leggendo la relazione tecnico-illustrativa del 1969 allegata alla relazione dell'Arch. Chiurazzi, si scopre che il parroco ed i suoi volontari avevano già individuato e svuotato buona parte della cripta già prima dell'evento sismico. Probabilmente, l'evento sismico servì solo ad ufficializzare la scoperta nonché per ricevere assistenza tecnica ed economica per "continuare i lavori intrapresi" grazie all'aiuto di "tecnici specializzati e di mezzi di cui la Parrocchia non è in grado di disporre".

I lavori di restauro della cripta furono poi effettivamente realizzati a cura della Soprintendenza Beni Ambientali Architettonici e Storici della Puglia nel periodo 1975-1982.

Il providenziale terremoto avvenne la notte del 3 aprile 1969 alle ore 23.12 (ora italiana) con epicentro nell'area di Telepene, località posta nella parte meridionale dell'Albania, circa 50 km a sud-est di Valona. Nella zona epicentrale l'evento sismico raggiunse una intensità del VII-VIII grado della Scala Mercalli con magnitudo stimata pari a 5.5 e profondità dell'ipocentro pari a 33 km (NCEI). Secondo Gasparini (1974), questo terremoto provocò 2 vittime, 126 feriti e notevoli danni; un migliaio di case furono fortemente danneggiate o distrutte ed altre 2000 lievemente danneggiate. L'area italiana di maggiore risentimento fu quella del Salento orientale dove le scosse sismiche raggiunsero il V grado della Scala Mercalli (Fig. 7).

La Gazzetta del Mezzogiorno di venerdì 4 aprile 1969

riporta in prima pagina (Fig. 8): "Una scossa di terremoto in senso sussultorio è stata avvertita ieri sera, verso le 23,15, in vari centri pugliesi. È durata alcuni secondi. A Bari è stata particolarmente avvertita nei piani più alti: in alcune abitazioni lampadari e mobili hanno oscillato. Anche a Taranto il terremoto è stato "sentito" in numerose abitazioni. A Brindisi, invece, le scosse sono state due, intorno alle 23,13. Il fenomeno tellurico è stato piuttosto accentuato. Porte, vetri e lampadari hanno vibrato per qualche secondo. Alcune persone si sono riversate per la strada, ma non vi sono state scene di panico. A Lecce, dove la scossa è stata registrata anche dalla locale stazione aerologica, vi è stato un po' di panico tra la popolazione. La scossa è stata avvertita anche a Gallipoli in alcune abitazioni, e in altri centri delle quattro provincie".

Il giorno successivo, sabato 5 aprile 1969, sempre sulla prima pagina della Gazzetta del Mezzogiorno, al terremoto è dedicato il seguente trafiletto (Fig. 9): "Il terremoto che ha fatto tremare la Puglia verso le 23,15 di giovedì si è irradiato - secondo l'osservatorio Bendandi - dal fondo sub-marino dello Jonio, tra le coste italiane e le isole di Zante e Cefalonia nell'arcipelago greco. Inoltre il sisma al suo epicentro, avrebbe raggiunto l'8° grado della Scala Mercalli.

Il movimento tellurico è stato registrato anche dai sismografi dell'Osservatorio di Taranto. Le scosse sono state sei: la prima è avvenuta alle 23 13' e 19"; le altre sono seguite a circa un'ora di distanza l'una dall'altra. L'ultima si è verificata alle 5 21'19" ed è stata di intensità maggiore".



Figura 8 - L'articolo pubblicato sulla prima pagina della Gazzetta del Mezzogiorno di venerdì 4 aprile 1969.



Figura 9 - Gli articoli pubblicati sulla Gazzetta del Mezzogiorno sabato 5 aprile (a sinistra) e domenica di Pasqua 6 aprile 1969 (a destra).

Domenica 6 aprile 1969, giorno di Pasqua, la Gazzetta del Mezzogiorno dedica a pagina 11 un ultimo trafiletto al terremoto (Fig. 9): “*Il terremoto che ha fatto tremare la Puglia la notte di giovedì scorso, ha provocato un morto (un ragazzo), 65 feriti e gravi danni. Lo ha infatti annunciato Radio Tirana precisando che circa mille edifici sono crollati ed altri duemila sono rimasti lesionati. L'emittente ha confermato che il sismo si è verificato alle 23,25 (italiane) del 3 aprile e che la sua intensità è stata del 7.mo grado della scala Mercalli. Le regioni colpite sono state quelle di Malacastri e Tepeleni, in particolare le città Fier, Besat, Prenut e Valona. Le autorità albanesi, ha aggiunto la Radio, hanno preso tutti i provvedimenti necessari per alleviare le sofferenze delle popolazioni.*”

La struttura tettonica responsabile dell'evento è la faglia trascorrente di Vlore-Tepelene, esposta in superficie per circa 55 km con allungamento in direzione ONO-ESE. Il meccanismo focale di 3 terremoti di intensità moderata verificatisi lungo questa struttura nell'ultimo secolo suggerisce la prevalenza di un movimento di faglia inversa con componente

laterale, compatibile con l'attuale distensione in direzione NE-SO dell'area (Ormeni & Kanami, 2022). La storia sismica di questa struttura durante l'ultimo secolo è dominata dal terremoto di Vermiku di magnitudo 4.8 e profondità 15 km verificatosi il 19 maggio 2018 alle 18.14 UTC, avvertita anche questa distintamente in Provincia di Bari e nel Salento.

CARATTERISTICHE GEOLOGICHE DELL'AREA DEL CANALE D'OTRANTO

Il Canale d'Otranto è un braccio di mare ampio circa 70 km che separa la penisola salentina, la propaggine più orientale d'Italia, con il territorio albanese. Il Canale appare caratterizzato da un profilo morfobatimetrico asimmetrico (Fig. 10) con il lato occidentale, quello salentino, caratterizzato da un'ampia piattaforma continentale, estesa tra 0 e 200 m di profondità per più di 15 km, mentre in corrispondenza del lato albanese essa non è più ampia di 5 km. Una ripida scarpata raccorda il bordo della piattaforma continentale con il bacino di Otranto-Lefkada, il cui fondo si spinge nella zona dello stretto poco oltre i 900 metri di profondità.

Il territorio albanese è parte dell'arco dinarico-albanese-ellenico dell'orogene alpino formatosi principalmente nel Terziario (Nieuwland *et al.*, 2001) (Fig. 11). Dal punto di vista strutturale è possibile individuare le Albanidi Interne e quelle Esterne. Le prime sono costituite generalmente da ofioliti sulle quali si svilupparono tre distinti bacini sedimentari. Le albanidi esterne possono essere suddivise in tre zone (da est a ovest): la zona di Krasta-Cukali, la zona di Kruja e la zona ionica costituita dalle tre fasce di Berati, Kurveleshi e Cika.

Queste zone sono caratterizzate da deposizione carbonatica in un contesto tettonico distensivo, seguite da flysch. Nella zona ionica, in particolare, i più antichi sedimenti riconosciuti sono delle evaporiti di età triassica. Queste sono ricoperte da carbonati di piattaforma di età compresa tra il Trias superiore e il Giurassico inferiore, seguiti da carbonati pelagici di età Giurassico medio – Eocene e coperti infine da flysch di età compresa tra l'Oligocene e il Burdigaliano.

A queste zone se ne aggiunge un'altra, la zona di Sazani, che costituisce la parte più occidentale della costa albanese. Questa zona è una porzione della Piattaforma Carbonatica Apula che è stata qui compressa verso est; la zona appare costituita da carbonati di piattaforma di età compresa tra il Triassico e il Cretaceo superiore ed ha rappresentato un'area emersa dal Paleocene sino al Miocene inferiore.

La complessa struttura del territorio albanese si riflette nella complessa orografia del territorio. La parte centro-me-

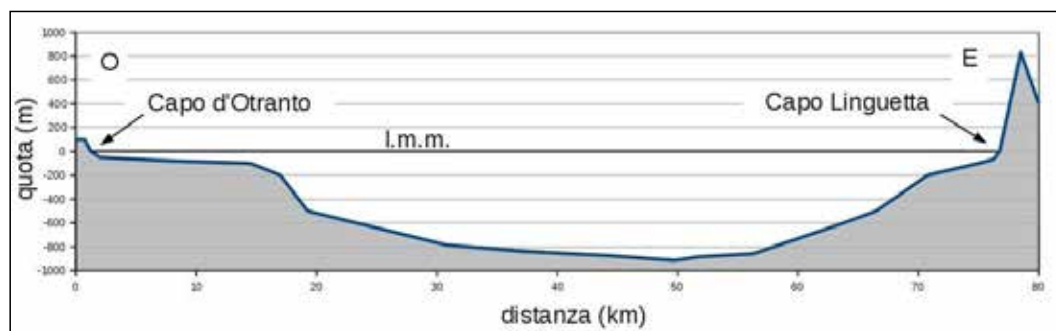


Figura 10 - Profilo batimetrico del Canale d'Otranto.



Figura 11 - Schema geologico-strutturale dell'Albania. La linea verde è il limite della Piattaforma Carbonatica Apula, indicata dalla campitura a puntini verdi; le linee rosse con triangolini indicano i principali sovrascorrimenti (da Nieuwland *et al.*, 2001; modif.)

ridionale e sud-occidentale appare più semplice essendo costituita da una serie di dorsali calcaree orientate in direzione NO-SE ammantate da flysch.

La penisola salentina, come tutta la regione pugliese, costituisce la parte emersa della placca adriatica e rappresenta la zona di avampaese della catena appenninica, ad ovest, e di quella dinarico-ellenica, ad est. Il basamento varisco è coperto da una successione di calcari di piattaforma potente tra 3 e 5 km sviluppatasi tra il Giurassico ed il Cretaceo, seguiti in trasgressione da poco potenti e discontinui depositi di età neogenica e quaternaria.

Questa successione carbonatica costituisce la piattaforma apula che si sviluppa in direzione NO-SE per una lunghezza di circa 650 km e ampiezza pari a 180 km. La piattaforma costituisce una delle cosiddette piattaforme carbonatiche periadriatiche che si formarono a seguito della frammentazione di una megapiattaforma che si era andata sviluppando dal tardo Triassico sul margine meridionale dell'oceano Tetide (Bosellini, 2002). Nel corso del Giurassico medio-superiore, infatti, si individuarono alcune grandi piattaforme carbonatiche (tra cui quelle del Mediterraneo Centrale, Appenninica e Apula) separate da nuove aree marine a maggiore profondità (il bacino adriatico, quello di Lagonegro e le fosse slovena e bosniaca) (Vlahović *et al.*, 2005) (Fig. 12). L'evoluzione della piattaforma carbonatica apula continuò sino alla fine del Mesozoico allorquando si verificò una estesa emersione dell'area.

La piattaforma apula è parte dell'avampaese stabile e relativamente indisturbato della catena appenninica ad ovest e di

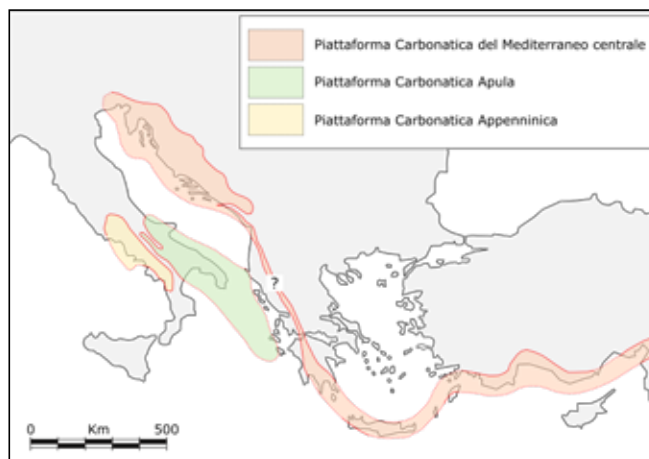


Figura 12 - Distribuzione attuale delle piattaforme carbonatiche nella regione del Mediterraneo centrale (da Vlahović *et al.*, 2005; modif.)

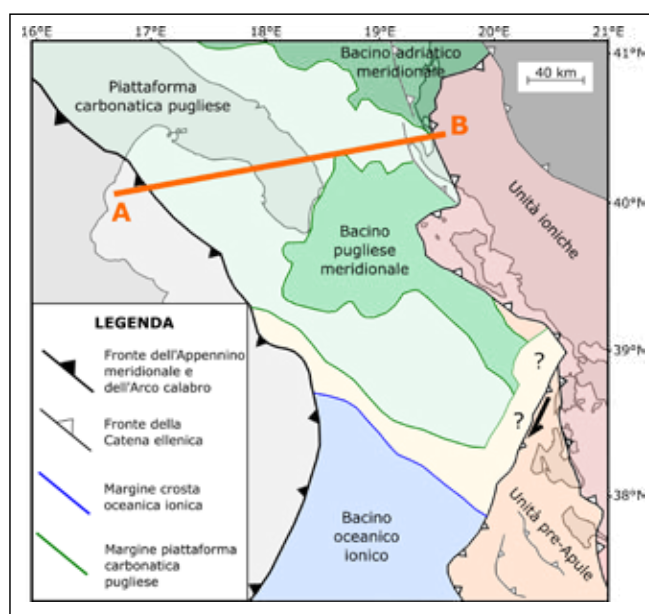


Figura 13 - Carta schematica dei principali domini sedimentari nell'area ionica. La piattaforma carbonatica apula si approfondisce verso ovest al di sotto del fronte della catena appenninica e dell'Arco Calabro. Verso est, invece, è subdotta al di sotto delle Unità ioniche della Catena Albanese (da Del Ben *et al.*, 2015; modif.)

quella dinarico-ellenica ad est (Fig.13, Fig. 14). La piattaforma era limitata verso nord (Marche-Umbria), verso oriente (Mar Adriatico) e verso ovest (Molise – Lagonegro) da bacini in cui si depositarono per tutto il Giurassico e il Cretaceo sedimenti di mare profondo. Verso sud i suoi limiti risultano essere meno chiari. In particolare, il margine orientale della piattaforma apula evidenzia un andamento planimetrico molto irregolare caratterizzato da promontori e rientranze, estendendosi sino all'estremità occidentale delle coste albanesi, dove affiora a costituire la zona di Sazani. Quest'area comprende l'isola di Seseno e la stretta penisola del Karaburun, estesa in direzione NO-SE tra Capo Linguetta e il passo di Dhermi (Del Ben *et al.*, 2015).

La zona di Sazani è correlata con la zona di Paxos (Grecia) e rappresenta parte della piattaforma apula durante il perio-

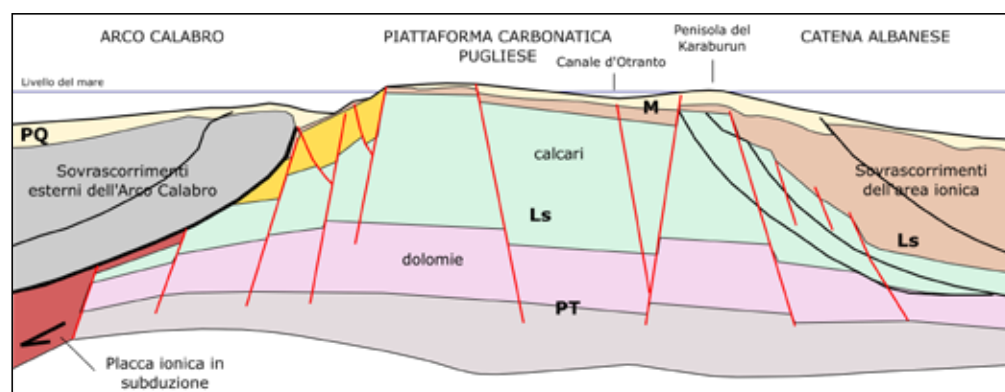


Figura 14 - Sezione geologica schematica non in scala dell'area adriatica meridionale - ionica (da Del Ben *et al.*, 2015; modif.). Legenda: PQ: successione Plio-Quaternaria; M: top del Miocene; Ls: Lias; PT: successione clastica Permo-Triassica.

do esteso tra il Mesozoico e il Terziario inferiore. Come già intuito dal De Giorgi (1886), sulle due sponde opposte del Canale d'Otranto affiorano le stesse rocce calcaree, risultato dell'evoluzione mesozoica di una estesa piattaforma carbonatica. I Monti Acrocerauni (penisola di Karaburun), infatti, che in alcuni giorni dell'anno si affacciano magicamente all'orizzonte della costa orientale salentina, costituiscono il margine orientale della Piattaforma Apula. Questo limite, infatti, affiora in corrispondenza del Massiccio della Maiella e del Promontorio del Gargano e può essere seguito nei settori sommersi dell'area meridionale del Mare Adriatico sino alla costa meridionale albanese, dove si inflette al di sotto della catena albanese-dinarica.

Verso oriente una depressione profonda, il bacino ionico, si allungava tra questa zona e la piattaforma carbonatica adriatica (zona di Gruja); sul fondo di questo bacino si accumularono tra il Giurassico inferiore e l'Eocene prevalentemente rocce marine clastiche. Dal Cretaceo superiore in poi, la convergenza tra le placche africana ed europea determinò una compressione a grande scala verso ovest.

Importanti differenze geologico-strutturali marcano le due sponde del Canale d'Otranto. Sulla sponda albanese i calcari della piattaforma apula sono stati raggiunti dalle spinte orogenetiche nell'Oligo-Miocene. Essi risultano deformati a costituire un'ampia anticlinale immergente verso ovest. I calcari sono ricoperti in discordanza angolare da successioni del Miocene inferiore costituite da depositi di mare sottile passanti in alto a depositi terrigeni clastici (molasse) spessi sino a 5000 metri. Sulle rocce della piattaforma apula sono sovrascorse tettonicamente le unità della zona ionica. Questa complicata struttura tettonica determina una elevata energia del rilievo.

La penisola salentina è stata invece caratterizzata da una relativa stabilità tettonica ed ha rappresentato sin dal Cretaceo una area rilevata nel centro della più ampia piattaforma carbonatica apula. Quest'area ha registrato i più importanti eventi geodinamici verificatisi nella regione come l'emersione del Cretaceo medio e l'arretramento del margine della piattaforma apula, la formazione della catena dinarica-ellenica ad est e dell'Appennino ad ovest e, infine, l'ultimo sollevamento pleistocenico. Quest'ultimo episodio tettonico si è verificato nel Pleistocene medio a causa dal piegamento della spessa litosfera apula indotto dalla spinta relativa verso est del mantello astenosferico che agisce sul piano di subduzione al di sotto degli Appennini (Doglioni *et al.*, 1994). Il margine

occidentale della piattaforma apula, infatti, è ampiamente incorporato nella fascia orogenetica dell'Appennino meridionale e dell'Arco Calabro. Nel Salento meridionale questa fase di sollevamento si sarebbe già conclusa 330 mila anni fa (Mastronuzzi *et al.*, 2007) per lasciare il posto ad una sostanziale stabilità tettonica, probabilmente sostituita da una tendenza alla subsidenza negli ultimi millenni (Mastronuzzi & Sansò, 2014).

LA STORIA SISMICA DEL SALENTO LECCESE

La Penisola Salentina, così come la maggior parte del territorio pugliese, è stata storicamente interessata da livelli di sollecitazione sismica di minore pericolosità rispetto al quadro nazionale, soprattutto per la più bassa frequenza temporale con cui si verificano eventi capaci di produrre danni (Del Gaudio, 2007). Ciò nonostante, la pericolosità sismica del territorio pugliese è tutt'altro che trascurabile sia per la presenza di aree caratterizzate da frequenti terremoti anche molto forti a breve distanza dalla regione pugliese, sia per una attività sismica con potenzialità di danno presente all'interno dello stesso territorio regionale. I dati di sismicità sia storica che strumentale evidenziano una considerevole variabilità della pericolosità sismica nella regione pugliese in funzione di questi due fattori.

Gli eventi sismici più disastrosi storicamente documentati in Puglia (Tab. 1) si sono verificati in Provincia di Foggia (eventi di Ascoli Satriano del 17 luglio 1361, della Capitanata settentrionale del 30 luglio 1627 e del Foggiano centro-

Anno Mese Giorno Ora Min	Area epicentrale	Io (MCS)
1223	Gargano	VIII-IX
1361 07 17	Ascoli Satriano	IX
1414	Vieste	VIII-IX
1560 05 11 04 40	Barletta - Bisceglie	VIII
1627 07 30 10 50	Gargano	X
1646 05 31	Gargano	IX-X
1657 01 29	Lesina	VIII-IX
1731 03 20 03 00	Foggiano	IX
1743 02 20 16 30	Mar Jonio	IX
1844 02 07 22 16	Basso Adriatico	VIII
1875 12 06	S. Marco in Lamis	VIII
1893 08 10 20 52	Gargano	VIII

Tabella 1 - Elenco dei terremoti più forti (intensità maggiore o uguale all' VIII grado MCS) registrati storicamente nella regione pugliese estratto dal Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2014 (CPTI15) (Rovida *et al.*, 2016).

meridionale del 20 marzo 1731). La storia sismica della Penisola Salentina, invece, appare segnata dagli effetti di un solo forte terremoto, quello del 20 febbraio 1743. Le cronache riportano che intorno alle ore 23.30 locali (corrispondenti alle ore 16.30 attuali) tre forti scosse di terremoto interessarono la Puglia meridionale e le Isole Ionie (De Cupertinis *et al.*, 2021). L'epicentro del terremoto è stato localizzato poco a sud del Canale d'Otranto, un centinaio di chilometri dalla costa orientale del Salento (Nappi *et al.*, 2017). La scossa del 20 febbraio 1743 fu avvertita in un'area vastissima che ebbe come limiti: a nord alcune città della pianura Padana; a est il Peloponneso, le Isole Ionie e la costa albanese; a sud l'isola di Malta; a ovest Messina, Reggio Calabria, Napoli e Roma (Fig. 15). I maggiori danni si registrarono su entrambe le sponde del canale d'Otranto; le località che subirono gli effetti distruttivi più gravi furono Francavilla Fontana e Nardò, in Italia, e Amaxichi, sull'isola di Santa Maura (Lefkàda), in Grecia. In questi centri gran parte degli edifici crollarono o furono gravemente danneggiati; una decina di altre località pugliesi, fra cui Brindisi, Taranto e Bari, subirono gravi danni. Nell'area pugliese i morti furono circa 180, di cui 150 a Nardò. Nelle Isole Ionie vi furono più di 100 vittime, secondo quanto affermarono i rappresentanti locali del potere veneziano.

Per la penisola salentina esiste una ricca documentazione relativa agli eventi sismici che hanno storicamente interessato questa regione. In particolare, De Simone (1993) compie l'interessante operazione di realizzare un compendio ragionato dei terremoti avvertiti in provincia di Lecce dall'anno mille al XX secolo. In particolare, nell'intervallo di tempo compreso tra i forti terremoti del 4 dicembre 1456 (epicentro in provincia di Benevento, intensità XI MCS) e del 28 dicembre 1908 (epicentro nello Stretto di Messina, intensità XI MCS) vengono segnalati 36 eventi sismici (Tab. 2). Molti di questi eventi (n.ro 15) hanno avuto epicentro nel territorio nazionale per cui sono riportati nel Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2014 (CPTI15) (Rovida *et al.*, 2016). Tre eventi presenti nel catalogo non sono riportati dal De Simone (1993): 13 dicembre 1710 con epicentro

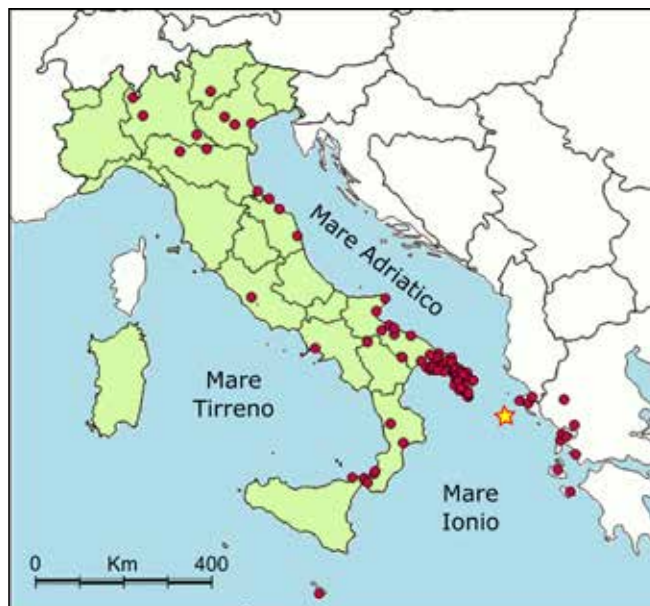


Figura 15 - Le località che hanno avvertito le scosse sismiche prodotte dal forte terremoto del 20 febbraio 1743; la stella indica la posizione dell'epicentro secondo Nappi *et al.* (2017) (da De Cupertinis *et al.*, 2021; modif.).

nel Salento settentrionale, 8 dicembre 1889 con epicentro sul Gargano, 13 dicembre 1901 con epicentro in Calabria. Molti altri eventi riportati dal De Simone (1993), invece, non sono presenti nel CPTI15 ma sono riportati in SHARE European Earthquake Catalogue dal 1000 al 1899 (SHEEC 2012) (Stucchi *et al.*, 2013) perché con epicentro al di fuori del territorio nazionale (n. 11 eventi). Dieci eventi riportati da De Simone (1993) non sono invece presenti nei cataloghi disponibili per il Mediterraneo centro-orientale (Tab. 2).

La distribuzione degli epicentri dei terremoti avvertiti nel Salento riportati nei cataloghi disponibili (Sansò, 2018) (Fig. 16) mostra la presenza di tre eventi sismici con epicentro nel Salento: 13 dicembre 1710, 20 febbraio 1743, 26 ottobre 1826. Inoltre, risulta ben evidente una netta asimmetria nella distribuzione geografica degli epicentri. Nella penisola salen-

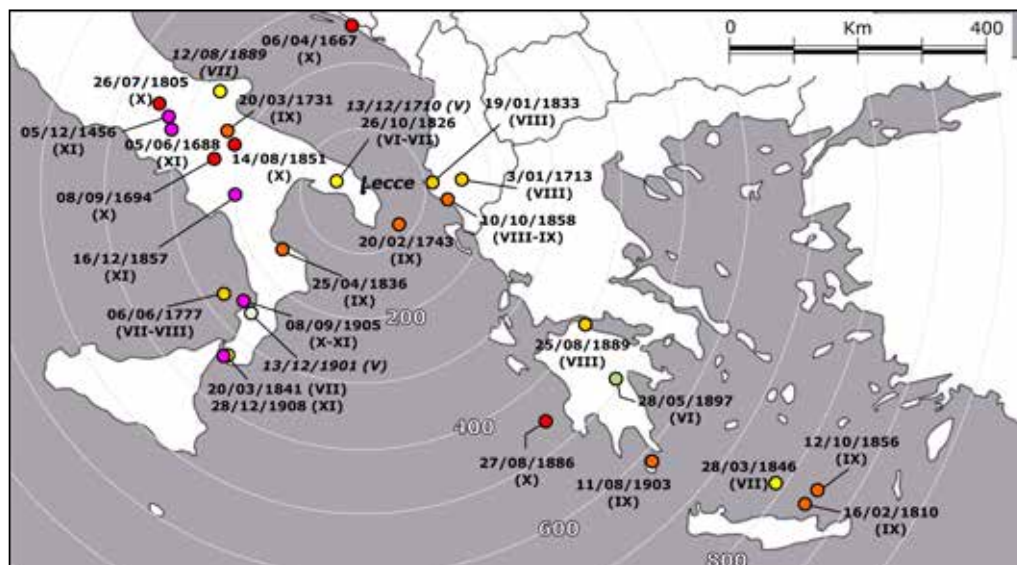


Figura 16 - Distribuzione degli epicentri dei terremoti avvertiti nel Salento riportati nei cataloghi sismici disponibili limitatamente al periodo 1456 - 1908.

Anno Mese Giorno Ora Min	Area epicentrale	Io
1456 12 05	Appennino centro-meridionale	XI
1667 04 06	Ragusa	X
1675 02 25		
1688 06 05	Sannio	XI
1694 09 08 11 40	Irpinia-Basilicata	X
1710 12 13 21	Salento	V
1713 01 03	Albania (Veratio)	VIII
1729 04 25		
1729 08 25		
1731 03 20 03	Tavoliere delle Puglie	IX
1743 02 20	Ionio settentrionale	IX
1743 10 11		
1743 10 31		
1761 03 ??		
1777 04 18		
1777 05 09		
1777 06 06 16 15	Tirreno meridionale	VII-VIII
1805 07 26 21	Molise	X
1810 02 16	Creta	IX
1826 10 26 18	Salento	VI-VII
1833 01 19 03 15	Albania	VIII
1836 04 25 00 20	Calabria settentrionale	IX
1841 03 20	Calabria meridionale	VII
1844 08 01		
1846 03 28	Creta	VII
1851 08 14 13 20	Vulture	X
1856 10 11-12	Creta	IX
1857 12 16 21 15	Basilicata	XI
1858 10 10	Albania	VIII-IX
1881 11 16		
1886 08 27	Peloponneso	X
1889 08 25	Patrasso	VIII
1889 12 08	Gargano	VII
1897 05 28 22 40	Peloponneso	VI
1901 12 13 00 10	Calabria	V
1903 08 11	Peloponneso	IX
1905 09 08 01 43	Calabria centrale	X-XI
1906 04 21		
1908 12 28 04 20	Stretto di Messina	XI

Tabella 2 - Elenco degli eventi sismici avvertiti nel Salento nel periodo compreso tra i forti terremoti del 5 dicembre 1456 e del 28 dicembre 1908 riportati in De Simone (1993). In **grassetto** sono evidenziati gli eventi sismici presenti in De Simone (1993) e riportati nel Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2014 per la località LECCE (CPTI15) (Rovida *et al.*, 2016). In **grassetto e corsivo** sono indicati gli eventi sismici riportati nel Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2014 (CPTI15) (Rovida *et al.*, 2016) ma non riportati da De Simone (1993). In *corsivo* sono indicati gli eventi sismici presenti in De Simone (1993) riportati nel SHARE European Earthquake Catalogue dal 1000 al 1899 (SHEEC 2012) (Stucchi *et al.*, 2013). **Io**: Intensità del terremoto nella zona epicentrale nella scala Mercalli-Cancani-Sieberg (MCS).

Anno Mese Giorno Ora Min	Area epicentrale	Io
1658 08 24	Lixouri (Cefalonia)	IX
1791 11 02	Gaitani (Zacinto)	X
1820 12 29 03 45	Zacinto	IX
1825 01 19 11 45	Leukada (Lefkas)	X
1851 10 12 06	Vlora	IX
1867 02 04 04 19	Lixouri (Cefalonia)	X

Tabella 3 - Elenco dei forti terremoti (IX – X grado MCS) con epicentro in Albania e nelle Isole Ionie presenti in SHARE European Earthquake Catalogue dal 1000 al 1899 (SHEEC, 2012) (Stucchi *et al.*, 2013) ma non segnalati nelle fonti storiche locali della Penisola Salentina (De Simone, 1993).

tina, infatti, sono stati avvertiti in maniera più o meno allarmante terremoti di forte intensità (nella maggior parte dei casi compresa tra IX e XI grado della scala MCS) con epicentro distante al massimo 350 km posto sia in Italia meridionale che nell'area dalmata e albanese. Esiste però un nutrito gruppo di eventi sismici che hanno avuto epicentro nel Mediterraneo orientale (Peloponneso, Creta) che, pur distanti dal Salento tra 400 e 850 km e caratterizzati talvolta da intensità non eccezionali (VI-VII grado MCS), non hanno mancato di far sentire la propria potenza sul territorio salentino.

In maniera abbastanza singolare non si ha segnalazione nel Salento dei forti terremoti che con intensità compresa tra IX e X grado MCS hanno interessato nel periodo considerato le isole Ionie di Lefkada, Cefalonia e Zacinto (Tab. 3).

CONCLUSIONI

I dati di sismologia storica disponibili indicano chiaramente come la pericolosità sismica del territorio salentino sia in gran prevalenza legata al risentimento di effetti sismici prodotti da terremoti generati in corrispondenza dei fronti compressivi dinarico-ellenici e, subordinatamente, di quello appenninico.

Il Salento è infatti l'area più prossima al margine orientale della microplacca adriatica, costituito da un fronte di compressione sede di intensi sforzi tettonici, testimoniati dagli elevati tassi di sismicità. Inoltre, la natura strutturale della placca adriatica permette la trasmissione delle onde sismiche generate da tale sismicità con elevata efficienza. Per questo le popolazioni del Salento sperimentano un alto grado di percezione dei terremoti che avvengono lungo le coste adriatiche albanesi-montenegrine.

La storia sismica salentina è però contrassegnata da tre eventi sismici con epicentro ubicato in prossimità della penisola salentina. Il più distruttivo di questi, quello del 20 febbraio 1743, è stato ampiamente descritto ed analizzato (Nappi *et al.*, 2017; Vitale *et al.*, 2021) mentre gli eventi del 13 dicembre 1710 e 26 ottobre 1826, anche se di entità decisamente minore, sono ancora poco noti e meriterebbero degli approfondimenti.

Una delle strategie fondamentali per la mitigazione del rischio sismico è quella di promuovere nelle comunità locali una cultura della conoscenza del proprio territorio e della memoria degli eventi naturali estremi che lo hanno interessato.

I terremoti, in particolare, sono sicuramente “uno di

quegli avvenimenti inaspettati, terribili che destano grande paura, che lasciano tracce di sgomento e che i padri narrano ai figli dopo molti anni e che rimarrà incancellabile nella memoria di tutti...” come riportato in un articolo sul Gazzetta delle Puglie del 4 settembre 1886 da un giornalista profondamente turbato dalle forti scosse sismiche avvertite nella città di Lecce la sera del 27 agosto 1886 prodotte da un terremoto del X grado della scala MCS avvenuto in prossimità delle coste del Peloponneso. Sfortunatamente la “memoria di tutti” abbraccia un intervallo temporale molto ristretto cosicché appare sempre più necessaria una diffusa e costante azione di educazione ambientale.

In quest’ottica la cripta della Madonna dell’Assunta di Sanarica e le circostanze che portarono alla sua scoperta o, meglio, alla segnalazione ufficiale della sua presenza rappresentano una formidabile occasione didattica per illustrare la storia sismica del Salento e delle regioni limitrofe. La bellezza del patrimonio artistico e la suggestiva atmosfera di questo ambiente di culto ipogeo possono aiutare, infatti, a stemperare la drammaticità dell’argomento e a trasmettere in maniera didatticamente efficace informazioni sulla storia sismica locale.

BIBLIOGRAFIA

- BOSELLINI A. (2002) - *Dinosaurs “re-write” the geodynamics of the eastern Mediterranean and the paleogeography of the Apulia Platform*. Earth-Science Reviews, 59, pp. 211- 234.
- CHIURAZZI R. (1971) - Relazione del Soprintendente, Renato Chiurazzi, del 23 dicembre 1971 sulla chiesa e la cripta della parrocchiale SS. Assunta. Archivio della Soprintendenza ai BAAAS di Puglia, Bari.
- DE CUPERTINIS G., SANSÒ P., VITALE A. (2021) - *20 febbraio 1743: Nardò, una città che trema*. Edizioni Grifo, Lecce.
- DE GIORGI C. (1886) - *Puglie ed Albania*, Uff. della Rassegna Nazionale, pp. 1- 20.
- DE GIORGI M. (2001) - *La cripta dell’Assunta di Sanarica*. In: Cassiano A. (a cura di) – Sanarica. Mario Congedo Editore, Galatina.
- DEL BEN A., MOCNIK A., VOLPI V., KARVELIS P. (2015) - *Old domains in the South Adria plate and their relationship with the West Hellenic front*. Journal of Geodynamics, 89, 15–28.
- DE SIMONE E. (1993) - *Vicende sismiche salentine*. Edizioni Grifo, Lecce.
- DEL GAUDIO V. (2007) - Elementi per la stima della pericolosità sismica in Puglia. Geologi e Territorio, 2, 30-36.
- DELL’AQUILA F., MESSINA A. (1998) - *Le chiese rupestri*. Bari, Adda editore, pp. 305.
- DOGLIONI C., MONGELLI F., PIERI P. (1994) - *The Puglia uplift (SE Italy): An anomaly in the foreland of the Apenninic subduction due to buckling of a thick continental lithosphere*. Tectonics, 13 (5), 1309-1321.
- GASPARINI C. (1974) - *Attività sismica in Italia nel 1969*. Annals of Geophysics, 27(1-2),107–150.
- MASTRONUZZI G., QUINIF Y., SANSÒ P., SELLERI G. (2007) - *Middle-Late Pleistocene polycyclic evolution of a geologically stable coastal area (southern Apulia, Italy)*. Geomorphology, 86, 393-408.
- MASTRONUZZI G., SANSÒ P. (2014) - *Coastal towers and historical sea level change along the Salento coast (southern Apulia, Italy)*. Quaternary International, 332, 61-72.
- NAPPI R., GAUDIOSI G., ALESSIO G., DE LUCIA M., PORFIDO S. (2017). *The environmental effects of the 1743 Salento earthquake (Apulia, southern Italy): a contribution to seismic hazard assessment of the Salento Peninsula*. Nat. Hazards, 86, S295-S324.
- NCEI, National Centers for Environmental Information – Hazard Earthquake Information (www.ngdc.noaa.gov).
- NIJEWLAND D.A., OUDMAYER B.C., VALBONA U. (2001) - *The tectonic development of Albania: explanation and prediction of structural styles*. Marine and Petroleum Geology, 18,161-177.
- ORMENI R., KANANI X., BILGIN H. (2022) - *Seismicity of Vlore-Tepelene Fault Zone during this century*. 28th European Meeting of Environmental and Engineering Geophysics, vol. 2022, 1-5.
- POSO R. (2001) – *Le chiese*. In: Cassiano A. (a cura di) – Sanarica. Mario Congedo Editore, Galatina.
- REPUBLIKA POPULLORE E SHQIPERISE (1974) - Buletini sizmologjik I vitit 1969, pp. 142.
- RIZZELLO F. (1989) – Il Santuario “SS. Maria delle Grazie. Sanarica”. In: “I Santuari Mariani”, Arcidiocesi di Otranto, 195-211.
- ROVIDA A., LOCATI M., CAMASSI R., LOLLI B., GASPERINI P. (eds.) (2016) - *Catalogo parametrico dei terremoti italiani dal 1000 al 2014 (CPTI15)*, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia.
- SANSÒ P. (2018) - *Su alcune vicende sismiche salentine*. Quaderni dell’Idomeneo, 35,105-116.
- STUCCHI M. ET AL. (2013) - *The SHARE European Earthquake Catalogue (SHEEC) 1000-1899*. Journal of Seismology, 17, 523-544.
- VLAHOVIĆ I., TIŠLJAR J., VELIĆ I., MATIČEĆ D.E (2005) - *Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: paleogeography, main events and depositional dynamics*. Palaeogeog., Palaeocl., Palaeoec., 220, 333-360.

Foto premiate alla sedicesima edizione del concorso 2025
“Passeggiando tra i Paesaggi Geologici della Puglia”

a cura dell'Ordine dei Geologi della Puglia e della SIGEA Sezione Puglia
con il patrocinio della Regione Puglia

Giuria:

Gianni Avvantaggiato, Domenico Belfiore,
Anna D'Elia, Marco Pesola, Gabriella Sfrecola.



Francesco Cocco, *La costa*,
Monopoli (BA)



Ilaria Biancolillo
Voragine il Cavoncello, Spinazzola (BT)



Oreste Caroppo
La Grotta delle Cipolliane, Gagliano del Capo (LE)



Matteo Nuzziello
Sentinelle, Mattinata (FG)



Giovanni Enriquez
Solchi d'un tempo, Cannole (LE)



Rizzi Roberto
Grotta sacra scolpita dal tempo, Minervino Murge (BT)



Maria Teresa Matarrese
Spiritualità millenaria, Carovigno (BR)



Massimo Ambrosi
Ghirigori sulla roccia, Castro (LE)



Diana Cimino
Macromondo a Cala Incine, Polignano a Mare (BA)



Davide Sassanelli
Tracce di mare antico, Torre a Mare - Bari (BA)



Michele Albano
Grotte "Basiliane", Roca Vecchia - Meledugno (LE)



Michele Todisco
La Murgia, Spinazzola (BT)



Pasquale Cassano
Il nostro Gran Canyon, Laterza (TA)

UN CASO PARTICOLARE DI CONTAMINAZIONE NATURALE DI FALDA IDRICA PRESENTE NELLE ROCCE MIOCENICHE

Giuseppe Cesario Calò^{1*}, Daniele Calò², Donato Lucrezio², Ilaria Maci³, Norberto Roveri⁴, Roccaldino Tinelli¹

¹Politecnico di Bari. *Ricercatore universitario in pensione - giuseppesario.calo@geopec.it. ²REI Srl. ³Libero Professionista.

⁴Università degli Studi di Bologna - Dipartimento di Chimica

RIASSUNTO

Nell'ambito delle indagini e studi per la caratterizzazione di una discarica per RSU in Puglia (Cavallino, LE), i sondaggi geognostici hanno intercettato tra le rocce mioceniche (Pietra Leccese) ed i calcari mesozoici (Calcari di Altamura) un pacchetto di litotipi organogeni argilloso-marnosi-lignitiferi tipici di ambiente oligoalino riferibili all'Oligocene. L'anomala e rilevante presenza di metalli pesanti nelle acque di falda, comparsi ad oltre 10 anni dalla copertura impermeabile della discarica, ha portato ad indagare sulla composizione delle rocce oligoaline e sulla possibilità di rilascio dei metalli pesanti in esse contenuti. Le misure di velocità di filtrazione hanno evidenziato un flusso idrico continuo, preferenziale, con maggiore salinità e più elevata concentrazione di metalli, che avviene a maggiore profondità, ben al di sotto di acque superficiali, più dolci e meno inquinate.

1. INTRODUZIONE

In una cava dismessa nei pressi di Masseria Guarini, in agro di Cavallino, nel 2000 fu realizzata una discarica per RSU (rifiuti solidi urbani) che ha esercitato l'attività di smaltimento rifiuti fino al 2009, successivamente sono state seguite le operazioni di chiusura e recupero ambientale.

L'attività di monitoraggio per valutare la qualità delle acque sotterranee, eseguita con piezometri posizionati attorno al perimetro dell'area, ha interessato due livelli idrici, inizialmente ritenuti distinti: il primo più superficiale circolante a pelo libero e il secondo, più profondo, "confinato", entrambi circolanti nella Pietra Leccese. In due pozzi spia, uno attestato nella falda superficiale e l'altro nella falda confinata, a distanza di oltre 5 anni dalla chiusura della discarica, sono stati rilevati metalli pesanti con concentrazioni che sono andate via via crescendo, mantenendo ancora oggi il trend di crescita, anche se l'imputato principale ipotizzato come causa di contaminazione, cioè il percolato contenuto in discarica, è ormai quasi totalmente smaltito.

Per individuare le cause di tale contaminazione, si è proceduto ad una caratterizzazione estremamente puntuale dell'area in modo da poter evidenziare non solo la natura delle rocce ma anche la chimica delle acque del percolato e della falda in evoluzione nel tempo. Sono stati eseguiti intorno alla discarica n. 40 sondaggi, che non solo hanno consentito di ricostruire l'assetto geologico-stratigrafico-tettonico ed idrogeologico dell'area ma hanno anche rilevato, alla base della Pietra Leccese, uno strato diffuso di depositi organogeni oligoalini, dislocati tettonicamente a varia profondità, ricchi di minerali, sali e metalli contenuti in sedimenti con prevalenti componenti argillose che rendono l'insieme del pacchetto

dei depositi impermeabili, fatta eccezione per le zone interessate da intense fratturazioni subverticali.

2. METODOLOGIA APPLICATA

Lo scopo dello studio era quello di identificare le cause della contaminazione di due falde idriche contenute in due distinti orizzonti, sovrapposti, nella roccia miocenica, in un'area sede di una discarica di rifiuti solidi urbani, dismessa e opportunamente isolata dall'ambiente dal 2010.

La contaminazione dei due livelli idrici da parte di metalli pesanti e ammoniaca compare nelle acque dei pozzi di monitoraggio dopo cinque anni dalla chiusura della discarica, in un primo momento saltuariamente e solo a partire dal 2018 con concentrazioni via via crescenti. Questi elevati valori di contaminanti vengono registrati ancora oggi (2025), a distanza di 15 anni dalla realizzazione del capping e in una situazione di quasi totale assenza di percolato in discarica, in quanto regolarmente smaltito.

La metodologia applicata al fine di comprendere le cause della contaminazione delle due falde è stata molto articolata. In un primo momento si è ricostruito, con l'esecuzione di 40 sondaggi a carotaggio continuo, l'assetto litostratigrafico e tettonico dell'area. In seguito, sui fori di sondaggio, attrezzati a piezometri, sono state effettuate due campagne di rilievi piezometrici che hanno permesso la ricostruzione delle carte isopieze delle due falde presenti nelle rocce mioceniche. Nei piezometri sono stati effettuati inoltre dei carotaggi termosalini, che hanno registrato il profilo dell'intera colonna idrica attraversata. Negli stessi piezometri, si è proceduto alla campionatura delle acque per le relative determinazioni chimiche.

Sulle carote estratte dai carotaggi continui, spinti sino alla profondità di 80 m dal piano campagna, sono state eseguite delle campionature a varia profondità, ponendo particolare attenzione ai campioni estratti alla base della Pietra Leccese. Questi ultimi campioni, prevalentemente argillosi con livelli ricchi di sostanze organiche e carboniosi (lignite), sono di ambiente oligoalino. Le analisi eseguite sui campioni di rocce mioceniche al di sopra dei livelli oligoalini non hanno rilevato presenza anomala di metalli pesanti, i quali sono presenti con concentrazioni elevate nei depositi oligoalini sottostanti.

Le indagini eseguite hanno evidenziato una maggiore presenza di contaminanti in falda nel livello più basso della Pietra Leccese, di fatto confinata ed isolata sia dalla falda profonda (sottostante, circolante nei calcari mesozoici) che dal livello superficiale, sostenuti da un orizzonte limoso-argilloso presente nella Pietra Leccese.

I carotaggi termo-salini e le indagini idrogeologiche han-

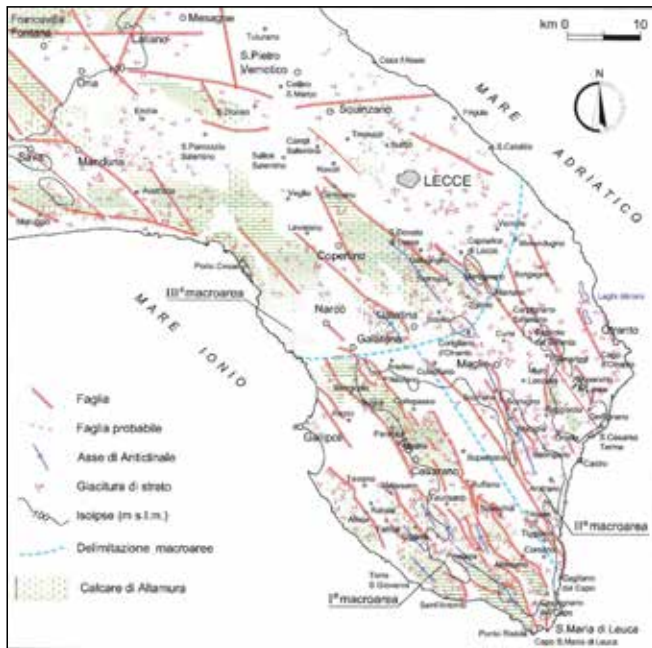


Figura 1 - Carta tettonica della Penisola Salentina (Cotecchia V., 2014).

no evidenziato un collegamento tra i due livelli idrici presenti nella Pietra Leccese, così come nei sondaggi più profondi viene evidenziata l'influenza della falda profonda (circolante nei calcari mesozoici) sulle falde mioceniche in particolare in presenza di dislocazioni e fratture interessanti gli ammassi rocciosi.

Per completare le indagini, nel pozzo in cui si sono riscontrate le maggiori anomalie termo-salinometriche sono state eseguite delle misure di velocità di filtrazione, effettuate lungo l'intera la colonna idrica, che attraversa le due falde circolanti nella Pietra Leccese.

Queste misure confermavano quanto emerso dai carotaggi termo-salini e dall'analisi delle acque, ovvero la presenza di un livello preferenziale di deflusso orizzontale, posizionato al di sotto della base della falda superficiale, con acque più ricche in sali ma anche più contaminate rispetto alle acque più dolci del livello idrico superiore.

3. INQUADRAMENTO GEOMORFO-STRUTTURALE

Nelle sue linee fondamentali, l'assetto geologico-strutturale dell'area rispecchia gli aspetti più tipici e ricorrenti nel territorio salentino, caratterizzato dalla presenza di un basamento carbonatico mesozoico lievemente deformato e solcato da numerose linee di frattura che lo hanno suddiviso in vari blocchi dislocati a quote differenti da sistemi di faglie dirette.

La struttura geologica e idrogeologica del sottosuolo risulta essere fortemente condizionata dalla tettonica anche se le coperture sedimentarie, a volte, mascherano le linee di faglia (Fig. 1); tuttavia, attraverso i sondaggi geognostici eseguiti (n.40) è stato possibile ricostruire dettagliatamente l'assetto tettonico stratigrafico dell'area (Figg. 2 e 3). La serie stratigrafica locale è costituita dalle seguenti formazioni:

- Argille e sabbie (Depositi marini terrazzati- Pleistocene medio superiore)

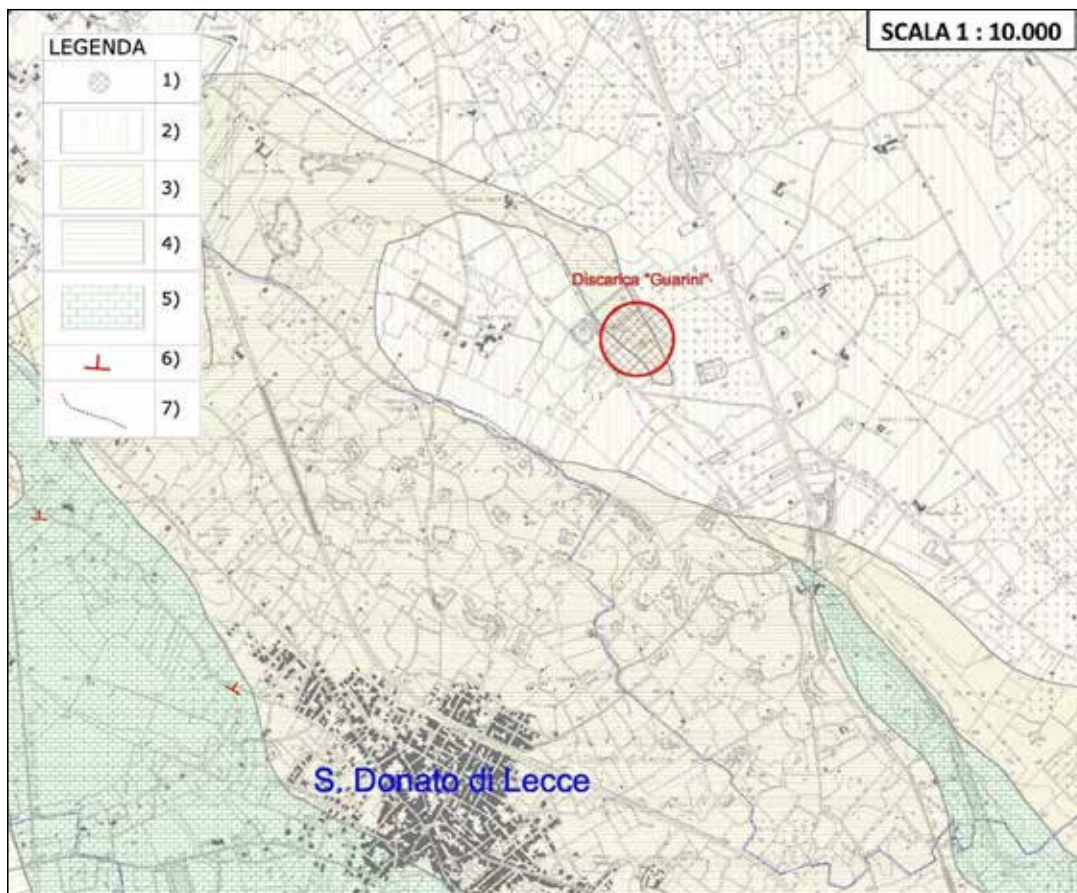


Figura 2 - Carta Geologica dell'area in esame. LEGENDA: 1) area d'intervento 2) sabbie concrezionate di colore giallastro "DEPOSITI MARINI TERRAZZATI (pleistocene medio-sup.) 3) Biocalcareni biancastre o giallastre, discretamente cementate ma tenere "CALCARENITE DI GRAVINA" (Pleistocene inf.) 4) Calcareniti marnose a grana fine, organogene, di colore paglierino "PIETRA LECCESE" (Miocene) 5) calcari miotici biancastri, a frattura sub-concoide, in strati medi e sottili, con intercalazioni di calcari dolomitici e dolomie "CALCARE DI ALTAMURA" (Cretaceo sup.) 6) direzione e immersione degli strati 7) confini comunali.

- Calcarenite di Gravina (Pliocene inferiore)
- Pietra Leccese (Miocene)
- Formazione di Galatone (Oligocene)
- Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore)

I nuovi sondaggi, spinti fino ad intercettare il substrato calcareo, hanno evidenziato dislocazioni del tetto dei calcari imputabili alla presenza di almeno due sistemi di faglie, subparallele, testimoniate anche dalla presenza di livelli brecciati. Correlando fra di loro le varie stratigrafie si è ottenuta una dettagliata rappresentazione grafica del modello geologico locale che ha evidenziato come la discarica ricade in massima parte in corrispondenza di un Horst calcareo-mesozoico, privo della consueta copertura di Terra rossa e depositi oligoalini.

La Terra rossa con caratteristiche di impermeabilità è presente con spessore di alcuni metri nelle zone ribassate per faglia e di norma sono coperte da depositi oligoalini, posti alla base della Pietra Leccese (Del Prete M. & Santagati G., 1972). Questi ultimi depositi Miocenici hanno spessori ridotti, circa 55 m, sotto la discarica mentre nelle parti ribassate per faglie raggiungono i 120 metri (Fig. 4 e Fig. 5).

4. CARATTERISTICHE CHIMICHE DEI CAMPIONI DI PIETRA LECCESE PRELEVATI IN 42 SONDAGGI DISTRIBUITI INTORNO ALLA DISCARICA E LONTANI DALLA STESSA (“PUNTO ZERO”)

Le caratteristiche chimiche dei terreni ricadenti a diverse profondità dal p.c. sono state determinate su n. 42 sondaggi, su n. 104 campioni di terreno appartenenti alla Pietra Leccese. Questi campioni sono dislocati sia nella zona anidra, al di sotto della quota della discarica, che nei terreni saturi, sedi delle falde acquifere, sino alla profondità di 80 m dal p.c.

Nel 2020 sono stati analizzati n. 16 terreni, ognuno di essi a varie

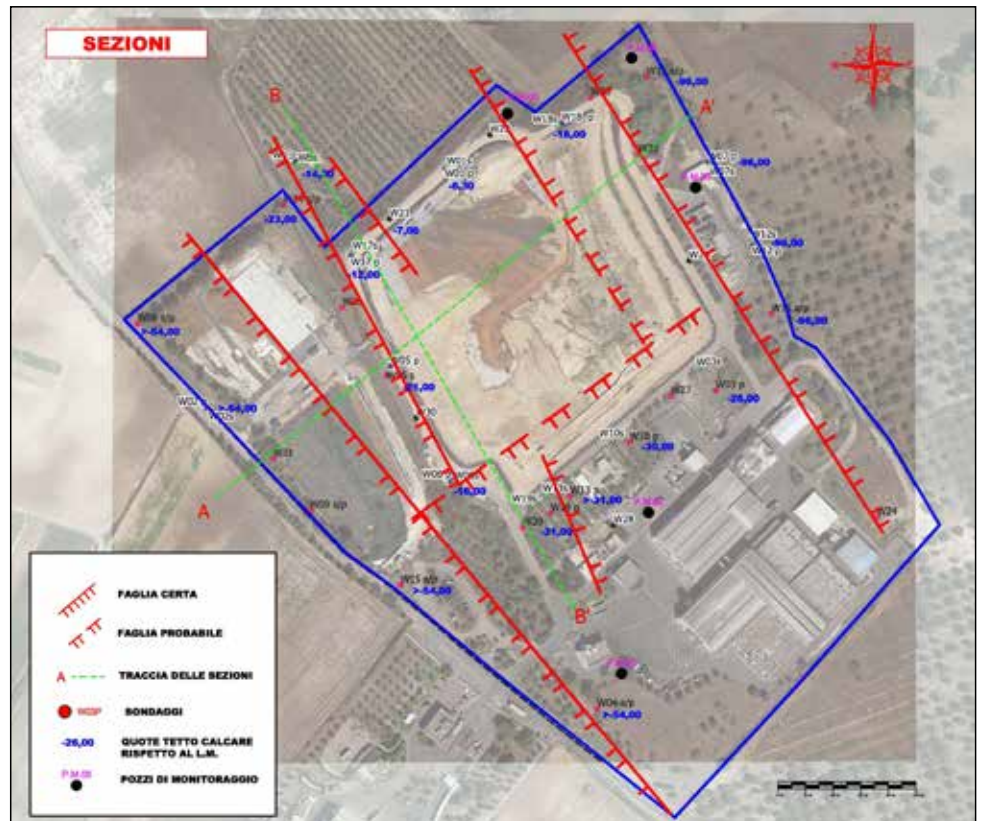


Figura 3 - Sito della discarica. Tracce delle sezioni geologiche-idrogeologiche ed ubicazione dei sondaggi.

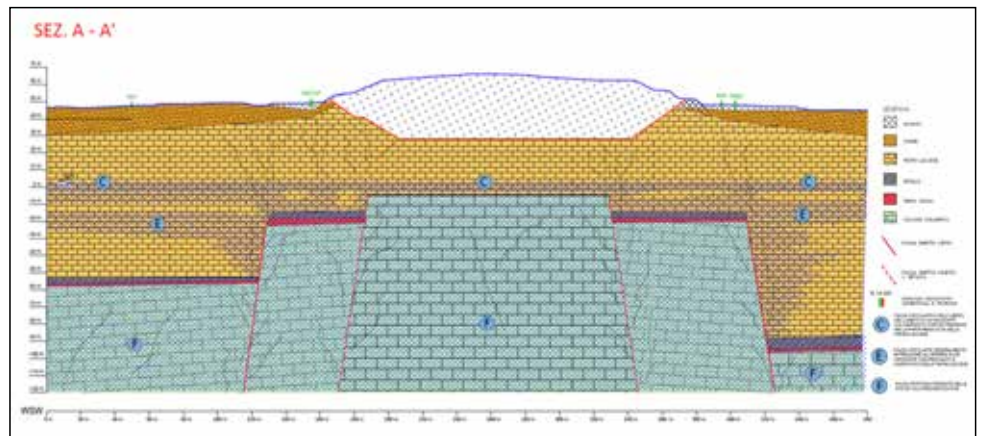


Figura 4 - Sezione Geologica ed idrogeologica dell'area Guarini.

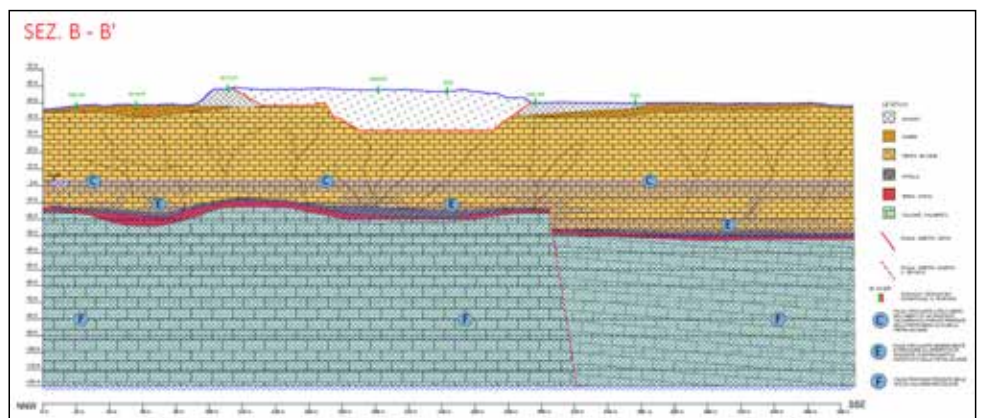


Figura 5 - Sezione Geologica ed idrogeologica dell'area Guarini.

profondità, attraverso campioni prelevati dalle carote delle perforazioni W06, W07, W18, W26, W17, W30, W21, W05, W12, W22, W19SP, WbSP, W28, W02, WbP.

Tutti i campioni analizzati (secondo la Tabella 1 dell'Allegato 5 parte IV del T.U.A. 152/06 e ss.mm.ii.) rispettano i limiti imposti dalla colonna A e B della suddetta Tabella, ad eccezione del vanadio che supera le CSC della colonna A, sia nel W06 (campione da -85 m a -86 m dal p.c.) che nel WBP (campione da -79 m a -80 m dal p.c.). Si fa presente che quest'ultimo sondaggio è distante più di 100 m dal perimetro della discarica ed è stato individuato come "punto zero", in quanto non influenzabile da eventuali contaminazioni provenienti dalla discarica.

In tutti i campioni si evidenzia comunque la presenza di alluminio, ferro, manganese e nichel, anche se in concentrazioni sempre inferiori rispetto alle CSC della colonna A.

Nel 2022 sono stati eseguiti ulteriori 20 sondaggi denominati: W04, W24, W03, W27, W10, W13, W16, W29, W23, W15, W20, W14, W31, W09, W08, W11, W25 e W05S, dai quali sono stati prelevati dei campioni di terreno, a diverse profondità, le cui analisi confermano che i valori dei metalli rispettano le CSC delle colonne A e B. Anche in questi campioni sono presenti ferro e manganese.

Nel 2024 sono state effettuate, su alcuni campioni prelevati nel 2022, ulteriori indagini analitiche, a profondità diverse da quelle precedenti, in modo da completare il quadro conoscitivo di tutta l'area. Anche in questo caso, tutti i parametri analizzati rientrano nei limiti delle CSC delle colonne A e B, ad eccezione dei sondaggi W03 e W14, nei cui campioni, prelevati rispettivamente da -73,10 m a -74 m dal p.c. e da -72 m a -73 m dal p.c., il vanadio supera le CSC relative alla colonna A.

Infine, si confermano gli alti valori di ferro e manganese in alcuni campioni, in particolare nel sondaggio W19P, nei terreni prelevati da -79 m a -80 m dal p.c., dove si registra un superamento delle CSC della colonna A in relazione ai parametri cromo e vanadio.

Al di sotto di queste profondità, vi sono i terreni appartenenti alla formazione oligoalina dell'Oligocene, caratterizzati da sedimenti ricchi in metalli pesanti (nichel, manganese, cromo, vanadio, tallio, ecc.), presenti nei terreni argillosi e calcareo-marnosi-bituminosi che segnano il passaggio dall'ambiente oligoalino alla fase trasgressiva marina miocenica con la sedimentazione della formazione della Pietra Leccese.

5. CARATTERISTICHE CHIMICHE E MINERALOGICHE DEI DEPOSITI OLIGOALINI

La genesi dei depositi oligoalini è avvenuta in ambiente anossico e riducente (acque stagnanti e putride), che hanno favorito i processi di precipitazione chimica dei metalli e l'accumulo degli stessi nei sedimenti di fondo.

Alla base della formazione miocenica della Pietra Leccese, i sondaggi hanno spesso riscontrato la presenza di sedimenti oligoalini-organogeni dell'Oligocene costituiti da argille organiche, calcari bituminosi, lignite, sottili alternanze di calcari carboniosi e presenza di terre rosse colluviali (Bossio A. *et al.* 2007; Bossio *et al.* 2009; De Giorgi C. 1916)

Questi depositi giacciono sui calcari mesozoici, dove circola la falda profonda in pressione, che in presenza di fratture e faglie si spinge verso l'alto miscelandosi sia con le acque della falda confinata presente nella Pietra Leccese, che con quella superficiale. Per conoscere l'influenza di questi depositi sulle acque di falda sono state eseguite delle analisi mineralogiche e dei test di cessione su dei campioni rappresentativi di tali sedimenti (Figg. 6, 7, 8, 9 e 10).

I risultati dei test di cessione, con notevole presenza di metalli pesanti nelle acque liscivate, hanno individuato una possibile fonte alternativa di contaminazione, naturale, dei due livelli idrici sotterranei (falda superficiale e falda confinata) che può avvenire dal sistema di circolazione idrica sotterranea attraverso la risalita, lungo le fratture/faglie, delle acque della falda profonda, più cospicua e circolante in pressione. Il carico idraulico di quest'ultima la spinge ad intersecare sia


	Litologia	Minerali presenti									
	Terre Rosse	Sodium Cobalt Phosphate (Na ₂ Co(P ₂ O ₇)), Kaolinite (Al ₂ (Si ₂ O ₅)(OH) ₄), Tridymite (Si O ₂), Nickel manganese Oxide (Ni Mn ₂ O ₄), Calcium Iron Oxide (Ca Fe ₂ O ₄), Pyrite (Fe S ₂), Pyrolusite (Mn O ₂), Aragonite (Ca (C O ₃)), Gypsum (Ca S O ₄ · 1/2 H ₂ O), Aluminum Phosphate (Al P O ₄), Sodium Calcium Silicate (Na ₂ Ca (Si O ₃) ₂)									
W18P Campione B											
METALLI (mg/kg)		Alluminio	Antimonio	Arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo totale	Rame	Ferro	Manganese
QUANTITATIVO		144	72	96	96	72	48	144	72	2452	72
TEST CESSIONE (µg/l)	24 h	22	0	246	46,67	56,67	46,67	326,67	76,68	12866	105
	72 h	178	2,16	40,23	60,02	61,01	43,33	22,67	20,3	53700	173,33
METALLI (mg/kg)		Molibdèno	Nichel	Piombo	Selenio	Tallio	Zinco	Stagno	Mercurio	Vanadio	
QUANTITATIVO		0	144	168	0	313	72	94471	0	144	
TEST CESSIONE (µg/l)	24 h	0	65,01	85	0	150	155	0	0	150	
	72 h	63,33	123,34	336,67	2,16	383,33	146,68	40,23	21,1	30,1	

Figura 6 - Analisi mineralogiche e risultati dei test di cessione del campione di argille caolinitiche rossastre colluviali (Terre Rosse) prelevato nel sondaggio W18P.

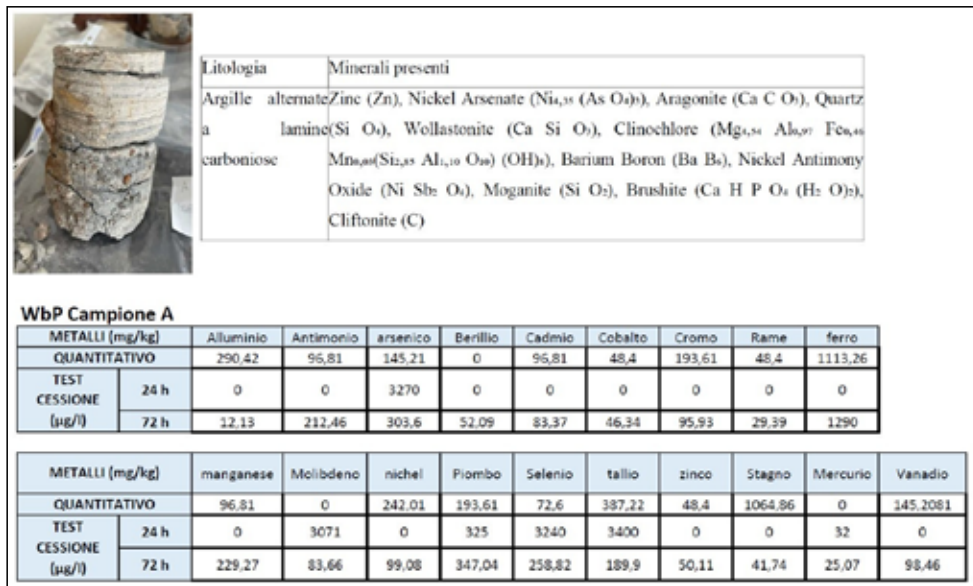


Figura 7 - Analisi mineralogiche e risultati dei test di cessione del campione di sottili alternanze di livelli argillosi e carboniosi (depositi oligoalini) prelevato nel sondaggio WbP.

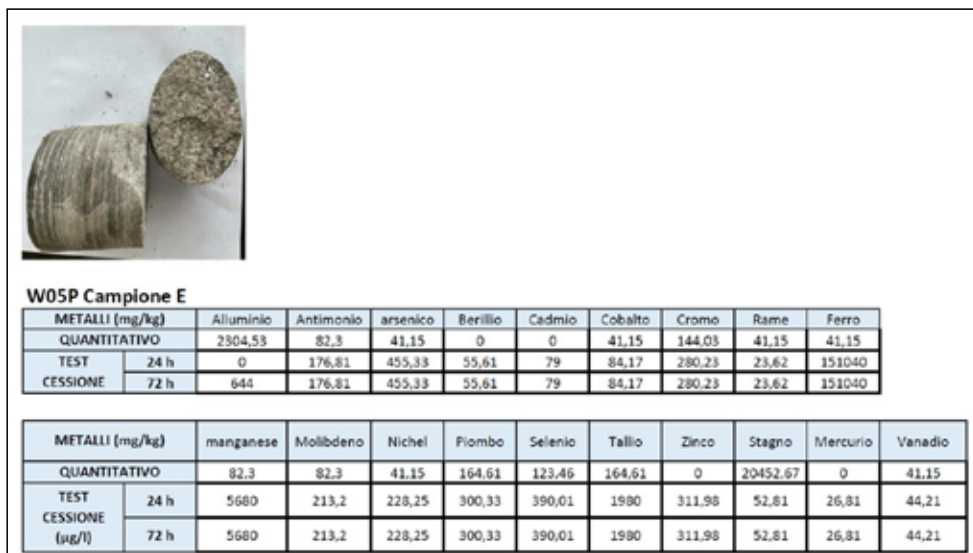


Figura 8 - Analisi mineralogiche e risultati dei test di cessione del campione di sottili alternanze di livelli argillosi e carboniosi (depositi oligoalini) prelevato nel sondaggio W05P.

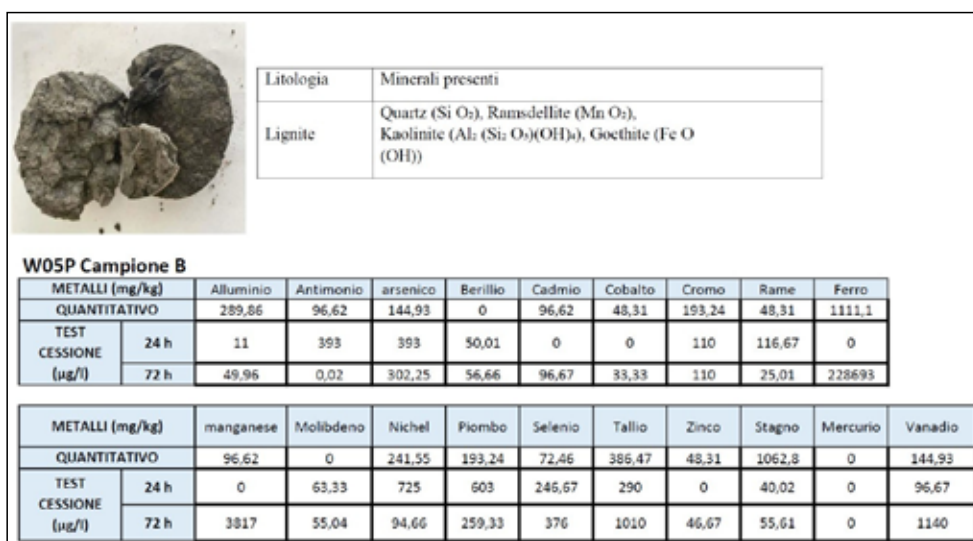



Figura 9 - Analisi mineralogiche e risultati dei test di cessione del campione di lignite prelevato nel sondaggio W05P.



Litologia	Minerali presenti
Calcarenite marnosa (parte basale della Pietra Leccese)	Calcite magnesiana (Mg _{0,1} Ca _{0,9} C O ₃), Chalcopyrite (Cu Fe S ₂), Zincite (Zn O), Cronstedtite (Fe ₂ Fe Si O ₄ (OH) ₂), Dolomite (Ca Mg (CO ₃) ₂), Kaolite (Al ₂ (Si ₂ O ₅) (OH) ₂), Cristobalite (Si O ₂), Magnesium Phosphate (Mg ₃ P ₂ O ₇)

W05P Campione F

METALLI (mg/kg)	Alluminio	Antimonio	arsenico	Berillio	Cadmio	Cobalto	Cromo totale	Rame	Ferro
QUANTITATIVO	2550,09	91,07	0	0	0	45,54	136,61	45,54	0
TEST CESSIONE (µg/l)	24 h	0	0	0	0	0	0	0	100
	72 h	214	128,4	375,15	56,49	70,09	78,72	119,09	30,56

METALLI (mg/kg)	manganese	Molibdeno	Nichel	Piombo	Selenio	Tallio	Zinco	Stagno	Mercurio	Vanadio
QUANTITATIVO	91,07	91,07	45,54	136,61	0	0	45,54	22632,1	0	45,54
TEST CESSIONE (µg/l)	24 h	0	0	480	0	32,3	286,71	48,46	50	0
	72 h	1640	88,31	328,23	500,55	294,57	1400	286,71	48,46	28,31

Figura 10 - Analisi mineralogiche e risultati dei test di cessione del campione di calcarenite marnosa prelevato nel sondaggio W05P alla base della Pietra Leccese.

la falda confinata nella Pietra Leccese che quella superficiale. Difatti, il carico idraulico della falda profonda è di 2,8 m s.l.m., che risulta analogo a quello della falda superficiale e confinata. La conferma è giunta dalle campagne di esecuzione di carotaggi termo-salini e campionamenti lungo la colonna idrica dei pozzi.

6. CIRCOLAZIONE IDRICA

La letteratura tecnica (Cotecchia V. 1977; Tadolini *et al.* 1985) individua nell'area compresa tra Castrì di Lecce e Novoli sei differenti livelli idrici circolanti sia a pelo libero che in pressione. Le indagini svolte nel sito attestano la presenza di tre livelli idrici, due circolanti nelle Pietra Leccese, la falda superficiale (circolante a pelo libero) e la falda confinata (circolante in pressione); il terzo acquifero, più cospicuo, circola in pressione (falda profonda) all'interno dei calcari mesozoici.

6.1 Falda libera

La falda libera circola nell'orizzonte calcarenitico poroso presente nella parte sommitale della Pietra Leccese, viene alimentata dalle piogge meteoriche ed ha un andamento radiale divergente in corrispondenza della discarica, con area di alimentazione localizzata a nord dell'area in esame. L'andamento delle isopieze evidenzia tre zone con anomalie (Fig. 11).

La prima, con minor carico idraulico, si trova in corrispondenza del pozzo W19 e potrebbe essere imputabile al collegamento diretto verticale tra le tre falde acquifere presenti a causa della dislocazione tettonica che favorisce la risalita delle acque più profonde ("falda profonda"), con maggiore carico idraulico, verso i livelli superiori.

La seconda e la terza anomalia ricadono nell'intorno dei piezometri PZ01 E PZ02, posti in prossimità dell'asse di un acquedotto. Qui si riscontra un innalzamento della falda di circa 130 cm in più rispetto al livello generale. La causa va imputata ad infiltrazioni concentrate e puntuali di acque piovane superficiali ed eventuali perdite acquedottistiche.

6.2 Falda confinata

La falda confinata circola all'interno di un orizzonte concrezionato e carsificato della Pietra Leccese posto alcune decine di metri al di sotto del livello marino. Il tetto del livello acquifero permeabile in cui circola questa falda si rinviene di solito a circa 20-30 metri sotto il livello del mare; tuttavia, le particolari condizioni strutturali del sito, dove è presente un alto del basamento calcareo, in corrispondenza della stretta dorsale allungata in direzione NW-SE (Fig.2), interrompono la continuità dell'orizzonte acquifero miocenico ponendolo a contatto con le rocce del basamento.

Il contatto laterale lungo le zone di faglia, molto permeabili, mette in comunicazione diretta la falda libera, la falda confinata in pressione e la falda profonda (circolante nei calcari mesozoici), determinando localmente un'unica circolazione idrica.

Tale situazione viene confermata dall'andamento della isopieze (Fig. 12), che mostrano le stesse anomalie della falda superficiale e dalle modestissime differenze di carico delle altezze piezometriche riscontrate per le due falde; inoltre, i carichi rilevati sono perfettamente confrontabili con quelli noti per la falda profonda tipici delle zone interne del Salento a ulteriore conferma dell'esistenza di un generale fattore di comunicabilità fra tutti gli acquiferi.

7. IL CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA

Come noto, il chimismo delle acque sotterranee influenza i processi di dissoluzione delle rocce carbonatiche e ne è a sua volta influenzato (Cotecchia V., 1977 e Cotecchia V., 2014). Il miscelamento di acque dolci di falda con acqua marina, se contenuta entro certi limiti, determina una maggiore aggressività dell'acqua, pur restando costante la pressione parziale della CO₂. Nel centro della Penisola Salentina, in prossimità delle aree di ricarica della falda non si rilevano valori di contaminazione salina in presenza di un residuo fisso di 300÷400 mg/l, che corrispondono ad un'acqua di falda "gio-

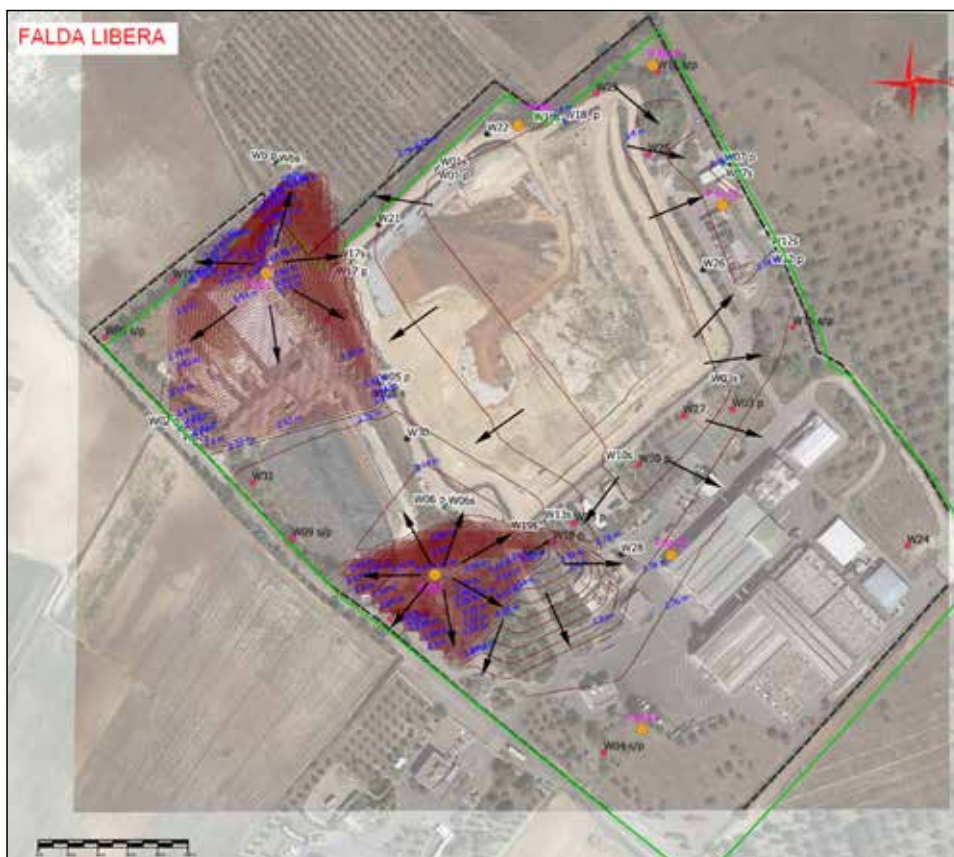


Figura 11 - Carta delle isopieze della falda libera. Rilievi di novembre 2022 e febbraio 2023.



Figura 12 - Rappresentazione del deflusso della falda "confinata" nella Pietra Leccese (data novembre 2022 - febbraio 2023).

vane", non influenzata dalle acque di intrusione marina che invadono l'intero territorio salentino. Ma dagli studi scientifici (Fig. 13) emerge che i valori di salinità dell'ordine di 500÷600 mg/l sono sicuramente da associarsi a processi di salinizzazione ad opera dell'acqua di mare.

Pertanto, è opportuno analizzare il chimismo delle acque di falda attraverso l'individuazione delle facies idrochimiche e l'interpretazione dei rapporti caratteristici tra talune specie ioniche.

La composizione chimica dell'acqua di mare è in generale caratterizzata dalla sequenza: $Cl^- > SO_4^{2-} > CO_3^{2-} \approx Na^+ > Mg^{2+} > Ca^{2+} > K^+$ Quando non sono contaminate dalle acque di mare, le acque di falda presentano invece composizioni chimiche variabili legate al particolare contesto idrogeologico.

In generale, nel contesto idrogeologico pugliese le acque di falda sono caratterizzate dalla dominanza degli ioni CO_3^{2-} , Ca^{2+} e Mg^{2+} , con $Mg^{2+} < Ca^{2+}$, a differenza dell'acqua di mare in cui $Mg^{2+} > Ca^{2+}$.

Il processo di miscelamento dell'acqua dolce di falda, quasi sempre di facies bicarbonato-calcaica, con acqua marina di facies cloruro-sodica, viene studiato attraverso il diagramma di Schoeller, ovvero un diagramma semilogaritmico che riporta sulle ordinate le concentrazioni, in milliequivalenti per litro, degli ioni principali. La Figura 13 indica la composizione dell'acqua di mare, delle acque di falda miscelate in diverse percentuali con l'acqua di mare e le acque di falda che non risentono dell'infiltrazione marina.

Come si può osservare, i componenti che compaiono nella letteratura scientifica sono: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- . Tutte le rappresentazioni delle facies chimiche delle acque di falda del Salento vengono rappresentate nei testi scientifici con il diagramma di Schoeller.

Inoltre vengono rappresentati i diagrammi di Schoeller relativi alle acque dei pozzi attestati nella falda superficiale (Fig. 14) e in quella

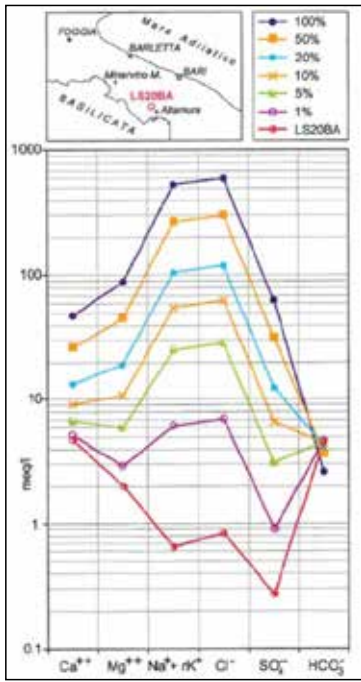


Figura 13 - Diagramma di Schoeller che indica la composizione chimica dell'acqua del Mar Adriatico, dell'acqua emunta da pozzo LS20BA in agro di Altamura e di varie miscele ottenute dal mescolamento delle due (la percentuale indica la quantità di acqua di mare presente nella miscela). (Da "Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa" di Cotecchia V. - Memorie descrittive della carta geologica d'Italia - Volume XCII - parte prima, 2014).

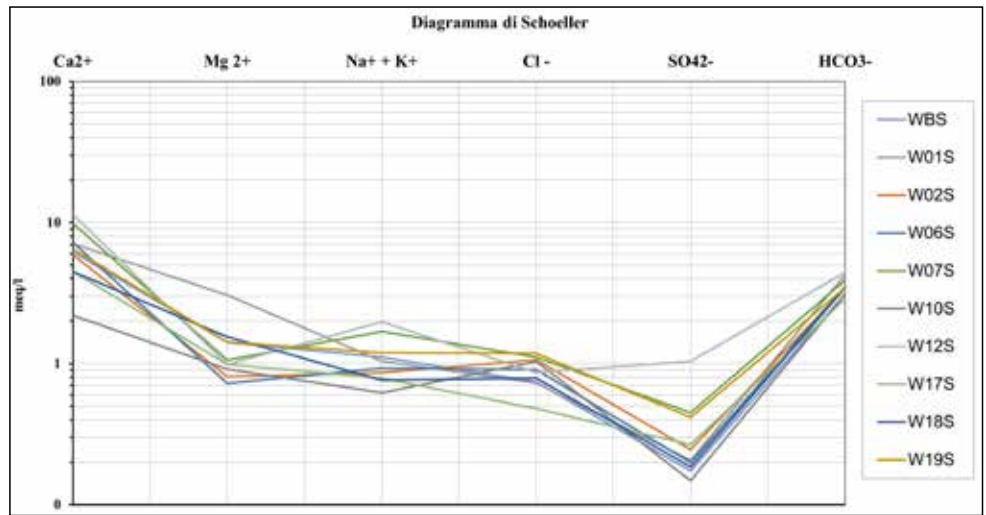


Figura 14 - Diagrammi di Schoeller relativi alla falda libera.

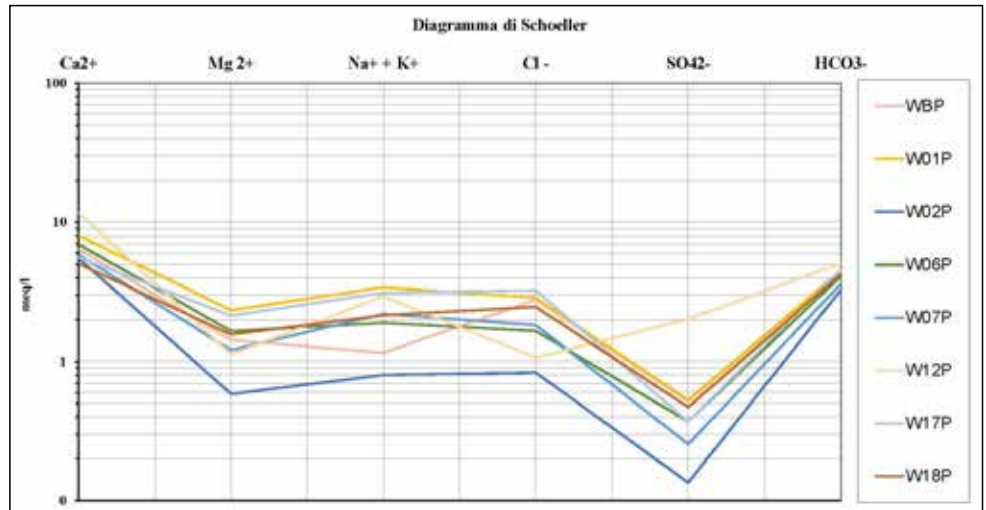


Figura 15 - Diagrammi di Schoeller relativi alla falda confinata.

confinata (Fig. 15), che dimostrano un andamento complessivamente simile dei grafici.

Similitudine che è ben evidenziata nei diagrammi di Schoeller relativi alle facies chimiche dei pozzi attestati nella falda confinata (pozzi W13P e W19P) e del pozzo attestato nella falda superficiale (W13S), che mostrano un andamento simile (Fig. 16).

Allo stesso modo, vi è un andamento analogo per i vari livelli idrici campionati a diverse profondità nel pozzo W13P2 (Fig. 17).

Ciò porta alla conclusione che si tratta di acque in comunicazione tra loro, fatto confermato dai carotaggi termo-salini eseguiti nel pozzo W13P2 in diversi periodi (dal 2022 al 2024).

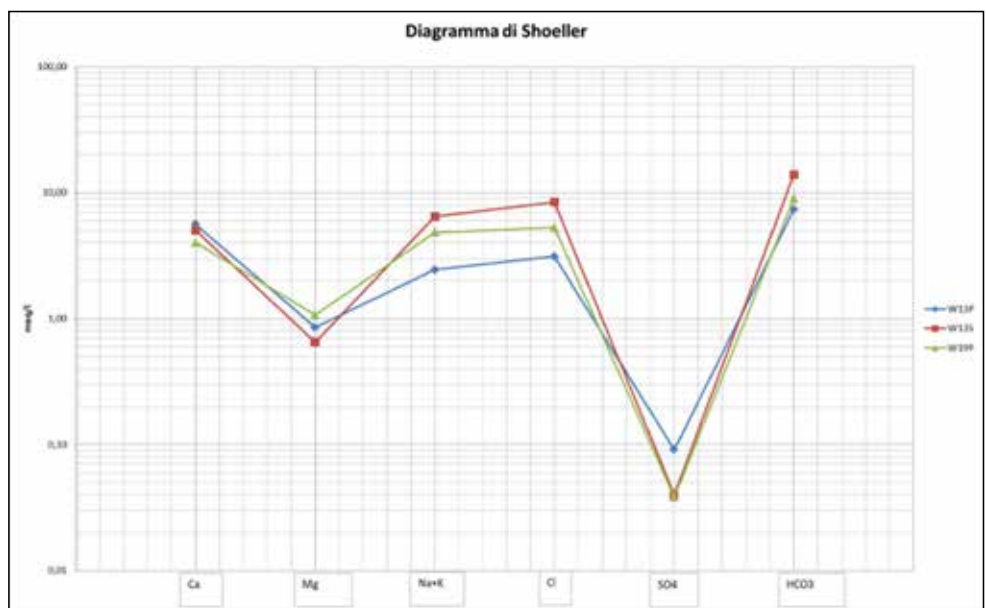


Figura 16 - Diagramma di Schoeller, piezometri W13P, W13S, W19P.

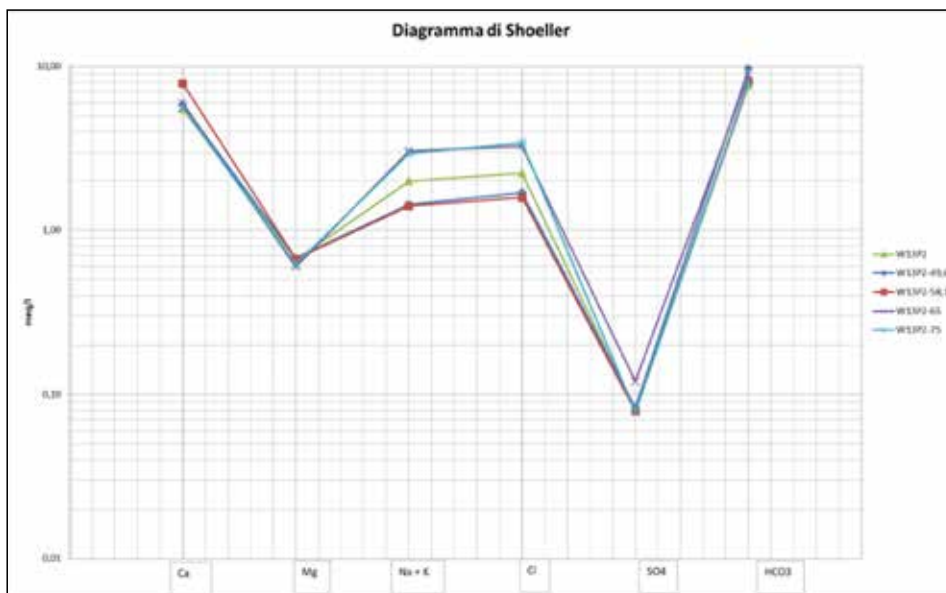


Figura 17 - Diagramma di Schoeller, piezometro W13P2.

Le concentrazioni saline sono per la maggior parte superiori nella falda confinata, a causa di un contatto più diretto con le acque della falda profonda, come testimoniano l'elevato tenore di bicarbonati, cloruri, sodio e potassio.

Sulle acque, inoltre, è stata riscontrata la presenza di metalli pesanti, ammoniaca e tallio, marker tipici di contaminazione. Confrontando le determinazioni chimiche sui sondaggi profondi e superficiali, si riscontra la contaminazione sia nelle acque libere che in quelle confinate che sono a contatto con i litotipi oligocenici. Le acque confinate, quando isolate da tale contatto, risultano scvere da inquinamento (W02P, W03P, W04P, W06P, W07P, W08P, W09P, W10P, W11P, W14P, W15P, W16P, W17P, W18P, WBP). Di contro, laddove tale isolamento non è garantito, le acque risultano ricche di ioni metallici (W12P, W13P e W19P).

Le acque superficiali risultano contaminate quando la perforazione interseca la formazione oligoalina (W05S) oppure si trovano in prossimità delle formazioni oligoaline (W01S) o quando, attraverso le fratture, le acque contami-

nate della falda confinata raggiungono il livello idrico sovrastante (W12S, W13S, W19S).

L'analisi dei grafici di Schoeller, caratteristici delle acque delle due falde contenute nella Pietra Leccese, riferiti alle campagne di analisi del novembre 2022, riscontrano che il rapporto chimico più frequente nelle acque della falda superficiale è $Ca^{++} > Na^{+}+K^{+} > Mg^{++} // HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-}$, che ritroviamo in n.9 piezometri su 18, mentre $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+}+K^{+} // HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-}$ è caratteristico di n. 7 piezometri.

Nelle acque dei piezometri profondi (falda confinata) il rapporto caratteristico più frequente è $Ca^{++} \gg Na^{+}+K^{+} > Mg^{++} // HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-}$, che si rinviene in 14 piezometri su 20. Questo rapporto è analogo a quello rinvenuto nei 9 piezometri attestati nella falda superficiale. Emerge quindi che mediamente le acque del livello della falda confinata della Pietra Leccese hanno prevalentemente il rapporto caratteristico $Ca^{++} \gg Na^{+}+K^{+} > Mg^{++} // HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-}$, che è analogo alla maggior parte di quanto rinvenuto in 9 pozzi

	W01P	W01S		W04P	W04S		W05P	W05S
	nov-22	nov-22		nov-22	nov-22		nov-22	nov-22
RF a 105* (g/l)	0,661	0,653		0,531	0,459		0,684	0,659
Ammonio (mg/l)	< 0,05	<0,05		< 0,05	< 0,05		< 0,05	< 0,05
As (µg/l)	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1
Fe (µg/l)	< 5,0	470,0		< 5,0	< 5,0		< 5,0	< 5,0
Mn (µg/l)	52,0	254,0		< 0,5	< 0,5		57,0	584,0
Ni (µg/l)	< 0,5	29,0		< 0,5	< 0,5		< 0,5	24,0

	W12P	W12S		W13P	W13S		W19P	W19S
	nov-22	nov-22		nov-22	nov-22		nov-22	nov-22
RF a 105* (g/l)	0,934	0,769		0,779	0,518		0,881	0,752
Ammonio (mg/l)	4,31	0,18		18,89	2,15		3,17	2,78
As (µg/l)	< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1		< 0,1	< 0,1
Fe (µg/l)	< 5,0	< 5,0		180,0	< 5,0		883,0	< 5,0
Mn (µg/l)	256,0	93,0		483,0	< 0,5		618,0	< 0,5
Ni (µg/l)	26,0	18,0		67,0	< 0,5		43,0	< 0,5

Figura 18 - Tabelle dei valori: RF A 105°C, ione ammonio, arsenico, manganese, nichel, ferro. Analisi eseguite sui campioni del novembre 2022.

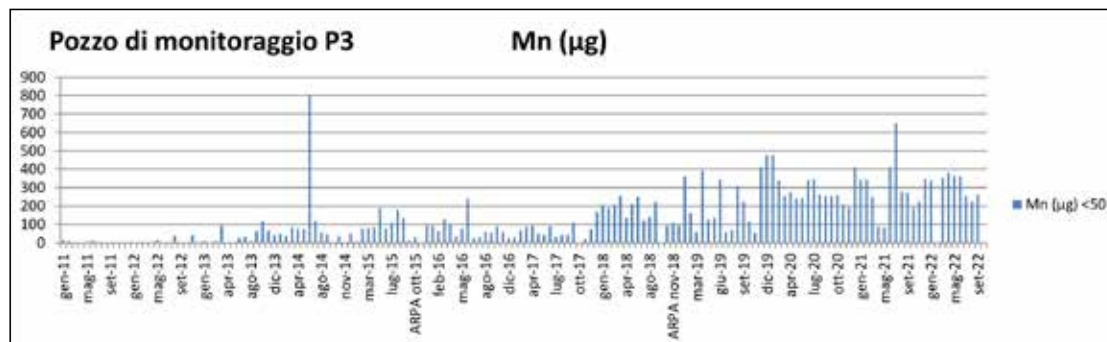
attestati nella falda superficiale. Ciò conferma che tra le due falde esiste un collegamento diretto.

7.1. Inquinamento chimico da metalli pesanti

La discarica è monitorata da 5 pozzi, di cui due attestati nella falda superficiale (P1 e P3) e 3 in quella confinata (P2, P4, P5). Prima del 2011 in nessuno dei pozzi si è mai registrata alcuna presenza di metalli pesanti in concentrazioni prossime o superiori alla CSC mentre dopo il 2011, a di-

scarica esaurita e coperta con capping impermeabile, sono comparse nelle acque dei pozzi P3 e P5 contaminazioni di metalli insieme allo ione ammonio.

I pozzi attestati nella falda confinata (P2 e P4) sono praticamente privi di contaminazioni di metalli pesanti (ad eccezione di modeste concentrazioni di As nel P2), mentre nelle acque dei pozzi P3 (superficiale) e P5 (falda confinata) le concentrazioni di metalli pesanti risultano in continua crescita negli ultimi anni (Figg. 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26).



Pozzo di monitoraggio P3

Figura 19 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di manganese nel pozzo P3.

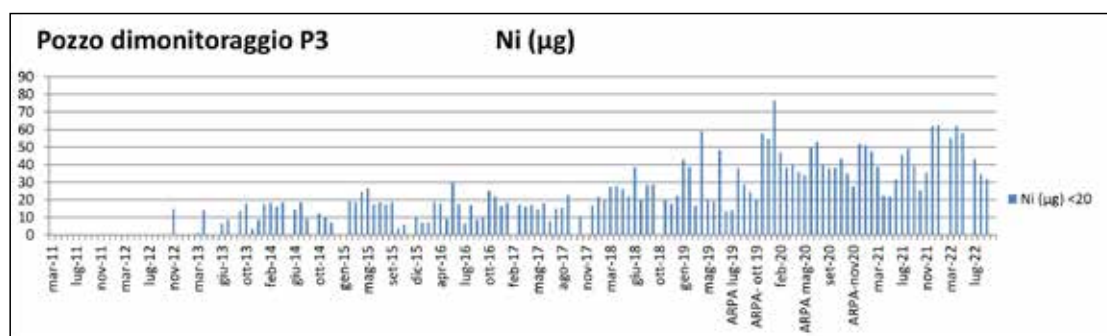


Figura 20 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di nichel nel pozzo P3.

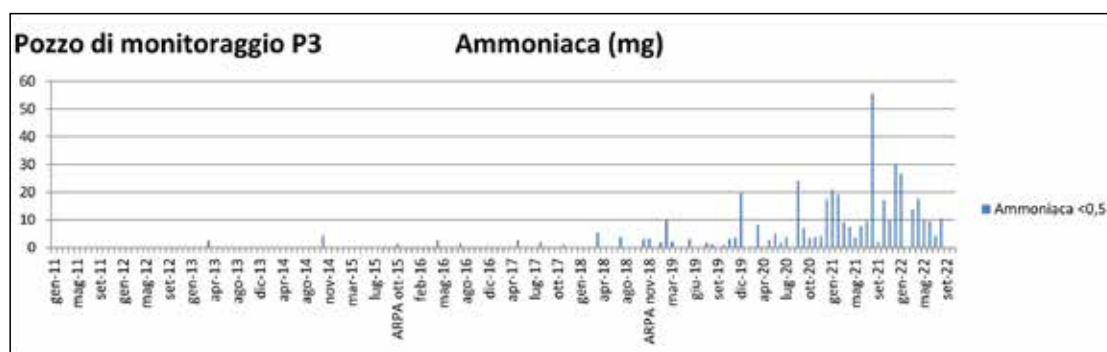


Figura 21 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di ammoniaca nel pozzo P3.

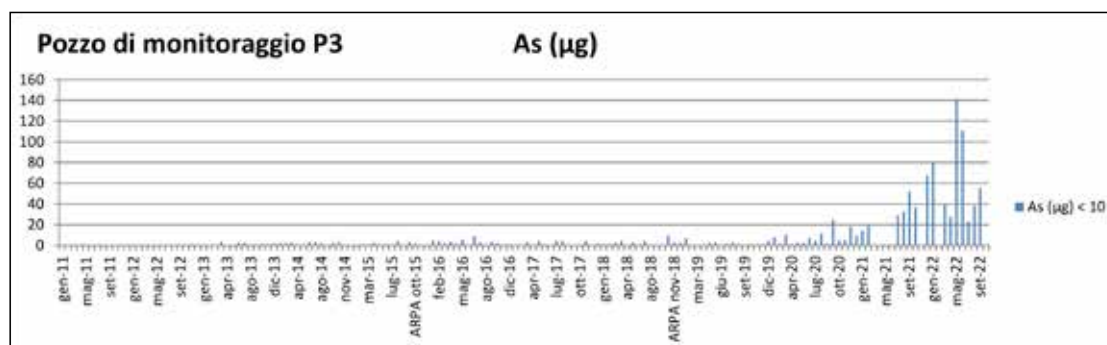


Figura 22 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di arsenico nel pozzo P3.

L'anomalo incremento, negli ultimi anni, delle concentrazioni di inquinanti (nichel, manganese, tallio, ferro, arsenico) a distanza di oltre un decennio dall'isolamento della discarica e con un quantitativo di percolato in discarica ormai esaurito (Fig. 27), ha suggerito di eseguire un confronto tra le analisi sui campioni delle acque di falda contaminate e quelle del percolato.

Tale confronto evidenzia che in falda è presente il tallio, assente nel percolato, e che il manganese è quasi completa-

mente assente nel percolato mentre mostra concentrazioni elevatissime nelle acque di falda.

Nel sottosuolo della discarica e delle aree circostanti risulta accertata la presenza di una fonte naturale di potenziale contaminazione imputabile alle litofacies oligoaline particolarmente ricche di metalli pesanti (rilasciabili per lisciviazione).

Per comprendere l'estensione del fenomeno di contaminazione delle acque di falda e ricavare i parametri idrogeolo-

Pozzo di monitoraggio P5

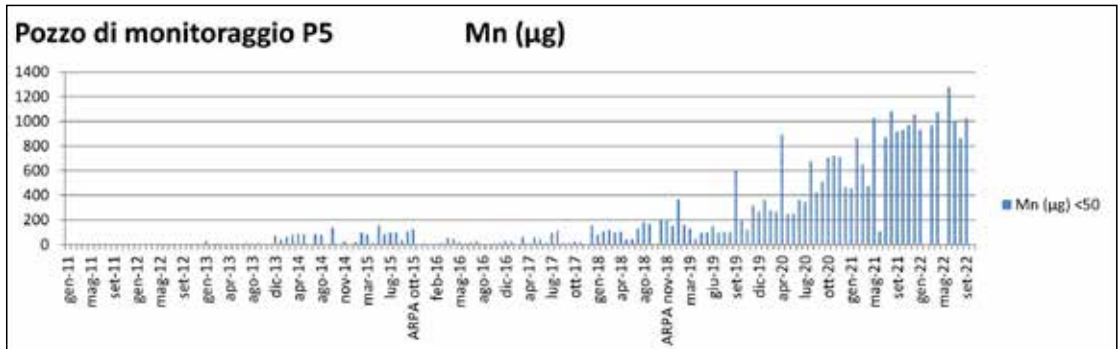


Figura 23 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di manganese nel pozzo P5.

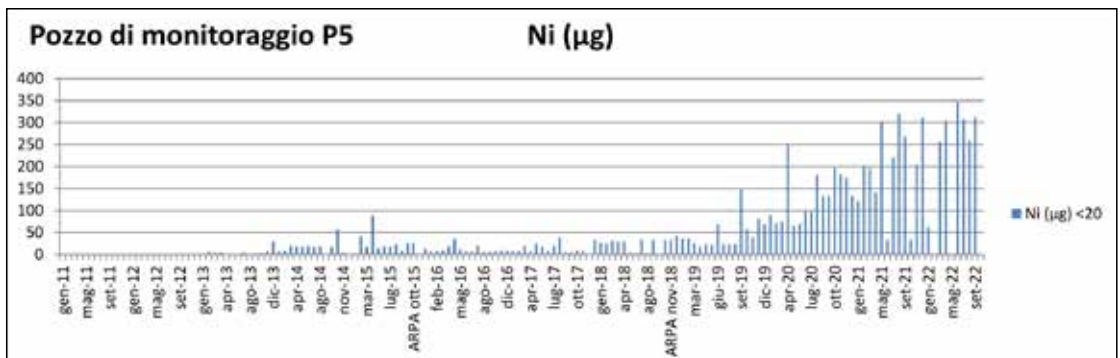


Figura 24 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di nichel nel pozzo P5.

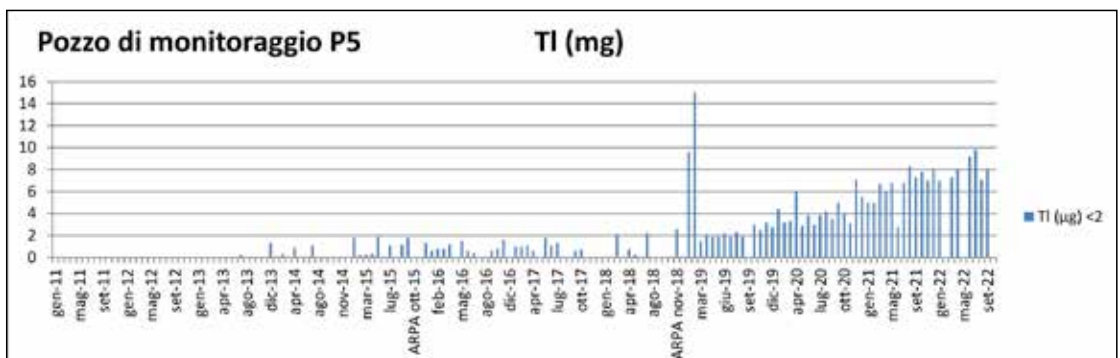


Figura 25 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di tallio nel pozzo P5.

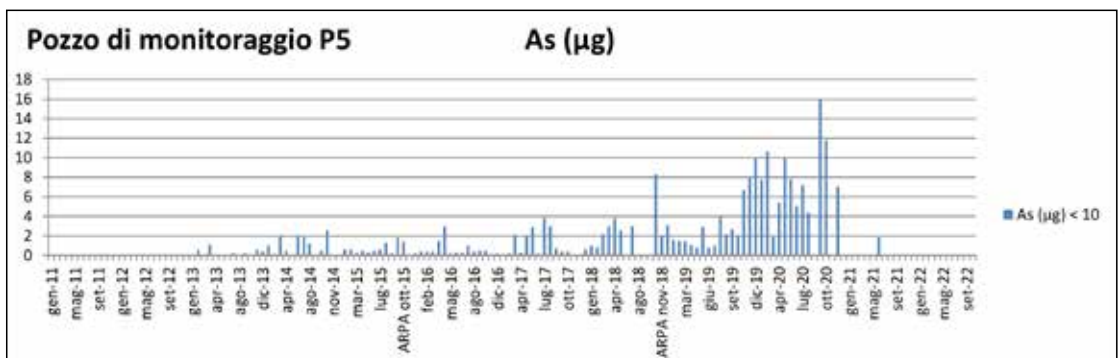


Figura 26 - Andamento nel tempo delle concentrazioni di arsenico nel pozzo P5.

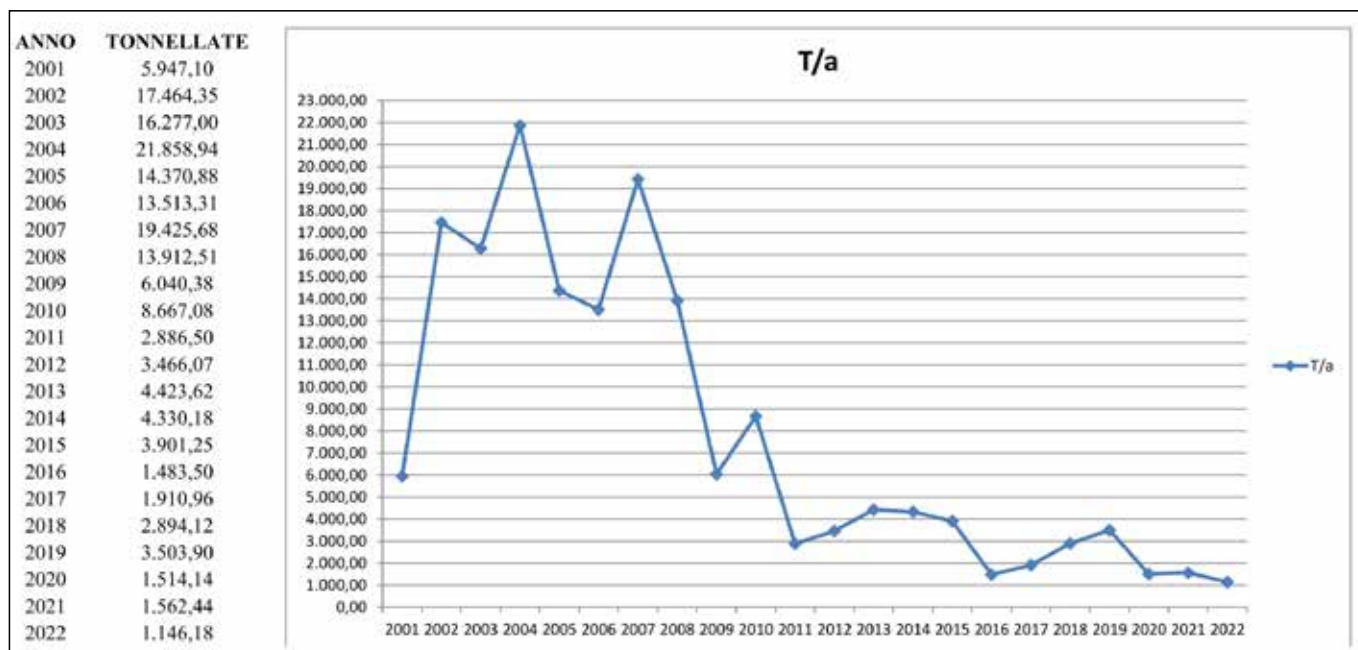


Figura 27 - Riepilogo degli smaltimenti annuali di percolato dall'inizio dell'attività di smaltimento sino al 2022.

gici dell'acquifero, sono state eseguite delle prove di portata su alcuni pozzi attestati nella falda confinata profonda, circolante nella Pietra Leccese, e sui pozzi contigui attestati nei calcari. Tutti i pozzi sono sul lato sud della discarica, equidistanti dalla stessa (Fig. 28).

Le analisi eseguite sulle acque campionate durante la prova di portata nei pozzi attestati nei calcari mesozoici (W03P-W10P, Fig. 28) (isolati nel tratto sommitale dal contatto con la formazione oligoalina - depositi organogeni, calcareo-bi-

tuminosi, argillosi e lignitiferi), non hanno rilevato alcuna contaminazione di metalli. Viceversa, le analisi delle acque dei pozzi appartenenti alla falda confinata (W19P e W13P), circolando a contatto, per fratturazione e carsismo, con i depositi oligoalini, rilevano la presenza di nichel, manganese, ferro e ammonio.

La situazione idrogeologica riscontrata in corrispondenza dei pozzi profondi W19P e W13P2 viene raffigurata nello stralcio della sezione geologica, nella quale vengono raffigu-

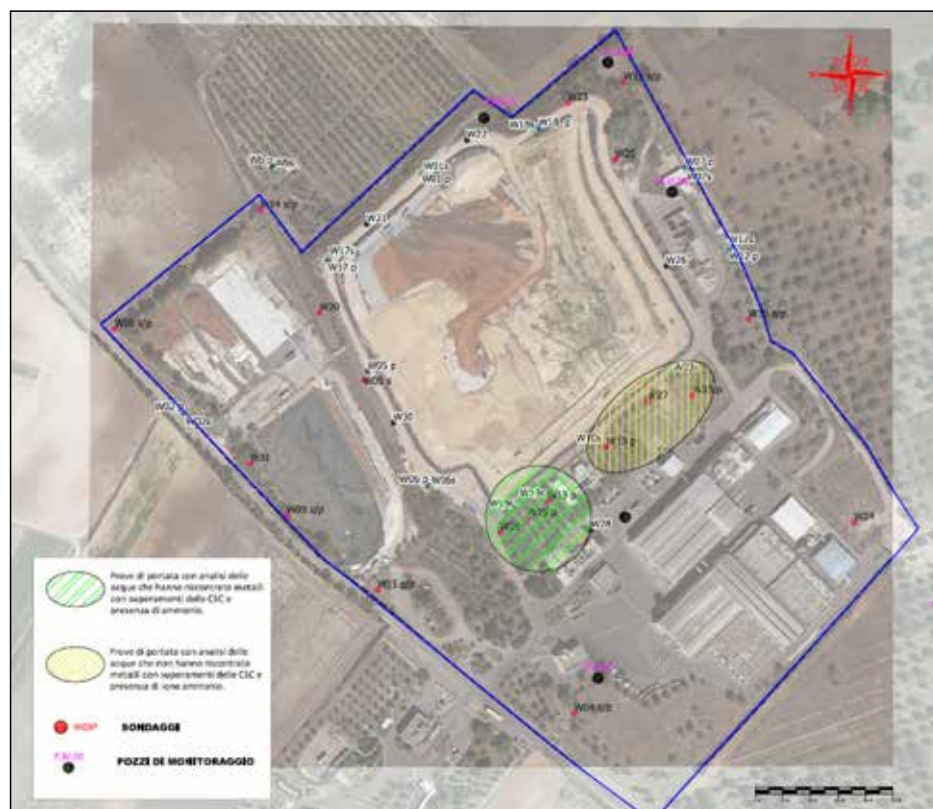


Figura 28 - Localizzazione delle aree in cui, durante le prove di portata, si è avuto un superamento della CSC.

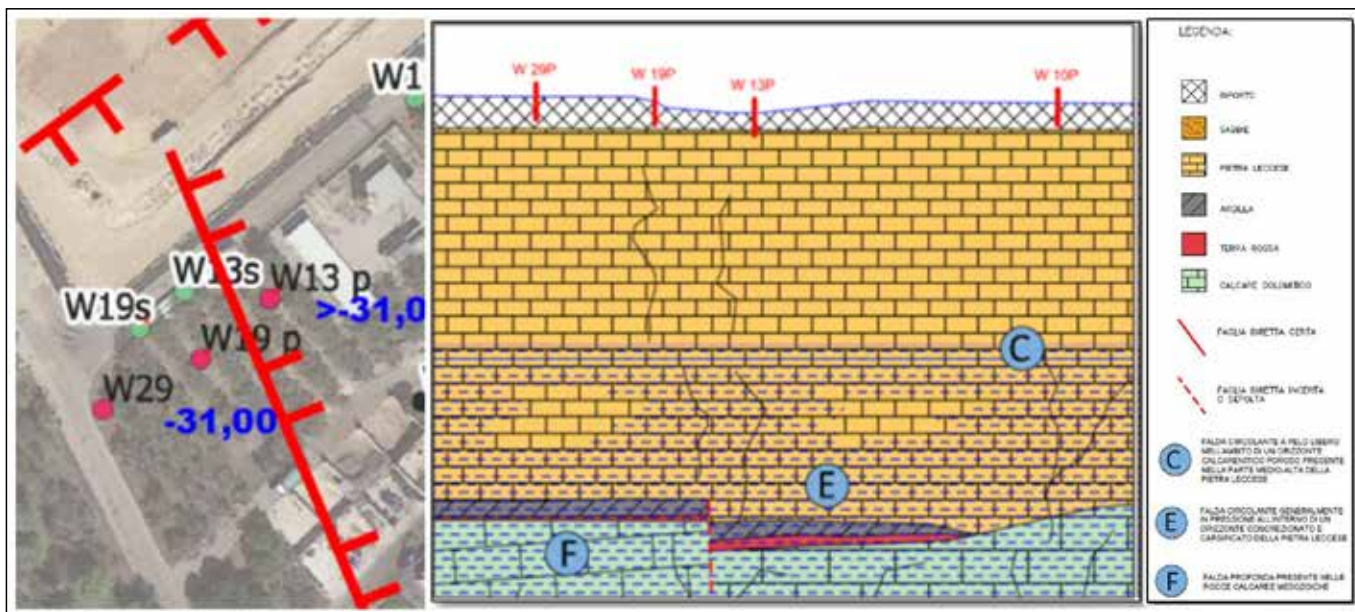


Figura 29 - Ubicazione pozzi W13P e W19P con stralcio della sezione dalla quale si evidenzia la posizione della faglia che mette in comunicazione i due livelli acquiferi.

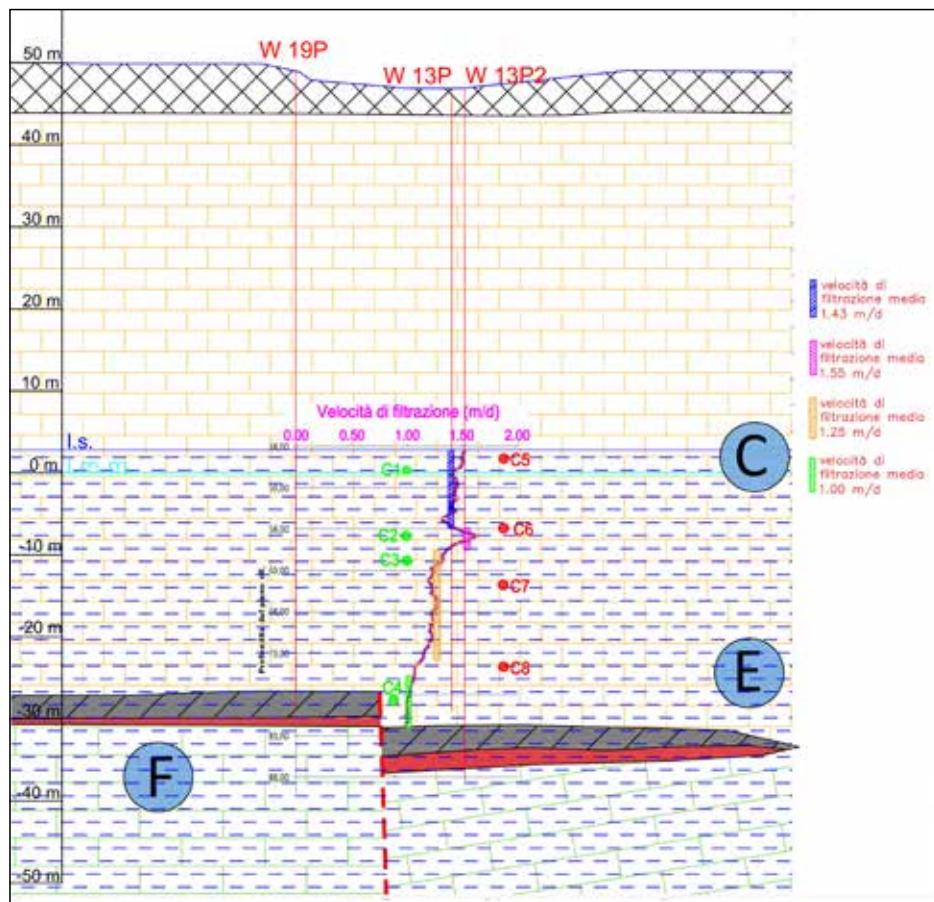


Figura 30 - Schema idrogeologico relativo all'area compresa tra il pozzo W19P e il pozzo W13P2.

rate le tre falde idriche presenti: superficiale (C), confinata (E) e profonda (F) (Fig. 30).

Inoltre, viene evidenziata la faglia che interessa il basamento calcareo e il pacchetto di sedimenti oligoalini che lo ricopre. In Figura 30 è riportata anche la rappresentazione grafica delle misure di velocità di filtrazione.

8. CAROTAGGI TERMO-SALINI E MISURE DI VELOCITÀ DI FILTRAZIONE

La prospezione più rappresentativa (anno 2023) è stata riscontrata nel piezometro W13P2 (Fig. 31) dove si individuano in modo chiaro tre differenti situazioni del chimismo delle acque:

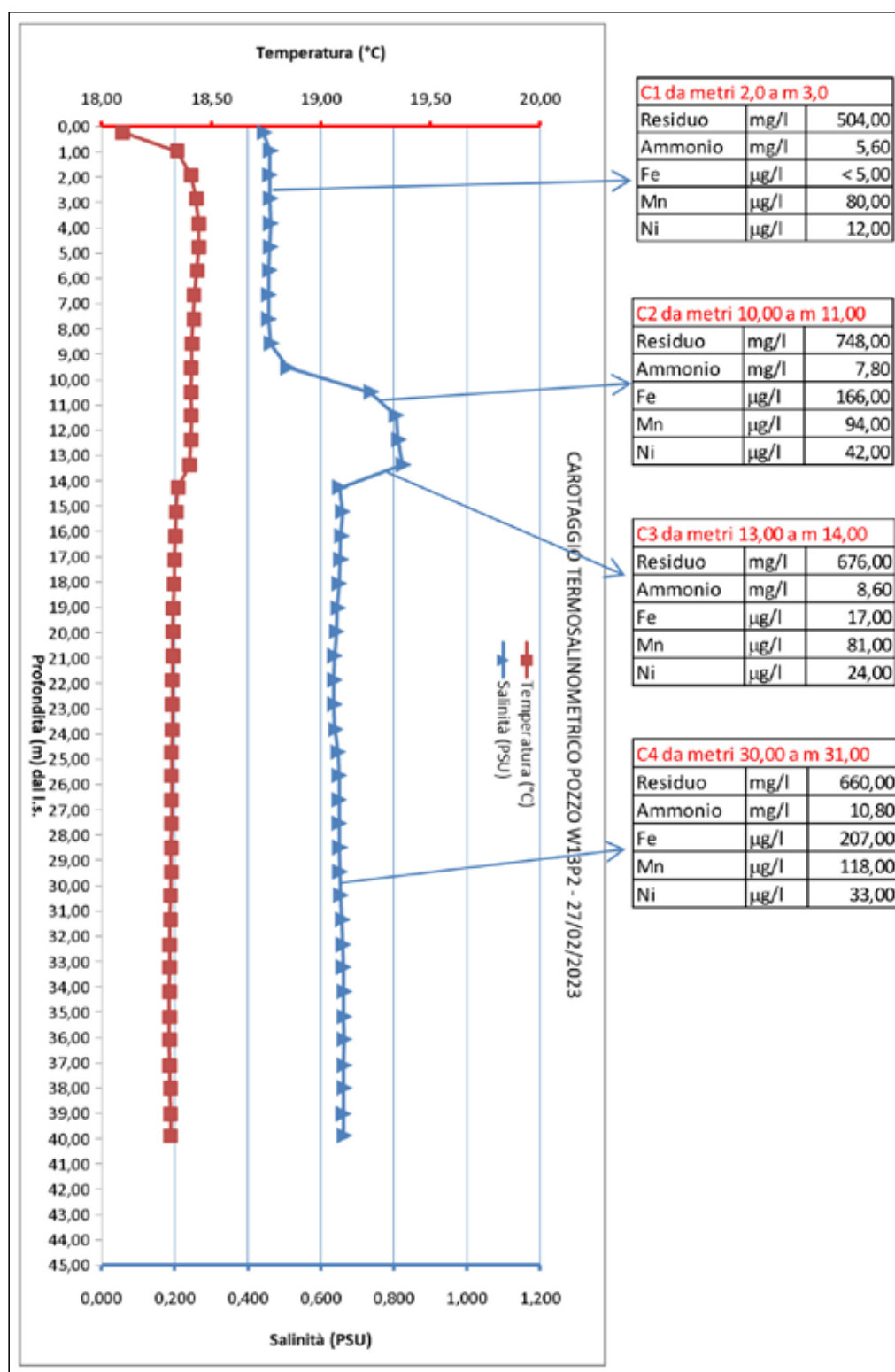


Figura 31 - Carotaggi termo-salini eseguiti nel 2023 nel W13P2, con indicazione delle quote di campionamento e dei risultati delle analisi sui metalli pesanti e sullo ione ammonio.

Un primo tratto, avente uno spessore di circa 9 m a partire dal livello statico, riportante una temperatura di circa 18,40°C ed una salinità (PSU) di circa 0,4 g/l;

Un secondo tratto, compreso tra la profondità di -9 m dal l.s. a -14m dal l.s., caratterizzato da una temperatura leggermente decrescente ma con una salinità di 0,8 g/l;

Un ultimo tratto, tra -14 m dal l.s. e -40 m dal l.s. dove la salinità scende e si mantiene costante (0,65 g/l) e la temperatura

cala leggermente a 18,20°C.

In corrispondenza di tali tratti sono stati prelevati n. 4 campioni delle acque di falda per analizzare il residuo fisso a 110°C, lo ione ammonio, Fe, Mn e Ni.

Le maggiori concentrazioni di metalli sono state riscontrate nei campioni prelevati a partire dalla profondità di -10 m dal livello statico, mentre nel campione più superficiale i valori sono sensibilmente più bassi e l'acqua è più dolce.

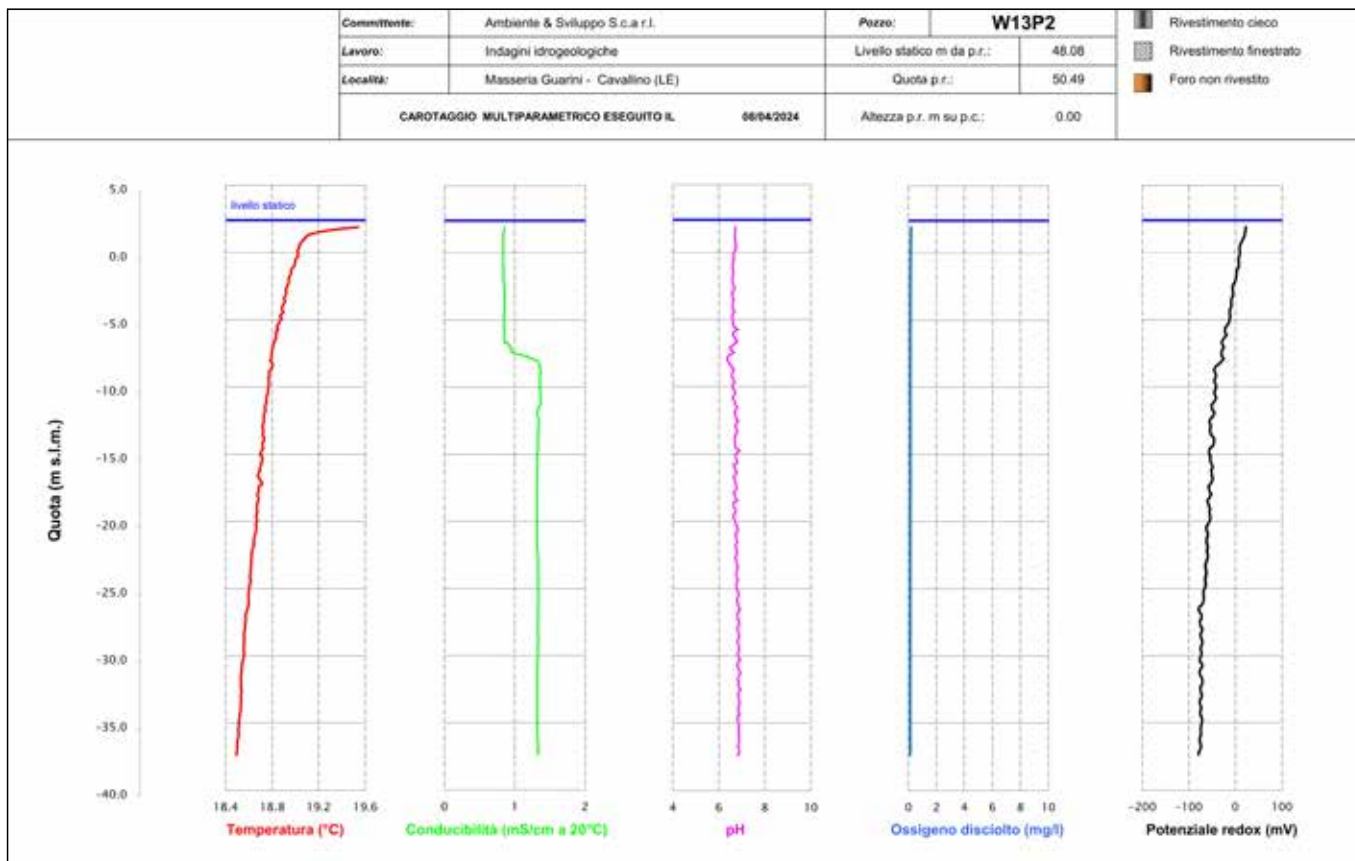
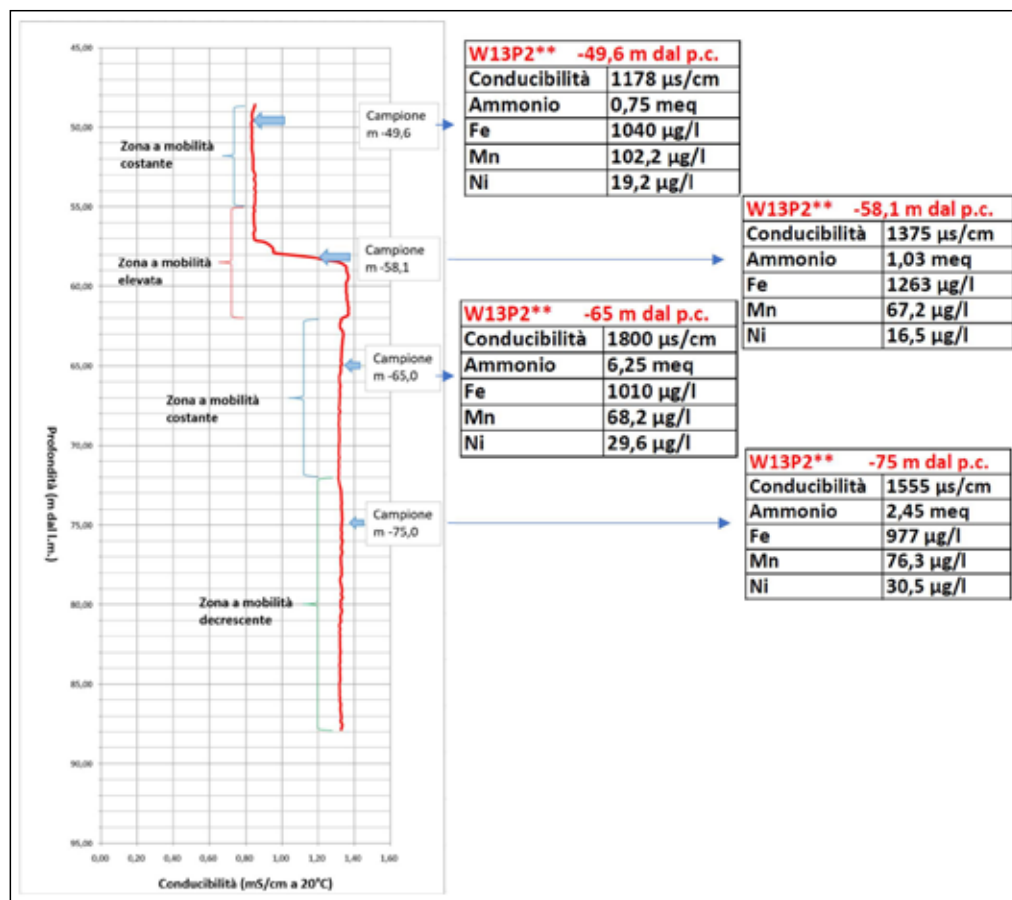


Figura 32 - Carotaggio multiparametri W13P2.



Nell'aprile 2024 si è eseguito un ulteriore carotaggio multiparametri nel pozzo W13P2 (Fig. 32) che ha confermato il gradino di incremento di salinità, già registrato nel 2023, presente a circa -9 m dal livello statico.

Si è proceduto dunque ad un ulteriore campionamento delle acque a diverse profondità, i cui risultati sono riportati in Figura 33, che confermano una maggiore presenza di contaminanti nei livelli idrici più profondi e la presenza di acque più dolci in superficie.

La conferma della presenza di un livello idrico preferenziale di deflusso sotterraneo, messo in evidenza dai carotaggi termo-salini, è arrivata dalle

Figura 33 - Carotaggio salino eseguito nel piezometro W13P2 nel 2024, con indicazione delle quote di prelievo dei campioni d'acqua e dei risultati relativi ai metalli pesanti e allo ione ammonio.

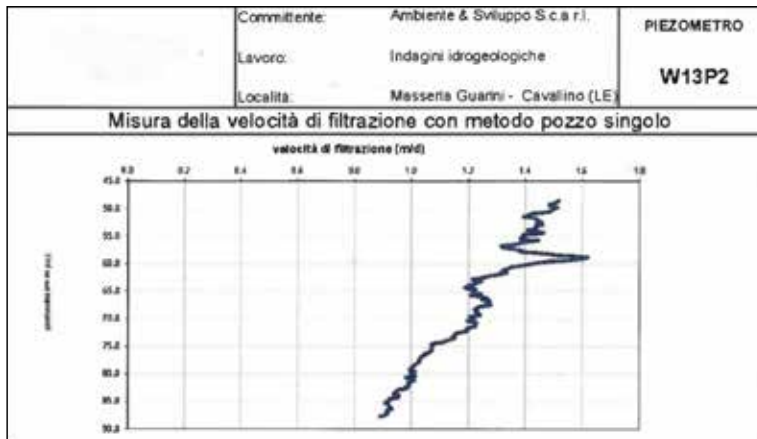


Figura 34 - Velocità di filtrazione W13P2.

misure di Vf, velocità di filtrazione, eseguite lungo la colonna idrica del pozzo W13P2. Le misure di velocità di filtrazione e delle correnti verticali sono state condotte utilizzando il metodo della diluzione del tracciante in pozzo singolo, interessando l'intera colonna idrica del pozzo, che si presenta rivestita con tubazione in PVC finestrata per tutto l'acquifero.

Il tracciante utilizzato è lo ioduro di potassio, che è un tracciante salino di tipo stabile, rilevabile direttamente in sito anche in basse concentrazioni e per tanto non determina apprezzabili modificazioni della densità dell'acqua di falda.

Per l'elaborazione dei dati è stata utilizzata la relazione esistente tra la velocità con cui un tracciante immesso in un pozzo viene diluito dai filetti idrici che lo attraversano e la velocità di filtrazione dell'acqua sotterranea.

La diluzione del tracciante avviene con legge esponenziale secondo l'espressione:

$$V_f = - (V/aSt) \ln(C/C_0)$$

V = volume di acqua relativo al tratto del pozzo in cui si effettua la misura

S = la sezione perpendicolare alla direzione di flusso dell'acqua

t = intervallo di tempo durante il quale si svolge la misura

C₀ e C = concentrazione del tracciante all'inizio e alla fine della misura

a = coefficiente di correzione

In Figura 34 sono riportati in forma grafica e tabellati i valori della velocità di filtrazione lungo la verticale prospettata, espressa in metri/giorno. Come è possibile osservare dal grafico, le acque di falda mostrano una velocità elevata tra 57 e 62 m di profondità dal piano campagna coincidente con la profondità tra -9 m e -14 m dal livello statico, ovvero in corrispondenza del livello con maggiore salinità e con maggiore concentrazione di metalli riscontrato nei carotaggi termo-salini e nell'analisi sui campioni d'acqua prelevati alle diverse profondità.

9. CONCLUSIONI

L'insorgere, a distanza di tempo, di contaminazione da metalli pesanti nelle acque di falda istintivamente imputabile al percolato della discarica Guarini contrastava con il riscontro obiettivo della mancanza di tali metalli nel percolato stesso. Scopo del presente lavoro è stato proprio quello di

individuare la natura della contaminazione attraverso una dettagliata e approfondita caratterizzazione dell'area.

La campagna di indagini, analisi chimiche, mineralogiche e idrogeologiche eseguite nell'ambito del piano di caratterizzazione di una discarica, dove in alcuni pozzi di monitoraggio sono state riscontrate contaminazioni principalmente da metalli pesanti, ha permesso di accertare che:

- l'inquinamento si è manifestato oltre dieci anni dopo la copertura impermeabile della discarica;
- la concentrazione di metalli pesanti continua ad aumentare mentre il percolato è stato ormai quasi totalmente smaltito;
- pertanto, la tempistica dell'inquinamento non è

coerente con una origine antropica.

Inoltre, la composizione chimica del percolato differisce da quella della acqua di falda proprio negli elementi caratteristici dell'inquinamento visto che:

- il Tallio presente in falda è invece assente nel percolato;
- il Manganese altissimo in falda è quasi assente nel percolato;
- non può, quindi, essere il percolato la causa dell'inquinamento.

Le indagini geologiche hanno rilevato la presenza, alla base della Pietra Leccese, di depositi organogeni caratterizzati da sedimenti ricchi di metalli pesanti che i test di cessione hanno mostrato essere facilmente rilasciabili nelle acque liscivate.

Le indagini idrologiche hanno poi rilevato la presenza di diversi livelli acquiferi in comunicazione fra di loro attraverso faglie e fratture, come confermato dai carotaggi termosalini, che consentendo la risalita delle acque più profonde favoriscono la lisciviazione dei metalli pesanti.

Tutto ciò porta ad escludere il percolato come fonte primaria della contaminazione e ad avvalorare l'ipotesi di origine naturale, dovuta all'interazione acqua-roccia.

La causa della contaminazione ha origine naturale, con migrazione dei metalli del livello idrico più profondo presente nella Pietra Leccese verso la falda superficiale.

La causa primaria della contaminazione è legata alla presenza di sedimenti organogeni oligoalini ricchi di minerali. Le acque di falda, a causa del lento movimento sotterraneo attraverso fratture e faglie, vengono a contatto con tali sedimenti arricchendosi per lisciviazione di metalli, che entrano così nel circuito idrico sotterraneo causando la contaminazione delle acque stesse.

Le analisi dei metalli e dello ione ammonio definiscono uno stato di maggiore contaminazione della falda nella parte media della stessa, al di sotto del potenziale livello di base dell'acquifero superficiale (più dolce), laddove la velocità della falda è più elevata e nel tempo conserva sempre un elevato tenore di contaminazione, la cui origine non può che essere attribuita a fattori naturali.

Quanto documentato per le caratteristiche idrogeologiche e di contaminazione delle falde acquifere riscontrate a Masseria Guarini, non rappresenta l'unico caso nel Salento di acque di falda con valori di superamento dei limiti (CSC)

per arsenico, ferro, manganese e nichel. Difatti, analoga contaminazione con superamento delle concentrazioni limite dei metalli è stata riscontrata nell'entroterra di Torre Veneri (Lecce), nei pozzi di monitoraggio dell'area militare. Gli studi condotti in tale area riconducono il fenomeno della "presenza di valori di fondo delle acque sotterranee e in particolare della zona di transizione e scambio tra le acque di falda e quelle di mare".

La situazione stratigrafica dell'area dell'entroterra di Torre Veneri è simile a quella riscontrata in località Masseria Guarini. Situazioni stratigrafiche con presenza di livelli di lignite diffusi nel sottosuolo salentino sono note già dal secolo scorso (De Giorgi C., 1916; Del Prete M. & Santagati G., 1972) e da studi più recenti (Bossio *et al.*, 1998; Bossio *et al.* 2006; Bossio *et al.*, 2007; Bossio *et al.*, 2009). Tuttavia l'aspetto importante da considerare è che se tali affioramenti si verificano in zona anidra, questi non determinano alcuna alterazione chimica delle acque sotterranee, ma se tali litotipi intersecano le acque di falda la situazione diventa ben più critica e richiede un'attenta valutazione, al fine di salvaguardare la salute pubblica.

BIBLIOGRAFIA

BOSSIO A., DALL'ANTONIA B., MARGIOTTA S., RICCHETTI G., VAROLA A. (2006) - *Le argille lignitifere di Gagliano del Capo (Lecce): attribuzione cronostatigrafica ed inquadramento formazionale*. Geologica Romana. Vol. 39.

BOSSIO A., ESU D., FORESI L.M., GIROTTI O., IANNONE A., LUPERTO E., MARGIOTTA S., MAZZEI R., MONTEFORTI B., RICCHETTI G., SALVATORINI G. (1998) - *Formazione di Galatone, nuovo nome per un'unità litostratigrafica del Salento (Puglia, Italia meridionale)*. Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A n. 105.

BOSSIO A., CARLINO M., DA PRATO S., MARGIOTTA S.

(2007) - *Osservazioni sui sedimenti oligocenici del Salento leccese*. Geologica Romana. Vol. 40.

BOSSIO A., CARLINO M., DA PRATO S., MARGIOTTA S., RICCHETTI G. (2009) - *Stratigrafia dei depositi oligocenici della Serra di Poggiardo (Otranto, SE Salento)*. Thalassia Salentina. Vol. 32.

COTECCHIA V. (1977) - *Studies and investigations on Apulian groundwater and intruding seawater (Salento Peninsula)*. C.N.R. - Quaderni Istituto di Ricerca Sulle Acque, n. 20, Roma.

COTECCHIA V. (2014) - *Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa*. Memorie Descrittive della Carta Geologica d'Italia. Vol. 92, ISPRA, Roma.

DE GIORGI C. (1916) - *Giacimenti di lignite in Terra d'Otranto*. Rassegna Tecnica Pugliese, Continuità, Vol. 15, Trani.

DEL PRETE M. & SANTAGATI G. (1972) - *Depositi oligoceni interposti tra calcari cretacei e Pietra Leccese nei dintorni di Lecce*. Geologia Applicata e Idrogeologia. Vol. 7, Bari.

MARGIOTTA S. & VAROLA A. (2004) - *Nuovi dati geologici e paleontologici su alcuni affioramenti nel territorio di Lecce*. Atti Società Toscana di Scienze Naturali, Memorie Serie A n. 109.

TADOLINI T., CALÒ G., SPIZZICO M., TINELLI R. (1985) - *Caratterizzazione idrogeologica dei terreni post-cretacei presenti nell'area di San Cesario di Lecce (Puglia)*. Atti del V Congresso Internazionale sulle Acque Sotterranee, Taormina.

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia per la valida e preziosa collaborazione ricevuta: il Geom. Giuseppe Taurino per la redazione delle parti grafiche; il Dott. Geol. Stefano Liguori per le indagini termosalinometriche; il Geom. Antonio Marrocco per i rilievi topografici; l'Ing. Giuseppe Ferrari per l'esecuzione e l'elaborazione delle misure di velocità di filtrazione; la Dott.ssa Ilaria Iasella per la redazione e la stesura del testo.

DAL RIFIUTO AL RIPRISTINO: LA GESTIONE INTEGRATA DEI MATERIALI INERTI NELLE CAVE PUGLIESI

Francesco Tucci¹, Carlo Tucci²

¹Geologo - tucci.geofra@gmail.com. ²Ingegnere ambientale - ctucci.ing@gmail.com

RIASSUNTO

Il presente contributo analizza il quadro normativo vigente relativo all'autorizzazione di impianti di recupero rifiuti non pericolosi (operazioni R5, R10 e R13) localizzati all'interno di aree di cava, sia dismesse che in esercizio, con particolare riferimento alla normativa della Regione Puglia. Attraverso l'esame integrato della L.R. 22/2019, delle relative Linee Guida attuative (D.G.R. 2060/2020), della normativa ambientale nazionale (D.Lgs. 152/2006 e smi) e dei recenti aggiornamenti introdotti dal D.M. 127/2024 sull'End of Waste, si forniscono indicazioni operative per l'inquadramento corretto delle diverse tipologie di intervento.

1. PREMESSA

Il presente contributo ha l'obiettivo di fornire chiarimenti tecnico-normativi in merito alla progettazione e autorizzazione degli impianti destinati al recupero di rifiuti non pericolosi, inquadrati ai sensi dell'allegato C della parte IV del D.Lgs. 152/2006 per operazioni in R5, R10 e R13, localizzati all'interno di aree di cava, sia in esercizio che dismesse.

Le operazioni oggetto di analisi sono:

- R5 'Riciclaggio/recupero di altre sostanze inorganiche';
- R10 'Trattamento in ambiente terrestre a beneficio dell'agricoltura o dell'ecologia';
- R13 'Messa in riserva di rifiuti per sottoporli a una delle operazioni indicate nei punti da R1 a R12 (escluso il deposito temporaneo, prima della raccolta, nel luogo in cui sono prodotti)'.

Nella prassi più comune, le operazioni di recupero in R5 riguardano prevalentemente la cessazione della qualifica di rifiuto per **rifiuti inerti da costruzione e demolizione e di altri rifiuti inerti di origine minerale**, ai sensi dell'articolo 184-ter, comma 2, del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152.

A tal fine, è fondamentale fare riferimento al D.M. 127/2024 "Regolamento recante disciplina della cessazione della qualifica di rifiuto dei rifiuti inerti da costruzione e demolizione, altri rifiuti inerti di origine minerale", noto come



Figura 1 - Lavorazioni in un impianto di riciclo inerti.

"Decreto End of Waste inerti".

Le operazioni di recupero in R10 si riferiscono tipicamente al ripristino ambientale dei siti estrattivi dismessi o anche in esercizio, qualora il progetto lo preveda.

2. INTRODUZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Considerando l'ubicazione dell'impianto all'interno di un'area di cava è necessario far riferimento alla Legge regionale 5 luglio 2019, n. 22 "Nuova disciplina generale in materia di attività estrattiva" e le relative Linee Guida attuative, che stabilisce la disciplina generale in materia di attività estrattive. La legge fornisce definizioni importanti e stabilisce gli obblighi di recupero e ripristino ambientale per le aree di cava.

Tra le definizioni utili contenute nella legge regionale, vi sono:

- *Cava autorizzata*: l'area, comprensiva delle eventuali pertinenze di cui alla lettera d), in cui si svolge l'attività estrattiva e di recupero in forza di un provvedimento di autorizzazione in corso di validità, come individuata e perimetrata nell'atto autorizzativo e nel piano di coltivazione autorizzato;
- *Cava dismessa*: sito di cava, inserito nel censimento di cui all'articolo 27, in cui l'attività estrattiva sia cessata senza che siano state effettuate opere di recupero ambientale e/o messa in sicurezza o per il quale non sussista un progetto di risistemazione ambientale derivante da autorizzazione con garanzia finanziaria in vigore;
- *Recupero ambientale*: l'insieme delle azioni da mettere in atto contestualmente o al termine dell'attività estrattiva, aventi il fine di realizzare, sull'area indicata nel provvedimento di autorizzazione, un assetto finale dei luoghi funzionali agli obiettivi di riuso indicati nel progetto autorizzato e coerente con la destinazione urbanistica dell'area;

In generale, si riscontrano due principali casistiche per la richiesta di autorizzazione di un impianto di recupero rifiuti all'interno di un'area di cava:

- A. Richiesta autorizzazione impianto di recupero all'interno di un'area di cava dismessa;
- B. Richiesta autorizzazione impianto di recupero all'interno di un'area di cava in esercizio.

3. PROCEDURA DI AUTORIZZAZIONE PER IMPIANTI DI RECUPERO RIFIUTI IN CAVE DISMESSE E IN ESERCIZIO

Caso A. Richiesta autorizzazione impianto di recupero all'interno di un'area di cava dismessa;

La casistica A) rappresenta la situazione più frequentemente riscontrata nella prassi autorizzativa. In tale ipotesi, la



Figura 2 - Schema riassuntivo del CASO A) Richiesta autorizzazione impianto recupero all'interno di un'area di cava dismessa.

procedura risulta sensibilmente più semplice e lineare, configurandosi come una normale autorizzazione ai sensi dell'art. 208 del D.Lgs. 152/2006 o procedura semplificata.

La L.R. 22/2019 all'Art. 14 *Interventi di recupero ambientale delle cave dismesse* al comma 1 dispone quanto segue:

“I progetti di recupero ambientale e di riqualificazione dei siti estrattivi dismessi, che comportano prelievo dei materiali di cava presenti in sito, sono soggetti all'autorizzazione di cui all'articolo 9”.

Considerazioni:

Tale formulazione normativa implica che i progetti di recupero ambientale (attività R10), laddove non comportino il prelievo né l'utilizzazione di materiali di seconda categoria, non rientrano nella definizione di progetti a carattere minerario ai sensi della suddetta legge regionale.

Pertanto, nei casi in cui le operazioni di recupero siano limitate al mero abbancamento di materiali, senza estrazione di ulteriori risorse minerarie, non si configura la necessità di un'autorizzazione mineraria. In tali contesti, l'intervento si qualifica come un'attività di recupero ambientale e non come progetti a carattere minerario.

Quindi non si ricade nei casi di progetti a carattere minerario in quanto le operazioni di recupero prevedono il mero abbancamento di materiale.

Pertanto, all'interno di cave dismesse sarà possibile autorizzare impianti di recupero rifiuti che svolgano operazioni classificate come R5, R10 e R13 nel rispetto del D.Lgs. 152/2006 e smi, eventualmente scontando la procedura di assoggettabilità a valutazione di impatto ambientale per l'operazione R5 per capacità superiori a 10 t/g (tonnellate/giorno).

Caso B. Richiesta autorizzazione impianto recupero all'interno di un'area di cava in esercizio;

La richiesta di autorizzazione per la realizzazione di un impianto di recupero di rifiuti inerti non pericolosi all'interno del perimetro di una cava in esercizio trova fondamento normativo nella Legge Regionale della Puglia n. 22 del 5 luglio 2019, in particolare agli articoli 16 e 21, e nelle relative Linee Guida attuative approvate con D.G.R. n. 2060 del 14 dicembre 2020.

Ai fini del presente approfondimento, si ritiene utile richiamare gli articoli della L.R. Puglia n. 22/2019 di seguito riportati, limitatamente ai commi di diretto interesse.

Art. 16 - Recupero ambientale delle cave

Comma 1. Il recupero ambientale delle aree soggette ad attività estrattiva e/o ricerca in forza di autorizzazione di cui agli articoli 9, 22 e 35, è obbligatorio ed è a carico dell'esercente.

Comma 2. Il recupero delle aree soggette ad attività estrattiva, in conformità al piano di ripristino e recupero ambientale autorizzato, deve essere realizzato contestualmente, ove possibile, o al termine della fase di coltivazione della cava, sulla base di comprovate esigenze tecnico-produttive e di sicurezza nell'esercizio dell'attività. A tal fine le opere di coltivazione e recupero ambientale negli elaborati di cui all'articolo 11 sono articolate per lotti successivi, ove possibile. Al termine della realizzazione del recupero ambientale di ogni singolo lotto, l'esercente può richiedere lo svincolo parziale delle garanzie finanziarie di cui all'articolo 17, comma 4.

Comma 3. Il recupero ambientale deve garantire la pubblica sicurezza, la stabilità e funzionalità del contesto idrogeologico, la salvaguardia dell'ambiente naturale e deve essere coerente con le caratteristiche del contesto, e in particolare, con le componenti geologiche, agronomiche, vegetazionali e faunistiche del sito di localizzazione dell'intervento. La realizzazione delle opere di recupero ambientale autorizzate deve avvenire nel rispetto di quanto previsto nel cronoprogramma approvato e comunque entro il termine fissato nel provvedimento di autorizzazione di cui all'articolo 9. Il comune competente, su specifica richiesta dell'esercente, può concedere proroga per la realizzazione delle suddette opere di recupero ambientale, previo aggiornamento delle garanzie di cui all'articolo 17, comma 4, tenuto conto delle fasi di coltivazione completate. La durata della proroga deve essere coerente con le caratteristiche delle opere di recupero ambientale autorizzate e non eccedere i limiti temporali di vigenza delle autorizzazioni di compatibilità ambientale e paesaggistica.

Comma 6. È considerata opera di recupero ambientale connessa all'attività estrattiva ai sensi delle presenti disposizioni, il colmamento, anche parziale, delle depressioni di cava, a condizione che tale opera:

- sia prescritta per ragioni di sicurezza e stabilità dei luoghi dalle autorità competenti;
- sia prescritta e autorizzata dagli enti e autorità preposti alla valutazione ambientale e paesaggistica dei progetti di cava;
- per caratteristiche tecniche, economiche e di durata non si configuri come attività di smaltimento ai sensi della direttiva 2008/98/CE.

Comma 7. Il colmamento, anche parziale, delle depressioni di cava nell'ambito delle opere di recupero deve essere prioritariamente effettuato con i rifiuti di estrazione di cui al D.Lgs. 117/2008. È altresì consentito l'utilizzo di materiali idonei previsti dalla normativa vigente e secondo le relative procedure autorizzative. L'utilizzo di tali materiali deve avvenire garantendo la tracciabilità e localizzazione degli stessi e la salvaguardia della salute delle popolazioni e dell'ambiente. In particolare deve essere impedito l'inquinamento del suolo

e delle acque superficiali e sotterranee. A tal fine, le autorità competenti al rilascio delle autorizzazioni di cui all'articolo 9 valutano il rispetto delle condizioni di cui al presente comma e acquisiscono i pareri e gli atti di assenso necessari in merito alla idoneità dei materiali di colmamento, ivi compreso il parere dell'Agenzia regionale per la prevenzione e protezione dell'ambiente.

Art. 21 - Pertinenze di cava e impianti connessi

Comma 3. Gli impianti di produzione calcestruzzi, conglomerati bituminosi o recupero rifiuti inerti non pericolosi, sono ammessi all'interno del perimetro di cava, previa acquisizione di tutti gli atti di assenso e pareri previsti dalla normativa vigente e a seguito di nulla osta del comune e a condizione che la realizzazione degli stessi sia compatibile con il prosieguo dell'attività estrattiva e con le opere di recupero ambientale previste. Nel caso di realizzazione di tali impianti, l'esercente deve aggiornare il piano di coltivazione e recupero e mettere in atto tutte le misure di sicurezza necessarie a evitare le possibili interferenze tra le attività. A tal fine, tali impianti devono essere separati dall'attività di cava a mezzo di apposita recinzione.

Per quanto riguarda le Linee Guida di attuazione della

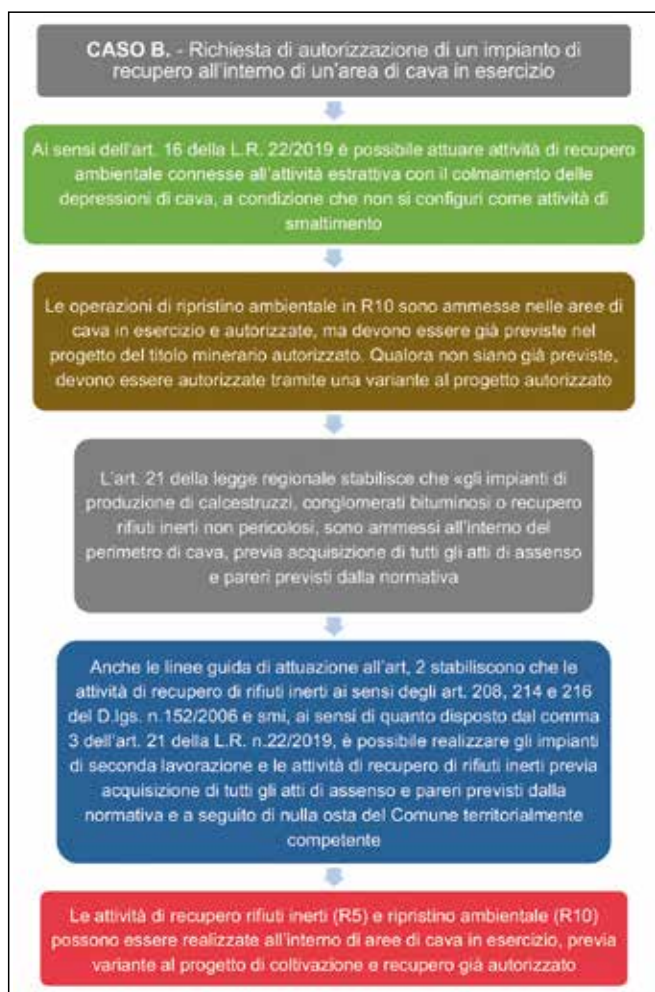


Figura 3 – Schema riassuntivo del CASO B) Richiesta autorizzazione impianto recupero all'interno di un'area di cava autorizzata e in esercizio.

Legge Regionale 5 luglio 2019, n. 22, sono di particolare interesse i seguenti articoli:

Art. 2 - Definizione di attività estrattiva e delle attività connesse

Comma 4. Non rientrano nelle lavorazioni facenti parte dell'attività estrattiva, anche se svolte all'interno del perimetro di cava autorizzata:

- le attività e gli impianti di seconda lavorazione del materiale estratto (ad es. betonaggio, produzione bitume);
- le attività di recupero di rifiuti inerti ai sensi degli art. nn. 208, 214 e 216 del D.lgs n.152/2006 e smi. Ai sensi di quanto disposto dal comma 3 dell'art. 21 della L.R. n. 22/2019 è possibile realizzare gli impianti di seconda lavorazione e le attività di recupero di rifiuti inerti di cui sopra previa acquisizione di tutti gli atti di assenso e pareri previsti dalla normativa vigente e a seguito di nulla osta del Comune territorialmente competente. Al fine di realizzare detti impianti all'interno del perimetro di cava l'esercente deve proporre variante al progetto di coltivazione e recupero e mettere in atto tutte le misure di sicurezza necessarie a evitare le possibili interferenze tra le attività prevedendo, in particolare, una separazione fisica tra le attività a mezzo di apposita recinzione e, ove possibile, viabilità ed accessi separati. A seguito del conseguimento delle autorizzazioni necessarie l'esercente è tenuto ad aggiornare il Documento di Sicurezza e Salute, eventualmente coordinato, ai sensi del D.Lgs. n. 624/1996.

Considerazioni:

Ai sensi del comma 6 art. 16 della L.R. 22/2019, è possibile attuare attività di recupero ambientale connesse all'attività estrattiva anche con il colmamento, parziale o totale, delle depressioni di cava, a condizione che tale operazione sotto il profilo delle caratteristiche tecniche, economiche e temporali non si configuri come attività di smaltimento, in conformità con la Direttiva 2008/98/CE.

In particolare, secondo l'art 11 comma 2 punto b) della direttiva “entro il 2020 la preparazione per il riutilizzo, il riciclaggio e altri tipi di recupero di materiale, incluse operazioni di colmatazione che utilizzano i rifiuti in sostituzione di altri materiali, di rifiuti da costruzione e demolizione non pericolosi, escluso il materiale allo stato naturale definito alla voce 17 05 04 dell'elenco dei rifiuti, sarà aumentata almeno al 70 % in termini di peso”.

La colmatazione è definita come un'operazione di recupero, in cui i rifiuti idonei sono utilizzati a fini di bonifica in aree scavate o per interventi paesaggistici e in cui i rifiuti sostituiscono altri materiali.

L'indicazione della direttiva comunitaria è stata recepita con il D.Lgs. 152/2006, all'art. 181 comma 4 “Preparazione per il riutilizzo, riciclaggio e recupero dei rifiuti”.

Nel contesto della nostra casistica, le operazioni richieste rientrano tra le attività di recupero che non vengono considerate operazioni di smaltimento, come specificato nell'allegato B della parte IV del D.Lgs. 152/2006 e smi.

Inoltre, il comma 7 della legge regionale prevede che “il colmamento, anche parziale, delle depressioni di cava nell'ambito delle opere di recupero deve essere prioritariamente effettuato con i rifiuti di estrazione di cui al D.lgs. 117/2008. È altresì

consentito l'utilizzo di materiali idonei previsti dalla normativa vigente e secondo le relative procedure autorizzative"

Pertanto, le operazioni di recupero ambientale devono essere prioritariamente effettuate utilizzando i rifiuti di estrazione disciplinati dal D.Lgs. 117/2008; tuttavia, è comunque consentito l'impiego di materiali idonei previsti dalla normativa vigente.

In conclusione, le operazioni di ripristino ambientale in R10 sono ammesse nelle aree di cava in esercizio e autorizzate, ma devono essere già previste nel progetto del titolo minerario autorizzato. Qualora non siano incluse, dovranno essere autorizzate tramite una variante al progetto già approvato da presentare al Comune competente o Regione.

Per quanto riguarda l'autorizzazione delle attività di recupero in R5, l'art. 21 della legge regionale *'Pertinenze di cava e impianti connessi'*, al comma 3, stabilisce che *"gli impianti di produzione calcestruzzi, conglomerati bituminosi o recupero rifiuti inerti non pericolosi, sono ammessi all'interno del perimetro di cava, previa acquisizione di tutti gli atti di assenso e pareri previsti dalla normativa vigente e a seguito di nulla osta del comune e a condizione che la realizzazione degli stessi sia compatibile con il prosieguo dell'attività estrattiva e con le opere di recupero ambientale previste"*.

Una precisazione su tale aspetto è fornita dalle Linee Guida di attuazione della legge regionale, che l'art. 2, comma 4, stabilisce che *"le attività di recupero di rifiuti inerti ai sensi degli art. nn. 208, 214 e 216 del D.lgs. n.152/2006. Ai sensi di quanto disposto dal comma 3 dell'art. 21 della L.R. n.22/2019 è possibile realizzare gli impianti di seconda lavorazione e le attività di recupero di rifiuti inerti di cui sopra previa acquisizione di tutti gli atti di assenso e pareri previsti dalla normativa vigente e a seguito di nulla osta del Comune territorialmente competente. Al fine di realizzare detti impianti all'interno del perimetro di cava l'esercente deve proporre variante al progetto di coltivazione e recupero e mettere in atto tutte le misure di sicurezza necessarie a evitare le possibili interferenze tra le attività prevedendo, in particolare, una separazione fisica tra le attività a mezzo di apposita recinzione e, ove possibile, viabilità ed accessi separati."*

In sintesi, le attività di recupero di rifiuti inerti (R5) possono essere realizzate all'interno di aree di cava in esercizio, previa variante al progetto di coltivazione e recupero da presentare all'autorità competente (Comune o Regione).

4. ESEMPIO CASO APPLICATIVO

Si consideri un caso applicativo riguardante la richiesta di autorizzazione per un impianto di riciclo di rifiuti inerti (operazione R5) localizzato all'interno di un'area di cava dismessa, con contestuale progetto di recupero ambientale finalizzato alla rinaturalizzazione del sito (CASO A).

Autorizzazioni ambientali ed Enti coinvolti:

Gli impianti di riciclo inerti (R5), a sensi del D.M. 127/2024, devono essere autorizzati mediante procedura ordinaria di cui all'articolo 208 del D.lgs. n. 152/2006 e smi.

In Regione Puglia, la L.R. 7 novembre 2022, n. 26 *"Organizzazione e modalità di esercizio delle funzioni amministrative in materia di valutazioni e autorizzazioni ambientali"* ha delegato alle Province il ruolo di autorità competente per il rilascio dell'Autorizzazione Unica (AU) di cui all'art. 208.

Con tale provvedimento vengono autorizzate le operazioni di R5, R10 e R13, a seguito di eventuale procedura di verifica di assoggettabilità a VIA qualora le operazioni R5 superino la capacità di 10 t/g.

I principali Enti coinvolti nella conferenza di servizi convocata dalla provincia per il rilascio dell'autorizzazione sono:

- il Comune, per il rilascio del permesso a costruire e l'espressione di un parere relativo all'autorizzazione, anche in quanto il rilascio dell'AU costituisce variante allo strumento urbanistico. In presenza di vincolo paesaggistico, rilascia inoltre l'autorizzazione paesaggistica, se dotato di Commissione Paesaggio;
- L'ARPA per l'espressione del parere tecnico-ambientale e di eventuali prescrizioni;
- Regione Puglia, Sezione Attività Estrattive (o anche, in alternativa, il Comune, se dotato di Commissione tecnica per le attività estrattive);
- L'Azienda Sanitaria Locale per il parere igienico-sanitario.

Considerato l'elevato numero di Enti coinvolti e la sovrapposizione di competenze, unita spesso alla carenza di personale nei piccoli comuni, l'iter autorizzativo può risultare complesso e di durata incerta.

In alternativa, qualora l'intervento sia limitato al solo recupero ambientale (operazione R10), senza impianto di trattamento inerti, è possibile ricorrere a una procedura semplificata ai sensi degli articoli 214 e 216 del D.Lgs. 152/2006 e smi, che confluisce successivamente in un'Autorizzazione Unica Ambientale (AUA) ai sensi del D.P.R. 13 marzo 2013, n. 59.

Per la sola operazione R10 non è necessario scontare la conformità al Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti, trattandosi di un solo intervento di recupero ambientale. Anche per questo motivo, l'iter autorizzativo risulta generalmente più agevole e con maggiori probabilità di esito favorevole.

L'AUA rappresenta una procedura più snella rispetto all'AU, pur comportando limitazioni nei quantitativi di rifiuti in ingresso e nella tipologia di operazioni consentite.

Tipologie di rifiuti ammesse:

Per le tipologie di rifiuti non pericolosi in ingresso e i relativi quantitativi ammessi, sia per le operazioni di recupero R5 che R10, si fa riferimento al D.M. 5 febbraio 1998, al D.M. 127/2024 e D.Lgs. 152/2006 e smi.

Le tipologie verranno trattate separatamente in base all'operazione di recupero prevista. Prima, tuttavia, è opportuno richiamare alcune definizioni fondamentali del D.M. 127/2024:

- a) «rifiuti inerti derivanti dalle attività di costruzione e demolizione»: i rifiuti derivanti dalle operazioni di costruzione e demolizione elencati nell'Allegato 1, Tabella 1, punto 1, del regolamento;
- b) «altri rifiuti inerti di origine minerale»: i rifiuti elencati nell'Allegato 1, Tabella 1, punto 2, del regolamento;
- c) «rifiuti inerti»: i rifiuti solidi derivanti dalle attività di costruzione e demolizione e altri rifiuti di origine minerale che non subiscono alcuna trasformazione fisica, chimica o biologica significativa, che non si dissolvono, non bruciano, non sono soggetti ad altre reazioni fisiche o chimiche, non sono biodegradabili, e che, in caso di contatto con altre materie, non comportano effetti nocivi tali da

- provocare inquinamento ambientale o danno alla salute umana;
- d) «aggregato riciclato»: aggregato minerale risultante dal recupero di rifiuti di materiale inorganico precedentemente utilizzato nelle costruzioni;
- e) «aggregato artificiale»: aggregato di origine minerale risultante dal recupero di rifiuti derivante da un processo industriale che implica una modificazione termica o di altro tipo;
- f) «aggregato recuperato»: aggregato riciclato o artificiale prodotto dai rifiuti di cui alle lettere a) e b) che hanno cessato di essere tali a seguito di una o più operazioni di recupero nel rispetto delle condizioni di cui all'articolo 184-ter, c.1 del D.Lgs. 152/06 smi e delle disposizioni del regolamento;

Operazione R5 – Impianti riciclo inerti

In primo luogo, deve essere rispettato quanto previsto dall'art. 3 'Criteri ai fini della cessazione della qualifica di rifiuto' del D.M. 127/2024, secondo il quale i rifiuti inerti derivanti dalle attività di costruzione e demolizione e gli altri rifiuti inerti di origine minerale cessano di essere qualificati come rifiuti e assumono la qualifica di aggregato recuperato, se l'aggregato riciclato o artificiale derivante dal trattamento di recupero è conforme ai criteri di cui all'Allegato 1 del decreto.

Quest'ultimo stabilisce che i rifiuti ammissibili per la produzione di aggregato recuperato sono esclusivamente:

- i rifiuti inerti derivanti dalle attività di costruzione e di demolizione non pericolosi elencati nella Tabella 1, punto 1;
- gli altri rifiuti inerti non pericolosi di origine minerale elencati nella Tabella 1, punto 2.

Invece, non sono ammessi alla produzione di aggregato recuperato:

- i rifiuti interrati;
- Non sono altresì ammessi alla produzione di aggregato recuperato rifiuti identificati dal codice EER 170504 provenienti da siti contaminati sottoposti a procedimento di bonifica.

Per quanto riguarda il rispetto dei requisiti di qualità dell'aggregato recuperato, per ogni lotto di aggregato recuperato prodotto è garantito il rispetto di parametri di cui alla Tabella 2 dell'allegato 1, a seconda degli utilizzi cui sono destinati i lotti di aggregato recuperato prodotto previsti dall'Allegato 2, articolo 4, del decreto.

Infine, il decreto stabilisce che l'aggregato recuperato attraverso il processo di End of Waste, che ha cessato la qualifica di rifiuto, può essere utilizzato per operazioni di ripristino ambientale, colmate e riempimenti, come indicato nell'allegato 2, art. 4 del decreto. Pertanto, l'aggregato recuperato, oltre ad essere destinato a fini commerciali, può essere impiegato anche nelle operazioni di recupero ambientale dell'area di cava.

Operazione R10 – Recupero ambientale

Le tipologie di rifiuti in ingresso sono disciplinate dal D.M. 5 febbraio 1998.

Per poter operare in regime semplificato è necessario rispettare i quantitativi massimi annui previsti dal ALLEGATO 1 (suballegato 1) del D.M. 5 febbraio 1998.

Particolare attenzione deve essere posta alle terre e rocce da scavo, classificate come rifiuti non pericolosi (codice EER 17 05 04) ai sensi dell'articolo 183 del D.Lgs. 152/2006 e smi, si tratta infatti di un rifiuto frequentemente prodotto durante

1. Rifiuti inerti dalle attività di costruzione e demolizione (Capitolo 17 dell'elenco europeo dei rifiuti)
<u>170101</u> Cemento
<u>170102</u> Mattoni
<u>170103</u> Mattonelle e ceramiche
<u>170107</u> Miscugli o scorie di cemento, mattoni, mattonelle e ceramiche, diverse da quelle di cui alla voce 170106
<u>170302</u> Miscele bituminose diverse da quelle di cui alla voce 170301
<u>170504</u> Terre e rocce da scavo, diverse da quelle di cui alla voce 170503, escluse quelle provenienti da siti contaminati oggetto di bonifica
<u>170508</u> Pietrisco per massicciate ferroviarie, diverso da quello di cui alla voce 170507
<u>170904</u> Rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione, diversi da quelli di cui alle voci 170901, 170902 e 170903
2. Altri rifiuti inerti di origine minerale (non appartenenti al Capitolo 17 dell'elenco europeo dei rifiuti)
<u>010408</u> Scarti di ghiaia e pietrisco, diversi da quelli di cui alla voce 010407
<u>010409</u> Scarti di sabbia e argilla
<u>010410</u> Polveri e residui affini, diversi da quelli di cui alla voce 010407
<u>010413</u> Rifiuti prodotti dal taglio e dalla segazione della pietra, diversi da quelli di cui alla voce 010407
<u>101201</u> Residui di miscela di preparazione non sottoposti a trattamento termico
<u>101206</u> Stampi di scarto costituiti esclusivamente da sfridi e scarti di prodotti ceramici crudi smaltati e cotti o da sfridi di laterizio cotto e argilla espansa eventualmente ricoperti con smalto crudo in concentrazione < 10% in peso
<u>101208</u> Scarti di ceramica, mattoni, mattonelle e materiali da costruzione (sottoposti a trattamento termico)
<u>101311</u> Rifiuti della produzione di materiali compositi a base di cemento, diversi da quelli di cui alle voci 101309 e 101310
<u>120117</u> Residui di materiale di sabbatura, diversi da quelli di cui alla voce 120116 costituiti esclusivamente da sabbie abrasive di scarto
<u>191209</u> Minerali (ad esempio, sabbia, rocce, inerti)
<u>200301</u> Rifiuti urbani non differenziati, limitatamente alla frazione inerte dei rifiuti abbandonati provenienti da attività di costruzione e demolizione.

Tabella 1 - Rifiuti ammessi per la produzione di aggregato recuperato del D.M. 127/2024 (Allegato 1).

la realizzazione di opere pubbliche e private, sia di piccola che di grande scala. Costituisce, nella prassi, una delle matrici più ricorrenti nelle operazioni di recupero ambientale R10.

La loro diffusione, legata ai lavori relativi alle infrastrutture, edilizia e opere civili di ogni scala, le rende una componente chiave nelle attività di ripristino ambientale dei siti di cava. È propedeutico, ai fini dell'utilizzo delle terre e rocce da scavo nei progetti di ripristino, rispettare le seguenti prescrizioni ambientali:

- Ai sensi del D.M. 5 febbraio 1998, il loro impiego ai fini di recupero ambientale, è subordinato all'esecuzione del test di cessione sul materiale tal quale secondo il metodo in allegato 3 del decreto;
 - Il quantitativo massimo ammissibile per tali operazioni, in regime semplificato, è pari a 150.000 tonnellate/anno;
- È, inoltre, necessario verificare le Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) riportate alle colonne A e B della Tabella 1, Allegato 5 al Titolo V della Parte IV del D.Lgs. n. 152/2006 e smi, in relazione alla specifica destinazione d'uso urbanistica del sito di destinazione.

5. CONCLUSIONI

I chiarimenti esposti nel presente contributo intendono costituire uno strumento di supporto tecnico e normativo per la progettazione e l'autorizzazione degli impianti di recupero rifiuti non pericolosi, con operazioni classificate in R5, R10 e R13, localizzati all'interno di aree di cava, sia dismesse che attive.

L'analisi delle fonti legislative e delle linee guida regionali consente di evidenziare un quadro autorizzativo chiaro ma articolato, che distingue nettamente tra interventi in ambito estrattivo e interventi di recupero ambientale. In particolare, è emerso che:

- nei siti dismessi, le operazioni in R10 sono autorizzabili in via semplificata o ai sensi dell'art. 208 del D.Lgs. 152/2006 e smi, in quanto non riconducibili ad attività di coltivazione mineraria se non prevedono escavazione di nuovo materiale;
- nei siti in esercizio, la possibilità di installare impianti per operazioni in R5 e anche ripristini ambientali in R10 è subordinata al rispetto delle condizioni previste dalla L.R. 22/2019 e delle linee guida, previa variante del piano di coltivazione e ripristino e ottenimento dei necessari atti di assenso.

Il recupero ambientale delle aree di cava e la promozione dell'utilizzo di materiali inerti riciclati si inseriscono oggi in un quadro strategico più ampio, volto a contenere il crescente consumo di suolo e a favorire la rigenerazione del territorio.

In Puglia, secondo il *Rapporto SNPA 2025* sul consumo di suolo, il consumo di suolo ha raggiunto oltre 800 ettari nel 2024, con una crescita del +0,52% rispetto all'anno precedente, uno dei valori più elevati a livello nazionale. In tale contesto, il recupero e la rinaturalizzazione delle cave dismesse rappresentano un'opportunità concreta per contrastare la perdita di suolo naturale e restituire funzionalità ecologica e paesaggistica a spazi già compromessi.

Un modello virtuoso è quello dell'Emilia-Romagna, che nel 2024 ha recuperato 143 ettari di suolo grazie soprattutto a interventi di rinaturalizzazione di cave dismesse e che

ha introdotto politiche innovative per favorire l'impiego di aggregati riciclati. La Regione, attraverso l'elenco regionale dei prezzi delle opere pubbliche, distingue tra materiali inerti naturali e riciclati, attribuendo a questi ultimi un prezzo inferiore. Nei capitolati di gara è inoltre previsto un criterio premiante per l'utilizzo di materiali contenenti materia recuperata o riciclata, in linea con i Criteri Ambientali Minimi (CAM).

Si tratta di misure che favoriscono la creazione di un mercato regionale degli inerti riciclati, riducendo la dipendenza da nuovi prelievi minerari e promuovendo un'edilizia più sostenibile.

In questa stessa prospettiva, la localizzazione di impianti di recupero inerti all'interno di aree di cava dismesse costituisce una scelta ambientalmente più sostenibile rispetto all'insediamento in aree mai modificate. Una cava, anche se ripristinata, ha già subito una trasformazione morfologica e paesaggistica: per questo motivo, destinare tali spazi a impianti di recupero consente di evitare nuovo consumo di suolo vergine e di massimizzare il riutilizzo di aree già antropizzate.

Alla luce di queste considerazioni, sarebbe auspicabile rivedere l'iter autorizzativo ambientale, semplificando le procedure e riducendo le sovrapposizioni tra enti, attraverso linee guida chiare e uniformi che definiscano i passaggi procedurali e gli elaborati progettuali richiesti, a beneficio sia degli operatori privati che delle amministrazioni pubbliche.

Questa sinergia tra recupero ambientale, economia circolare e pianificazione territoriale consente di ottimizzare la gestione dei materiali, contenere gli impatti territoriali e promuovere un modello di sviluppo sostenibile fondato sull'uso efficiente delle risorse.

Un approccio che valorizza pienamente il ruolo del geologo, figura chiave nella pianificazione, nella valutazione e nella gestione sostenibile del territorio.

BIBLIOGRAFIA

MINISTERO DELL'AMBIENTE (1998) - Decreto Ministeriale 5 febbraio 1998 – Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli articoli 31 e 33 del decreto legislativo 5 febbraio 1997, n. 22. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, Serie Generale n. 88 del 16 aprile 1998 – Supplemento Ordinario n. 72.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA (2006) - Decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 – Norme in materia ambientale. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 88 del 14 aprile 2006.

PARLAMENTO EUROPEO E CONSIGLIO DELL'UNIONE EUROPEA (2008) - Direttiva 2008/98/CE del Parlamento europeo e del Consiglio del 19 novembre 2008 relativa ai rifiuti e che abroga alcune direttive. Gazzetta ufficiale dell'Unione europea, L 312/3.

PRESIDENZA DELLA REPUBBLICA (2013) - Decreto del Presidente della Repubblica 13 marzo 2013, n. 59 – Regolamento recante la disciplina dell'autorizzazione unica ambientale (AUA) e la semplificazione di adempimenti amministrativi in materia ambientale gravanti sulle piccole e medie imprese e sugli impianti non soggetti ad autorizzazione integrata ambientale, a norma dell'articolo 23 del decreto-legge

9 febbraio 2012, n. 5, convertito, con modificazioni, dalla legge 4 aprile 2012, n. 35. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 124 del 29 maggio 2013.

PRESIDENZA DELLA REPUBBLICA (2017) - Decreto del Presidente della Repubblica 13 giugno 2017, n. 120 – Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n. 183 del 7 agosto 2017.

REGIONE PUGLIA (2019) - Legge Regionale 5 luglio 2019, n. 22 – Nuova disciplina generale in materia di attività estrattiva. Bollettino Ufficiale della Regione Puglia.

REGIONE PUGLIA (2020) - Linee guida di attuazione della Legge Regionale 5 luglio 2019, n. 22. D.G.R. n. 2060 del 14 dicembre 2020.

REGIONE PUGLIA (2021) - Piano regionale di gestione dei rifiuti urbani (PRGRU), comprensivo della sezione gestione dei fanghi di depurazione del servizio idrico e della proposta di Piano delle bonifiche delle aree inquinate (D.C.R. 14 dicembre 2021, n. 68). Bollettino Ufficiale Regione Puglia.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA (2022) - Norme Tecniche di Attuazione (Allegato 3) – Piano Regionale di Gestione dei Rifiuti e per la Bonifica delle Aree Inquinatae 2022-2027.

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA SICUREZZA ENERGETICA (2024) - Decreto Ministeriale 27 marzo 2024, n. 127 – Regolamento End of Waste per i rifiuti inerti da C&D. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, n.208 del 05-09-2024.

SISTEMA NAZIONALE PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE – SNPA (2025) - Rapporto “Consumo di suolo, dinamiche territoriali e servizi ecosistemici” – Edizione 2025. Report Ambientali SNPA n. 46/2025. ISBN 978-88-448-1279-0.

PRO-GEO s.a.s
di Alberto Angelo Raffaele Quarto & C.

Sismica
Fondazioni
Stratigrafia
Microzonazione sismica
Adeguamento sismico
Misure HVSR

Sismica a riflessione
Ricerca d'acqua
Stratigrafia profonda

Geoelettrica
Studio frane
Studio corpo discarica
Ricerca d'acqua

Georadar
Archeologia
Sottoservizi
Cavità

Indagini marine
Stratigrafia fondali
Morfologia fondali

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



CHIMILAB

LABORATORIO DI ANALISI CHIMICHE

ACCREDIA
L'ENTE ITALIANO DI ACCREDITAMENTO

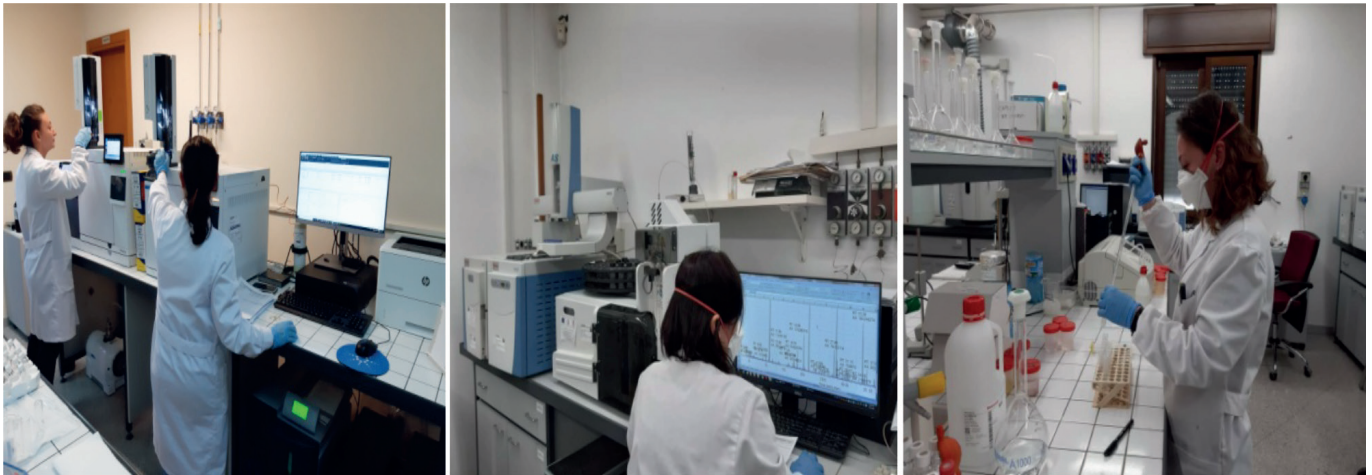
Lab n° 1750L

Membro degli Accordi di Mutuo Riconoscimento
EA, IAF e ILAC

Signatory of EA, IAF and ILAC
Mutual Recognition Agreements

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

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



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

Siti inquinati: piani di caratterizzazione monitoraggio, analisi del suolo

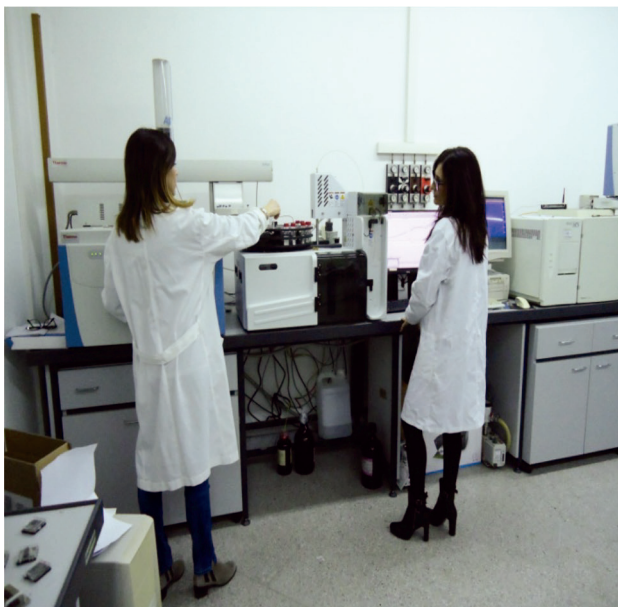
Valutazione d'impatto delle emissioni in Atmosfera

Studio di dispersione degli inquinanti con modello tridimensionale tipo CALPUFF

Valutazione previsionale di Impatto Acustico

Piani Monitoraggio ambientali sulle matrici acqua, aria e suolo

Campionamenti ambientali ed in condotto



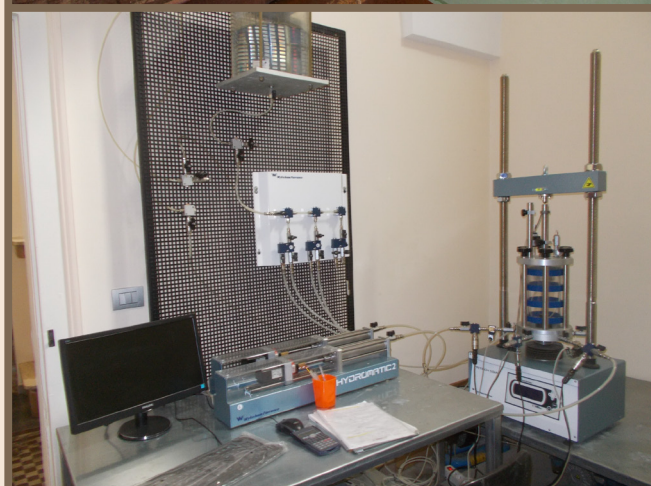
Sede legale: Viale Degli Artigiani, 13 · 73049 Ruffano (LE)
Sede operativa: Via F.lli Bandiera, 10 · 73042 Casarano (LE)
Mail: amministrazione@chimilab srl.eu · laboratorio@chimilab srl.eu
Tel. e fax: 0833.1857699 · PI 05079940754
Pec: chimilab.srl@legalmail.it
Sito web: www.chimilab srl.eu



GEOPROVE

S.R.L.

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



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

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



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti



Certificati N° 2540 ISO 14001
2541 BS OHSAS 18001



SOA OS20B | Livello



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



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

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

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