|  |  |
| --- | --- |
|  | **Dipartimento Mobilità, Qualità Urbana, Opere Pubbliche, Ecologia e Paesaggio** |

**Consultazione pubblica Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi**

*Tavolo Tematico 1: Struttura idro-geomorfologica ed eventi meteoclimatici*

*Tavolo Tematico 2: Struttura sismicità e fagliazione*

A cura di:

Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali,

Università degli Studi di Bari Aldo Moro

con i contributi di:

Istituto di Ricerca sulle Acque, CNR

Ordine dei Geologi Regione Puglia

ARPA Puglia

ASSET Puglia

AQP – Acquedotto Pugliese

**1 - Premessa**

**2 - Inquadramento geografico**

**3 - Inquadramento geologico**

**3.1 – Inquadramento geologico-strutturale**

**4 - Inquadramento geomorfologico**

**5 - Inquadramento sismologico e potenziale di fagliazione**

**6 - Inquadramento idrogeologico**

**7 – Cenni geologico-tecnici**

**8 - Monitoraggio ambientale**

**8.1 – Monitoraggio delle acque**

**9 - Bibliografia**

**ALLEGATI**

**1 - Commenti tecnico-scientifici relativi al sito BA5**

**2 - Commenti tecnico-scientifici relativi al sito BA\_MT-4**

**3 - Commenti tecnico-scientifici relativi al sito BA\_MT-5**

**4 - Commenti tecnico-scientifici relativi al sito TA\_MT-17**

**5 - Commenti tecnico-scientifici relativi al sito TA\_MT-18**

**1 – Premessa**

Le pagine a seguire, relative al Tavolo Tematico 1: Struttura idro-geomorfologica ed eventi meteoclimatici e al Tavolo Tematico 2: Struttura sismicità e fagliazione, rappresentano parte della risposta della Regione Puglia alla consultazione pubblica per l’individuazione preliminare delle località idonee a ospitare il **Deposito Nazionale dei Rifiuti Radioattivi**, da ora in poi denominate **Aree Potenzialmente Idonee (API).**

La relazione è stata redatta da un gruppo di lavoro composto da Dipartimento di Scienze della Terra e Geoambientali dell’Università degli Studi di Bari Aldo Moro, dal CNR – Istituto di Ricerca sulle Acque, Ordine dei Geologi Regione Puglia, ARPA - Puglia, ASSET – Puglia, Acquedotto Pugliese, che ha raccolto il materiale tecnico e scientifico, pubblico e disponibile al gennaio 2021. Le sue pagine rispondono in maniera aggiornata e puntuale alle sollecitazioni - che provengono dalla società e dalla comunità scientifica, tecnica, professionale e amministrativa - derivanti dalla realizzazione della **Carta Nazionale delle Aree Potenzialmente Idonee** (CNAPI), realizzata a compimento del primo processo di *siting* come indicato nella GT 29 di ISPRA. Essa è stata realizzata tenendo conto dei criteri di esclusione (CE) e dei criteri di approfondimento (CA), per quanto evidenziato dalle pagine a seguire, utilizzando solo una esigua parte delle conoscenze disponibili sul territorio.

Si ritiene di dover ricordare che la GT 29 ISPRA definisce il processo di conoscenza per la definizione e localizzazione a scala nazionale del Deposito Nazionale di Rifiuti Radioattivi secondo una procedura che prevede le seguenti tre fasi:

1. *La prima fase consiste in una selezione di aree su scala nazionale effettuata tenendo conto di criteri connessi alle caratteristiche fisiche, chimiche, naturalistiche e antropiche del territorio che rendono compatibile un’area con la realizzazione di un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi a bassa e media attività. A tali fini è utilizzato un insieme di dati immediatamente disponibili ed utilizzabili, che potranno essere non esaustivi, ma già esistenti e raccolti in modo sistematico per il territorio nazionale, nonché una serie di indagini preliminari. La prima fase conduce alla individuazione di un insieme di aree ‘potenzialmente idonee’, con un eventuale ordine di idoneità”.*
2. *La seconda fase è finalizzata ad individuare, nelle aree potenzialmente idonee, i siti da sottoporre ad indagini di dettaglio. La selezione viene effettuata sulla base di valutazioni con dati a scala regionale, di eventuali verifiche in campo e tenendo conto di fattori socio-economici.*
3. *La terza fase è finalizzata alla caratterizzazione tecnica di dettaglio di uno o più siti, in particolare per quanto riguarda il relativo comportamento nel lungo termine, per pervenire alla scelta del sito ove realizzare il deposito*.

Pare utile ricordare che, a seguito della raccolta dei dati dichiarati disponibili nelle relazioni cui si fa riferimento, per tutte le aree indagate viene proposta la seguente affermazione: … *“Si evidenzia che in questa prima fase di localizzazione, in conformità all’art. 2 del D.Lgs. 31/2010 e ss.mm.ii., .… l’area … come potenzialmente idonea anche per l’”immagazzinamento, a titolo provvisorio di lunga durata, dei rifiuti ad alta attività e del combustibile irraggiato provenienti dalla pregressa gestione di impianti nucleari”, in accordo con quanto riportato nella Relazione Illustrativa della GT 29: “un sito ritenuto idoneo per la localizzazione di un impianto di smaltimento superficiale di rifiuti radioattivi a bassa e media attività sulla base dell’applicazione di criteri di selezione delle caratteristiche chimico fisiche, naturali ed antropiche del territorio quali quelli individuati nella Guida Tecnica può ritenersi idoneo, fatte salve le suddette verifiche, anche per la localizzazione di un deposito di stoccaggio di lungo termine“. Di tali “suddette verifiche”, riguardanti la “rispondenza a fronte degli eventi naturali ed antropici ipotizzabili in relazione alle caratteristiche di sito nonché le verifiche in merito all’impatto radiologico in condizioni normali ed incidentali sulla popolazione e sull’ambiente” e quindi “della piena compatibilità di tale tipologia di deposito con il sito prescelto” potrà essere “fornita evidenza, nell’ambito delle relative procedure autorizzative” che sono proprie delle successive fasi del processo di localizzazione a valle dell’indicazione e qualifica del sito definitivo e della realizzazione anche del progetto definitivo.*” … Tanto porta a considerare tutte le cinque aree quali API.

**2 - Inquadramento geografico**

Le aree individuate dalla CNAPI, che in funzione delle caratteristiche fisiche, chimiche, naturalistiche e antropiche del territorio dovrebbero essere compatibili con la realizzazione di un deposito di smaltimento di rifiuti radioattivi a bassa e media attività, dal punto di vista amministrativo sono ubicate lungo il confine fra le Regioni Puglia (a Nord-Est) e Basilicata (a Sud-Ovest).

Nel dettaglio le cinque API sono così ubicate:

* l’area BA-5 è interamente compresa in Puglia, nel territorio del Comune di Gravina in Puglia, in provincia di Bari;
* l’area BA\_MT-4 è a cavallo fra Basilicata e Puglia, nel territorio del Comune di Matera e del Comune di Altamura, in provincia di Bari;
* l’area BA\_MT-5 è a cavallo fra Basilicata e Puglia, nel territorio del Comune di Matera e, per una piccolissima parte, del Comune di Altamura, in provincia di Bari;
* l’area TA\_MT-17 è a cavallo fra Basilicata e Puglia, nel territorio del Comune di Matera e del Comune di Laterza, in provincia di Taranto;
* l’area TA\_MT-18 è a cavallo fra Basilicata e Puglia, nel territorio del Comune di Matera e del Comune di Laterza, in provincia di Taranto.

Esse, ubicate su superfici solo apparentemente sub-pianeggianti delimitate da versanti inclinati, sono comprese fra le quote 450 e 350 m s.l.m. e ricadono nei bacini idrografici del Fiume Bradano e del Fiume Lato.

**3 - Inquadramento geologico**

Le cinque aree oggetto delle indagini svolte e oggetto della presente relazione ricadono, rispettivamente, l’area BA-5, nel Foglio 188 “Gravina in Puglia” della Carta Geologica d’Italia (scala 1:100.000), le aree BA\_MT-4, BA\_MT-5, TA\_MT -17 e TA\_MT-18 nel Foglio 189 “Altamura”, sempre della Carta Geologica d’Italia (scala 1:100.000).

Da un punto di vista dei domini geodinamici (D’Argenio et al., 1973; Ricchetti, 1980), l’area BA-5 è ubicata lungo il bordo orientale dell'avanfossa appenninica (Fossa bradanica), a ridosso dell’Avampaese apulo. In superficie, i depositi affioranti sono plio-quaternari e caratterizzati da una spessa unità argilloso-siltosa e marnosa (Argille subappennine) passante verso l’alto a un complesso di unità sabbioso-arenacee e conglomeratiche (Ciaranfi et al., 1988; Pieri et al., 1996; Tropeano et al., 2002). Tali depositi poggiano su un substrato carbonatico caratterizzato in basso da calcari micritici del Cretaceo superiore (Calcare di Altamura), estremamente fratturati e carsificati, e in alto, in discordanza e per uno spessore massimo che può variare da pochi metri a poche decine di metri, da calcareniti e calciruditi a luoghi estremamente porose (Calcarenite di Gravina, Pliocene superiore-Pleistocene inferiore) (Iannone e Pieri, 1979). Vista la vicinanza con gli affioramenti del substrato, ben esposti nell’abitato di Gravina e lungo diversi tratti del Torrente Gravina di Gravina (Gravina di Picciano, in area lucana) e sapendo che questi affioramenti possono essere riferiti ad un complesso sistema di piccoli horst e graben (Tropeano et al., 1994), non è possibile definire con precisione la profondità del substrato nell’area in oggetto, conservativamente approssimabile a circa 200-250 metri in media rispetto alla sommità del ripiano preso in considerazione.

Per quanto riguarda le unità affioranti nel settore in oggetto, la Carta Geologica ufficiale (in scala 1:100.000, risalente agli anni ’60) riporta le tradizionali unità di chiusura del ciclo della Fossa bradanica (Sabbie di Monte Marano, Conglomerato di Irsina, Sabbie dello Staturo, Calcareniti di Monte Castiglione, ecc.). Questo quadro stratigrafico è oggi superato (Pieri et al., 1996; Sabato 1996; Lazzari e Pieri, 2002; Tropeano et al., 2002; Sabato et al., 2004; Cilumbriello et al., 2008) ed è stato già formalmente emendato nella cartografia in scala 1:50.000 più recente (Cfr Foglio 471 Irsina della Nuova Carta Geologica d’Italia in scala 1:50000 - ISPRA, 2017).

Le altre API sono ubicate in una blanda depressione morfostrutturale dell'avampaese apulo, parzialmente riempita da uno spessore ridotto di depositi quaternari, prevalentemente silicoclastici (Ricchetti et al., 1988; Tropeano et al., 2002). Vista l’adiacenza con gli affioramenti di alti strutturali del substrato, ben esposti a Murgia Catena (a Nord) e lungo il bordo delle Murge di Matera e Laterza (a Sud), pur non potendo definire con precisione la sua profondità nelle aree in oggetto, si può ipotizzare che il substrato sia presente da poche decine di metri fino ad un massimo di 150-200 metri più in basso rispetto alla sommità dei ripiani su cui insistono le aree prese in considerazione. Per quanto riguarda i depositi affioranti nelle aree BA\_MT-4 e TA\_MT-17, le unità presenti in carta furono riferite alle stesse considerate come depositi di chiusura del ciclo bradanico. Anche in questo caso il quadro stratigrafico di riferimento non è più valido e questi depositi sono stati considerati come terrazzi marini con una evoluzione verticale e laterale (geometrie e spessori, litologie, rapporti eteropici e di facies, superfici di discontinuità passanti lateralmente a superfici di continuità, ecc.) che non possono essere descritte dallo schema degli anni ‘60 del cosiddetto emiciclo regressivo della Fossa bradanica (Ciaranfi et al, 1988). Caratteristiche di estrema variabilità laterale e verticale sono presenti anche nei depositi fluvio-lacustri medio pleistocenici riconosciuti sulla sommità tabulare dei rilievi presenti nelle aree BA\_MT-5 e TA\_MT-18. In questo, essendo questi rilievi più bassi dei precedenti, il substrato dovrebbe risultare meno profondo.

La litostratigrafia riportata invece nelle schede prodotte da SOGIN, le sezioni geologiche e lo schema dei rapporti stratigrafici a corredo rispondono agli schemi ormai superati da lavori scientifici pubblicati a partire da almeno vent’anni fa (vedi bibliografia già citata). Le schede SOGIN riportano fedelmente quanto contenuto negli originali d’autore (su base 1:25.000) e nelle versioni finali dei Fogli 1:100.000 (Foglio 188 Gravina e Foglio 189 Altamura): le unità sedimentarie più recenti vengono quindi rappresentate da corpi tabulari aggradanti. Inoltre, tali geometrie vengono assunte come rappresentative per estese aree utilizzando correlazioni geometriche. Tali correlazioni, oltre che non essere rispondenti alla realtà geologico-stratigrafica, non si basano su affioramenti reali. Nelle schede infatti la difficoltà a rilevare veri affioramenti è dimostrata dalle foto proposte nelle relazioni che talvolta mostrano solo suoli più o meno interessati da interventi di miglioramento fondiario. Dopotutto, le litologie visibili nei suoli non sembrano neanche essere attribuibili alle unità stratigrafiche ipotizzate.

Ovviamente, gli schemi utilizzati, non rispondenti alla realtà geologica, comportano notevoli conseguenze interpretative, che hanno dei riflessi importanti non solo per quanto concerne i caratteri formali stratigrafici. Riconoscere le variazioni verticali e laterali descritte comporta infatti apprezzare differenze in spessori, geometrie, caratteri litologici e di porosità dei depositi recenti, e quindi dei principali caratteri applicativi degli stessi quali la permeabilità, i caratteri geotecnici, ecc.

3.1- Inquadramento geologico-strutturale

Nel complesso, nel sotto-capitolo 2.3 della Relazione Tecnica SOGIN vengono riportati concetti molto generali e sommari riguardanti l’inquadramento geologico-strutturale, che tendono ad escludere la pericolosità geologica dovuta all’attività di faglie nelle aree dei vari siti. In realtà, per ciascun sito, la deformazione tettonica andrebbe necessariamente discussa in un quadro deformativo più ampio (Fig. 1) (Gambini & Tozzi, 1996; Di Bucci et al., 2011) in cui rientra ciascuna area di studio (Tropeano et al., 1994; Beneduce et al., 2004). I sistemi di faglie ereditati dal Cretaceo (Festa, 2003) separano il dominio murgiano, a nord, da quello salentino, a sud (Gambini & Tozzi, 1996; Pieri et al., 1997; Di Bucci et al., 2011) (Fig. 1) e registrano, nel complesso, una cinematica con componente trascorrente destra (Gambini & Tozzi, 1996). In questo quadro deformativo fragile, rientrerebbero le faglie Plio-Quaternarie, ad alto angolo, che caratterizzano ad esempio il Graben di Viglione (Fig. 2) (Ciaranfi et al., 1983; Beneduce et al., 2004). All’attività di tali faglie va necessariamente attribuita la sismicità dell’area. Infatti, la sismicità dal 1985 ad oggi nelle Murge meridionali è caratterizzata da numerosi eventi sismici con epicentri concentrati proprio lungo il Graben di Viglione e nei pressi delle relative faglie bordiere (Del Gaudio et al., 2005; INGV, 2021), tutte prossime alle aree API individuate, tra cui diversi terremoti di magnitudo superiore a 3 (INGV, 2021).

Il meccanismo focale calcolato da Del Gaudio et al. (2005) per il terremoto del 22/06/1988 con epicentro a 6 km a SE di Altamura, profondità di 16 km e Md 3.6, indica un ipocentro su piano di faglia ad alto angolo, attivo con cinematica con componente trascorrente, orientato circa nord-sud oppure est-ovest, quest’ultimo geometricamente coerente con le faglie che caratterizzano principalmente il Graben di Viglione (Ciaranfi et al., 1983). Per quanto riguarda gli eventi sismici con magnitudo inferiore a 3, si può notare come gli epicentri siano addensati in dei cluster intorno ai centri abitati di Altamura, Matera e tra Matera e Laterza, spesso dovuti a delle vere e proprie crisi sismiche sviluppatesi in periodi relativamente brevi (INGV, 2021).

Va, infine, fatto notare che tutte le API sono distribuite in un’area compresa fra la struttura sismogenetica Rapolla – Spinazzola (ITCS089) a Nord e la struttura sismogenetica Baragiano Palagianello (ITCS005) a Sud, entrambe orientate circa est ovest (http://diss.rm.ingv.it/diss/). La struttura sismogenetica Baragiano-Palagianello, capace di terremoti in crosta continentale con Mw fino a 5.8 (DISS Working Group, 2018), è ubicata a meno di 5 km a sud del dell’area del sito TA\_MT-17.

Inoltre, la sismicità più frequente e più intensa nell’area del Graben di Viglione rispetto all’area di Palagianello (INGV, 2021) suggerisce un riposizionamento della suddetta struttura sismogenetica nella sua porzione più orientale. Infatti, a partire da Baragiano la prosecuzione verso est di una struttura sismogenetica comunque capace di terremoti fino a Mw 5.8 (DISS Working Group, 2018), potrebbe essere ragionevolmente rappresentata dal sistema di faglie dominate da orientazione est-ovest del Graben di Viglione (Ciaranfi et al., 1983) e, ancora, dalla North Salento Fault Zone (Di Bucci et al., 2011).

|  |
| --- |
|  |
| Figura 1: (a) Carta geologico-strutturale delle Murge meridionali e del Salento (da Di Bucci et al., 2011). (b) Schema strutturale in cui viene evidenziata la North Salento Fault Zone (da Gambini & Tozzi, 1996). |
|  |
| Figura 2: Carta geologica schematica di una porzione del Graben di Viglione e sezione geologica schematica (da Beneduce et al., 2004)*.* |

**4 - Inquadramento geomorfologico**

Dal punto di vista geomorfologico le aree individuate quali API ricadono tutte su paleosuperfici terrazzate poligeniche di età Pleistocenica e sospese sul livello di base costituito dai corsi d’acqua principali (Boenzi et al., 2008 e bibliografia ivi riportata). La loro origine è connessa all’interazione fra sollevamento tettonico regionale e variazioni eustatiche del livello del mare (Ferranti et al., 2006; Sauer et al., 2009 e bibliografia ivi riportata). I depositi che ne costituiscono la parte alta sono francamente di deposizione marina e marina costiera e la superficie su di essi modellata è quella legata alla regressione del mare e all’emersione di quelle aree. La morfodinamica continentale conseguente all’emersione protrattasi sino all’attuale, con alternanza di fasi climatiche importanti dal periglaciale al semitropicale, con livelli di base energetica molto differenti da quello attuale, ha modellato e conservato tracce di un esteso modellamento fluviale e di versante. Evidenze del modellamento fluviale sono state per lo più obliterate dai processi erosivi, ma restano evidenti a luoghi tratti di paleo-reticolo, oggi risultante in incisioni colmate, di lieve entità e a bassa pendenza. Queste sono evidenti solo utilizzando una topografia di dettaglio.

Il sollevamento regionale a cui è stata soggetta l’area ha permesso l’approfondimento del reticolo principale e la creazione di queste superfici terrazzate a basso rilievo o con morfologia apparentemente sub-pianeggiante. Esse sono per loro natura relitte e attualmente si evolvono per erosione regressiva prevalentemente bordiera; processo che ne sta velocemente riducendo l’areale nel tempo (Casciano et al. 2013).

A luoghi sono presenti tracce di morfologie da frana spesso superficiali e non sempre ben visibili a causa dell’erosione e del rimodellamento antropico effettuato ai fini agricoli (Piccarreta et al. 2006). Sono in alcuni casi presenti frane più importanti come nel caso dell’area del sito *ba5\_dngs00153* nei pressi di Gravina di Puglia su versanti che bordano l’altopiano. L’analisi della pendenza dei versanti evidenzia che proprio in questo caso, la parte Ovest dell’API risulta intersecare superfici con pendenze > 20%, segnate da un fitto reticolo idrografico interessate in parte da processi di dissesto diffuso e dalla presenza di geositi censiti come calanchi. L’analisi morfologica di tali superfici ne conferma l’attribuzione a forme di dissesto del suolo e sottosuolo in cui, data la natura dei terreni, l’erosione fluviale è accelerata e di tipo regressivo, ormai attestata sino nelle superfici sub-orizzontali (Piccarreta et al. 2008).

|  |
| --- |
|  |
| Figura 3: Esempio di area in frana a ridosso del sito *ba5\_dngs00153* |
|  |
| Figura 4: Valloni in fase avanzata di erosione regressiva a ridosso del sito *ba5\_dngs00153.* |

Le dinamiche erosive, tra l’altro, si sono accentuate negli ultimi anni a causa del cambiamento climatico in atto che ha visto l’aumento degli eventi estremi (Piccarreta et al. 2013). Tale condizione idrologica ha determinato un aumento dell’erosività delle piogge in queste aree (Capolongo et al 2008).

La consultazione della Carta Idrogeomorfologica allegata al PAI evidenzia che le API individuate nei comuni di Gravina, Altamura e Laterza ricadono in “Alveo fluviale in modellamento attivo ed aree golenali” (art. 6 delle NTA del PAI) ed all’interno delle “fasce di pertinenza fluviale” (art. 10 delle NTA del PAI). La presenza di tali reticoli trova conferma anche nella carta topografica IGM 1:25.000. L’individuazione di tali evidenze, pur rilevando che i reticoli presenti all’interno delle 5 API pugliesi sono classificati come “reticoli minori”, impone di considerare per ogni valutazione il D.G.R. 8 ottobre 2020, n. 1675 “*Individuazione dell’Alveo fluviale in modellamento attivo come definito dall’art. 36 delle Norme Tecniche di Attuazione del Piano Assetto Idrogeologico Puglia. Indirizzi applicativi e chiarimenti*”, in particolare ai punti 2.b e 4.

Spesso sono riscontrabili ristagni d’acqua in superficie a seguito di normali piogge. Inoltre nel caso di eventi di particolare intensità, la micro-topografia gioca un ruolo importante nella formazione di aree a drenaggio chiuso (bacini endoreici), con conseguenti allagamenti diffusi, come tipico in tutta la zona murgiana (Lopez et al. 2012; Alfonso et al. 2013). Inoltre, la propensione all’erosione superficiale dei territori in esame è indubbiamente aumentata a seguito delle pratiche di “spietramento” eseguite negli anni 80 e 90 (Giglio et al. 1996; Parise 2009), che hanno determinato la distruzione dell’epicarso, variando così la capacità dei territori di assorbire le acque meteoriche e ricaricare i sottostanti acquiferi, e inducendo fenomeni di scorrimento superficiale *(runoff)* ed erosione anche su pendenze estremamente basse. Tale variazione di uso del suolo, oltre a far perdere l’originaria naturalità a vasti territori apuli e lucani, è all’origine dei fenomeni di dissesto idrogeologico e delle frane che si osservano ad ogni pioggia lungo le reti stradali che attraversano le aree in questione.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 5: Ristagni d’acqua presenti nel sito *ta\_mt17\_dngs00163.* |

Nelle aree *ta\_mt18\_dngs00164, ta\_mt17\_dngs00163, ba\_mt5\_dngs00162 e ba\_mt4\_dngs00161* si rileva una diffusa presenza di blocchi in superficie di calcarenite, frantumati dall’attività agricola a conferma di una copertura di suolo piuttosto esigua e della bassa profondità del substrato calcarenitico. Quest’ultimo, tra l’altro, è di frequente interessato da processi di dissoluzione carsica (cfr. Cap. 6 della presente relazione).

|  |
| --- |
|  |
| Figura 6: Diffusi clasti di calcarenite in superficie dovuti ad aratura e alla presenza di un substrato poco profondo nel sito *ba\_mt5\_dngs00162.* |

**5 - Inquadramento sismologico e potenziale di fagliazione**

Nella relazione tecnica della SOGIN manca una sezione che riporti un’analisi circostanziata della sismicità dell’area sulla base dei dati rivenienti dai cataloghi storici e dal monitoraggio strumentale, e che tenga conto della letteratura scientifica recente in materia (vedi Del  
Gaudio et al., 2005), nonché delle indicazioni derivate dagli studi di Microzonazione Sismica (Cosentino et al., 2013 e riferimenti in esso riportati). Il range di valori indicati per il calcolo della PGA con periodo di ritorno di 2475 anni è corretto, fermo restando la necessità di approfondimenti in relazione alle particolari caratteristiche progettuali della struttura, come da commento riportato in ogni singola scheda (nelle quali si riporta per ciascun sito il valore stimato di PGA con tempo di ritorno di 2475 anni per le coordinate della posizione centrale del sito e dati di sismicità storico-strumentale disponibili per l’area attorno al sito proposto).

Per produrre un significativo inquadramento sismologico delle aree API, da considerarsi nel loro insieme in assenza di un’analisi di microzonazione sismica che permetta di valutare la risposta sito-specfica, è opportuno fare delle considerazioni generali sulla sismicità delle aree contigue. In particolare, secondo la bibliografia disponibile, “…*a sud dell’Ofanto i dati di sismicità storica sono piuttosto poveri. Ciò riflette il fatto che il potenziale sismogenetico di quest’area è sicuramente inferiore a quello delle regioni contigue (sia la catena appenninica che la Puglia settentrionale). Per quanto riguarda la Puglia centrale, un solo evento sismico è documentato aver causato un imprecisato numero di vittime, e cioè il terremoto dell’11 maggio 1560, che colpì particolarmente gli abitati di Barletta e Bisceglie con effetti stimati dell’VIII grado MCS. Tuttavia altri eventi che hanno almeno prodotto danneggiamenti sono riportati da fonti documentali ed è possibile che finora sia stato sottostimato il potenziale sismogenetico dell’area murgiana. In un recente studio (Del Gaudio et al., 2004), basato sia su dati storici che sulle osservazioni strumentali raccolte in poco meno di venti anni dall’Osservatorio Sismologico dell’Università di Bari* (Figura 7), *si è ipotizzato che strutture sismogenetiche minori, presenti all’interno dell’area murgiana, possono essere occasionalmente riattivate, talvolta sotto lo stimolo della ridistribuzione degli sforzi generata da eventi sismici importanti nelle regioni contigue. Tracce di questa sismicità “intramurgiana” si possono cogliere anche nei dati di sismicità storica se si supera il pregiudizio che ha indotto, talvolta, ad attribuire i fenomeni sismici descritti in letteratura a risentimenti di eventi con epicentro in aree vicine, pregiudizio favorito anche dal fatto che i centri abitati, cioè i punti di raccolta dell’informazione storica sui terremoti, hanno una distribuzione periferica rispetto al corpo dell’altopiano murgiano”(Del Gaudio et al., 2004; Del Gaudio, 2007).*

|  |
| --- |
|  |
| Figura 7**:** Mappa degli eventi sismici localizzati dal 1985 al 2001 nell’area della puglia centrale, sulla base dei dati della rete di stazioni dell’Osservatorio Sismologico dell’Università di Bari. Si tratta di eventi la cui magnitudo ha raggiunto al massimo un valore di 3.4. I triangoli marcano le stazioni della rete OSUB, i quadratini quelle della rete sismica dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). |

Un secondo aspetto da tenere in considerazione sulla sismicità delle aree in oggetto sono le strutture sismogenetiche catalogate nella Zonazione sismogenetica, denominata ZS9 e basata sulle valutazioni del potenziale sismogenetico acquisite negli ultimi anni.

La ZS9 è corredata, per ogni ZS, da un meccanismo focale prevalente e da un valore di profondità, determinati nella prospettiva di utilizzo con relazioni di attenuazioni. Dalla consultazione della ZS9, risulta che il sito di Laterza è interessato dalla “ZS-926”, caratterizzata da un meccanismo di fagliazione prevalente di tipo trascorrente e profondità ipocentrali attese comprese tra 12 e 20 km (Figura 8).

|  |
| --- |
|  |
| Figura 8**:** Zonazione sismogenetica ZS9 con distinzione del meccanismo di fagliazione prevalente (a sinistra) e per profondità media (a destra).(“*Rapporto conclusivo del Gruppo di lavoro per la redazione della Mappa di pericolosità sismica*”, INGV. Aprile 2004). Il cerchio rosso individua l’area di studio prossima alla “*ZS-926*”. |

Per quanto attiene all’attuale Modello di Pericolosità Sismica “MPS04-S1”, aggiornato al 2004, si rileva che lo stesso non contiene gli ultimi eventi sismici significativi delle aree di interesse che potrebbero modificare l’attuale pericolosità sismica di base. A titolo rappresentativo si evidenzia, infatti, che in data 09.11.2018, il territorio di Altamura è stato epicentro di un sisma di Magnitudo 3,5 con profondità ipocentrale di 37 km (Figura 9).

Dal sito EUCENTRE (Fondazione di diritto privato senza scopo di lucro che persegue una missione di ricerca, formazione e erogazione di servizi nel settore dell’ingegneria sismica), inoltre, è possibile apprendere che è in atto la compilazione del nuovo Modello di pericolosità sismica “MPS19”, basata su approcci più aggiornati.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 9**:** Stima dei parametri di scuotimento del suolo relativa all’evento sismico del 09.11.2018 con Epicentro ad Altamura <http://terremoti.ingv.it/event/21077981> |

In ultima analisi, è stato considerato il***Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 “CPTI2015”***, realizzato dall’INGV e reso pubblico alla seguente pagina web: <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>. Esso è consultabile per località e contiene dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014.

Dalla sua consultazione si rileva che il comune di Altamura ha risentito di eventi sismici caratterizzati da una intensità macrosismica fino a 6 della scala MCS, mentre i comuni di Gravina in Puglia e di Laterza hanno risentito di eventi sismici caratterizzati da una intensità macrosismica fino a 7 della scala MCS, come riportato per ogni singola area (cfr. singole schede delle aree di studio).

La letteratura a cui fa riferimento il Catalogo ITHACA (ITaly HAzard from CApable faults) per la definizione di **faglia capace** è rappresentata soprattutto dalle **guide tecniche IAEA (International Atomic Energy Agency), redatte per la caratterizzazione di siti destinati ad ospitare impianti ad alto rischio (ad es. centrali nucleari, depositi di scorie nucleari),** che forniscono uno schema metodologico applicabile al siting di qualunque struttura ingegneristica, dalle dighe alle *lifelines* (acquedotti, metanodotti, strade, gallerie, etc.). I due principali documenti di riferimento sono:

* IAEA SSG-9 (*Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. Specific Safety Guide. IAEA Safety Standards. Series SSG-9, 2010*)

(<https://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1448_web.pdf>).

* IAEA TECDOC 1767*(The Contribution of Palaeoseismology to Seismic Hazard Assessment in Site Evaluation for Nuclear Installations, IAEA TECDOC 1767, 2015)*

*(*[*https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767\_web.pdf*](https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1767_web.pdf)*)*.

ITHACA adotta la seguente definizione di **faglia capace**, che tiene conto delle definizioni riportate sopra e del contesto geodinamico italiano.

* *Una faglia è definita capace* *quando ritenuta in grado di produrre, entro un intervallo di tempo di interesse per la società, una deformazione/dislocazione della superficie del terreno, e/o in prossimità di essa.*
* La deformazione attesa può essere sia una dislocazione ben definita lungo un piano di rottura (*fault displacement/offset*) che una deformazione distribuita (*warping*).
* La riattivazione attesa viene definita in funzione del regime tettonico in atto, rispetto al quale deve essere compatibile. Elementi secondari possono però mostrare rotture “anomale”, ad esempio movimenti compressivi in un ambiente distensivo, a causa di geometrie locali delle strutture riattivate.

Come visibile dallo stralcio riportato in Figura 10, non si segnalano elementi rilevanti per le aree in esame. Fonte <http://sgi2.isprambiente.it/ithacaweb/viewer/>

|  |
| --- |
|  |
| Figura 10: Confronto con catalogo ITHACA. |

Consultando il Database delle Sorgenti Sismogenetiche Individuali (DISS) dell’INGV si evidenzia la presenza della Faglia Sismogenetica ITCS005 Baragiano-Palagianello, identificata come “Composite Seismogenic Sources” (Sorgente sismo genetica composita (<http://diss.rm.ingv.it/dissnet/CadmoDriver?_action_do_single=1&_state=find&_token=NULLNULLNULLNULL&_tabber=1&_page=pSASources_d&IDSource=ITCS005>). La sorgente sismogenetica ITCS005 Baragiano-Palagianello, risulta essere collocata rispetto ai siti pugliesi alle distanze riportate in Figura 11. Alla luce dell’analisi svolta risulta che il sito API con codice TA\_MT-17, ricadente nel territorio di Laterza (TA), risulta il più vicino alla sorgente sismogenetica sopra citata.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  |  | | --- | --- | --- | --- | | **ID Sito** | **Comune** | **Provincia** | **Distanza (km)** | | **BA-5** | Gravina in Puglia | BA | 9,5 | | **BA\_MT-4** | Altamura | BA | 11 (\*) | | **BA\_MT-5** | Altamura | BA | 11 | | **TA\_MT-17** | Laterza | TA | 3,5 | | **TA\_MT-18** | Laterza | TA | 6 | | (\*) Trattandosi di sito interregionale, la distanza è riferita al Comune ricadente nella Regione Puglia. | | | | |  | | | | |
|  |
| Figura 11: Ubicazione della sorgente sismogenetica ITCS005 Baragiano-Palagianello rispetto ai 5 siti ricadenti nella Regione Puglia |

La bibliografia recente di carattere regionale (Pieri et al. 1997; Festa 2003), relativa all'area delle Murge (Figure 12 e 13), indica che nel sito in esame si riscontra esclusivamente la presenza di strutture tettoniche minori, la cui analisi strutturale evidenzia attività almeno fino al tardo Cretaceo (Festa 2003).

Ai fini dello studio in esame sarebbe stato utile ottenere informazioni di maggior dettaglio, rispetto a quelle derivanti dal catalogo ITHACA e dal database DISS, comprendendo l'andamento degli allineamenti strutturali e delle aree ad intesa fratturazione che, se beanti, possono esercitare una significativa azione di richiamo delle acque di drenaggio che a loro volta possono determinare un incremento della dissoluzione delle litologie carbonatiche con conseguente innesco di fenomeni carsici, incidendo sulla vulnerabilità degli acquiferi sottostanti (a tal proposito, cfr. Cap 6 di questa relazione).

|  |
| --- |
|  |
| Figura 12: Carta geologica delle Murge (Pieri et al., 1997). |
|  |
|  |
| Figura 13**:** Carta strutturale dell’area delle Murge (Festa, 2003). I differenti stili delle frecce sono utilizzati per distinguere the NDZ (Northern Deformation Zone), the CDZ (Central Deformation Zone) and the SDZ (Southern Deformation Zone). |

**6 - Inquadramento idrogeologico**

La descrizione dei caratteri idrogeologici di una regione, in questo caso il territorio corrispondente al confine apulo-lucano, non può limitarsi alla individuazione e alla descrizione dei rapporti fra le formazioni di copertura. Nel caso particolare delle cinque aree API occorre sottolineare che il loro inquadramento geologico non può prescindere dal riconoscimento che esse, tutte, sono poste in un’area di transizione fra il dominio di avanfossa e quello di avampaese, nella quale il carattere idrogeologico principale è rappresentato dalla presenza della falda acquifera carsica contenuta nei Calcari del Mesozoico (Cotecchia 2014, e bibliografia ivi riportata). Trattandosi di depositi fratturati e intensamente carsificati, in cui i caratteri idrogeologici risultano profondamente diversi da quelli dei depositi di copertura, l’analisi idrogeologica deve essere considerata in una tridimensionalità estesa sino alle unità carbonatiche mesozoiche. Tanto in considerazione del fatto che è ampiamente dimostrata una stretta relazione di alimentazione delle risorgive carsiche della piana ad ovest di Taranto dal bacino idrogeologico delle Murge Bradaniche. Infatti, le cinque API sono state individuate in prossimità del corpo idrico identificato come “Murgia bradanica”, all’interno dell’acquifero carsico murgiano. Il corpo idrico della Murgia Bradanica è compreso tra lo spartiacque idrogeologico, che delimita il settore adriatico da quello bradanico, e il limite impermeabile rappresentato dalle argille plio-pleistoceniche dell’Avanfossa, con cui esso viene in contatto tettonico. Non essendo in contatto con l’acqua di mare e non essendo interessato da rilevanti fenomeni di intrusione marina, questo corpo idrico presenta acque relativamente dolci. Si tratta di un corpo idrico utilizzato anche a scopo potabile, aspetto di grande rilevanza se si considera che le acque sotterranee costituiscono la più importante risorsa idropotabile disponibile in Puglia, una regione caratterizzata dalla più atavica e ridotta disponibilità idrica d’Italia che rende l’acqua una risorsa naturale preziosa (Cotecchia 2014), quasi al pari delle altre risorse del sottosuolo come gas, petrolio o risorse minerarie menzionate tra i criteri di esclusione.

Si deve tenere conto, inoltre, che la parte più interna del territorio delle Murge costituisce la zona di prevalente ricarica dell’acquifero profondo e che l’acquifero carsico murgiano è caratterizzato da una porosità per fratturazione e per carsismo che conferisce al sistema una spiccata anisotropia, motivo per cui la permeabilità può essere localmente molto variabile sia in senso verticale che orizzontale.

Le API ricadono all’interno di un’importante zona di alimentazione dell’acquifero carbonatico profondo appartenente al Bacino idrogeologico di alimentazione del Fiume Tara e probabilmente anche dei fiumi Patemisco e Lato.

Come su richiamato a proposito dei sistemi di fagliazione (cfr. Cap. 5 di questa relazione), in realtà ai fini dello studio in esame sarebbe stato utile ottenere informazioni di maggior dettaglio, comprendendo l'andamento degli allineamenti strutturali e delle aree ad intesa fratturazione che, se beanti, possono esercitare una significativa azione di richiamo delle acque di drenaggio che a loro volta possono determinare un incremento della dissoluzione delle litologie carbonatiche con conseguente innesco di fenomeni carsici, incidendo sulla vulnerabilità degli acquiferi sottostanti.

Infatti, il sistema di discontinuità influenza direttamente il defluire delle acque e lo stesso drenaggio sotterraneo nelle acque è fortemente condizionato dalla loro presenza. Le faglie (anche quelle secondarie, non presenti nelle fonti di dati citate da Sogin), insieme ad altre tipologie di discontinuità, costituiscono vie preferenziali di scorrimento delle acque, determinando un significativo incremento del rischio di contaminazione.

Risulta pertanto necessario procedere ad approfondimenti specifici sui sistemi di fagliazione secondari al fine di evitare localizzazioni in cui la presenza di discontinuità e di forme carsiche possa mettere in rapida connessione la superficie con le acque sotterranee: condizione particolarmente critica in Puglia.

Come indicato nelle Linee guida ENEA n. 26, le caratteristiche idrogeologiche del sito devono essere tali da minimizzare la possibilità di lisciviazione dei rifiuti da parte delle acque sotterranee e del ritorno delle acque eventualmente contaminate in superficie o comunque nella biosfera e tali aspetti devono essere opportunamente monitorati al fine di poter intervenire con la massima tempestività in caso di rilasci accidentali.

|  |
| --- |
|  |
| Figura 14**:** Bacino idrogeologico del Fiume Tara (Maggiore e Pagliarulo, 2004). |

In aggiunta a quanto su affermato in riferimento alle falde carsiche, non meno importante è la presenza di una falda superficiale ospitata in funzione delle precipitazioni, oggi in evidente discontinuità quantitativa con il passato, nei terreni delle coperture. La presenza di numerose sorgenti, segnalata dalle stesse relazioni che hanno portato alla redazione della CNAPI, indica che falde, numerose e variamente estese nello spazio e nel tempo, possono essere rinvenute nell’ambito dei vari corpi sedimentari. Di queste deve essere definita ogni possibile interazione con le strutture di fondazione delle possibili discariche in termini di:

1. distanza dei livelli piezometrici dal piano di campagna e dalle strutture di fondazione del deposito e loro fluttuazioni periodiche, stagionali e non stagionali;
2. distanza da sorgenti e da altri punti di captazione idrica;
3. caratteristiche di conducibilità idraulica degli acquiferi, comprendenti la quota dei tetti e dei letti degli acquiferi e degli acquicludi, la loro estensione laterale e i loro coefficienti di permeabilità e di immagazzinamento;
4. gradiente idraulico medio dell’area e velocità del flusso sotterraneo;
5. valore dell’infiltrazione efficace;
6. estensione delle superfici di ricarica degli acquiferi e loro distanza dall’area in valutazione;
7. utilizzazione delle acque per usi legati all’alimentazione umana diretta o indiretta.

Le aree in esame sono ripetutamente state interessate nel corso degli ultimi decenni da episodi di allagamenti, alluvionamenti, trasporto solido e formazione di ristagni temporanei, in occasione dei più significativi eventi meteo-climatici, date le caratteristiche che questi ultimi stanno sempre più assumendo, sotto forma di piogge estremamente concentrate nel tempo e di elevata intensità. Eventi come quelli avvenuti nel settembre 2003 nella intera fascia ionica Tarantina, e ancora nel 2004 e nel 2011, sino ai tragici eventi dell’ottobre e dicembre 2013 tra Basilicata e Puglia (con enormi danni, sino a registrare vittime, nella fascia di Ginosa e Laterza; Parise 2017, 2020) evidenziano chiaramente come non sia possibile escludere la possibilità di problematiche di tipo idrogeologico in tali contesti. Questi eventi non si limitano alle aree a maggiore pendenza o alle gravine, ma riguardano anche le porzioni sommitali e pianeggianti, che contribuiscono ad alimentare con carico solido i flussi idrici in movimento (Cfr Cap. 3 di questa relazione).

Oltre a tali fenomeni, vanno citate altre emergenze, sempre connesse alla idrogeologia oltre che ad aspetti di natura geologico-strutturale, riconducibili a vulcanismo secondario (Dimitrov 2002; Kopf 2002). Si tratta di emergenze che indicano dinamiche idrologiche nei corpi sedimentari ed in particolare nelle Argille subappennine, in relazione alle caratteristiche strutturali e, quindi, alla presenza di discontinuità nelle stesse. Il fenomeno, consistente in vulcanelli di fango, non è legato ad attività vulcanica *s.s.*, ma viene definito "vulcanesimo sedimentario" a causa delle analogie morfologiche tra gli edifici sedimentari e i vulcani veri e propri. La genesi dei vulcani di fango è infatti in genere attribuita alla risalita di fluidi e gas sotto pressione attraverso discontinuità strutturali. Oggi si ritiene che il vulcanesimo sedimentario sia correlato a numerose concause, tra le quali spiccano elevate pressioni generate da carichi litostatici e stress tettonici, presenza di strutture diapiriche, di spesse sequenze argillose e di rilevanti discontinuità (faglie) lungo le quali i fluidi possono risalire verso l'esterno.

Un ultimo aspetto che va sottolineato in un ambito in cui l’assetto lito-strutturale (caratteri litologici e strutturali) è in stretta relazione con la dinamica dei flussi di acqua e la dinamica morfologica è quello della presenza di *sinkhole* (Delle Rose et al. 2004; Parise 2012; Fiore & Parise 2013). La distanza verticale fra la superficie topografica e la presunta posizione del tetto delle formazioni carbonatiche induce ad escludere la presenza di tali processi. In effetti, non si considera la presenza di numerose cavità carsiche nella Calcarenite di Gravina, così come in altre formazioni calcarenitiche della stessa età (si veda a tal proposito il Catasto Regionale delle Grotte Naturali della Regione Puglia, http://www.catasto.fspuglia.it ). Inoltre, esiste un’ampia letteratura sul tema che evidenzia inconfutabilmente lo sviluppo di forme carsiche, anche di dimensioni ragguardevoli, nei depositi calcarenitici della Puglia (De Waele et al. 2011), o in analoghi materiali in altre zone del mondo.

Va inoltre evidenziato che il diffuso carsismo nei Calcari del Cretaceo (Sauro 1999; Parise 2011, e bibliografia ivi presente) è completamente ignorato in tutte le relazioni, anche se tali depositi affiorano pochi km all’esterno di alcune zone identificate, e ne costituiscono il substrato profondo.

**7 - Cenni geologico-tecnici**

Nella descrizione dei caratteri geologico-tecnici delle formazioni presenti nell’area di studio si forniscono dati relativi a valori medi di peso di unità di volume e di porosità, derivanti da un unico riferimento riportato in bibliografia (Radina, 1973). In uno scenario in cui le Argille subappennine sarebbero destinate a costituire il substrato dell'eventuale sito di stoccaggio di rifiuti radioattivi, occorre evidenziare che questi depositi argillosi, nella parte alta della successione stratigrafica, potrebbero assumere i caratteri geotecnici di terreni "normal-consolidati" (i.e., il carico litostatico insistente su di essi è rappresentato esclusivamente dai depositi regressivi di chiusura del ciclo bradanico).

Inoltre, specialmente per quanto riguarda le formazioni calcarenitiche, la letteratura geologica ha evidenziato da tempo la presenza di più facies, caratterizzate da proprietà fisico-meccaniche significativamente diverse da facies a facies, e che, tra l’altro, sono soggette a variazioni non trascurabili tra condizioni asciutte o sature (Lollino & Andriani 2017; Festa et al. 2018; Andriani et al. 2019). Esiste una numerosa letteratura in merito, completamente trascurata nelle relazioni. Fornire valori medi in formazioni così differenti al loro interno dal punto di vista geologico-tecnico non ha senso, e potrebbe potenzialmente portare a errate valutazioni e calcoli, con relative conseguenze su opere ingegneristiche realizzate o poggianti su tali materiali geologici

**8 - Monitoraggio ambientale**

La documentazione progettuale riserva attenzione agli aspetti riferibili ai seguenti sistemi di monitoraggio:

* sistema di rivelazione allarmi incendi;
* monitoraggio e controllo dei sistemi package;
* impianto di monitoraggio radiologico;
* monitoraggio sistemi elettrici.

Di contro non si affronta opportunamente il tema del monitoraggio ambientale.

La progettazione dei sistemi e delle attività di monitoraggio ambientale per un deposito di rifiuti radioattivi costituiscono una materia essenziale, oltre che complessa, **che deve essere opportunamente impostata a partire dalle fasi di *siting* e progettazione del deposito stesso**. La documentazione progettuale in consultazione non contiene sufficienti elementi per valutare le scelte operate con riferimento al tipo di parametri da sottoporre a controllo, le tecniche di campionamento e la relativa periodicità. Tali scelte sono intimamente connesse alla tipologia di rifiuti da smaltire (che dovrebbe essere abbastanza nota) ed alle condizioni ambientali del sito che, dalla documentazione progettuale appaiono descritte molto parzialmente.

Il programma di monitoraggio comprendente i sistemi e le attività di campionamento e di analisi deve essere opportunamente definito in fase progettuale, sia per assicurare un allineamento alla normativa vigente che per rendere più accettabile la presenza del deposito da parte della popolazione. Il programma di monitoraggio è utile consideri tutti i nuclidi presumibilmente presenti nei rifiuti rivolgendo particolare attenzione a quelli ritenuti più mobili. A titolo di esempio è opportuno considerare anche i gas nobili che, pur disponendo, di una letteratura meno ampia, sono caratterizzati da elevata mobilità.

Il programma di monitoraggio è utile sia commisurato al potenziale rischio associato al deposito, che per essere in grado di segnalare tempestivamente eventuali inadeguatezze o deterioramenti nella funzione di isolamento radiologico assicurata dalle strutture del deposito e dalle quattro barriere di protezione descritte, per garantire la tutela e la protezione dei lavoratori, della popolazione e dell’ambiente. La definizione del programma di monitoraggio, sia spaziale che temporale, deve idealmente essere basata sulle assunzioni derivanti dall’applicazione di modelli e delle risultanze delle analisi di sicurezza, che offrono informazioni preziose per la localizzazione delle postazioni di misurazione e delle frequenze di campionamento e misurazione con riferimento alle diverse matrici ambientali.

L’avvio delle fasi di monitoraggio prima della realizzazione dell’eventuale opera consente di controllare le dinamiche evolutive che possono coinvolgere le singole matrici ambientali, anche eventualmente ascrivibili a cause esterne alla realizzazione della stessa opera.

Come accennato nella copiosa documentazione progettuale prodotta, i rifiuti radioattivi da allocare nel Deposito Nazionale saranno *estremamente eterogenei* ed appartenenti a differenti categorie per cui potranno derivare dagli *impieghi medici e di ricerca scientifica, da particolari cicli di produzione degli impianti nucleari, combustibile irraggiato, oltre che rifiuti costituiti dai residui del riprocessamento del combustibile effettuato all’estero e dal combustibile non riprocessabile*, etc. Alla luce di tale condizione è utile estendere il monitoraggio ai 62 radionuclidi normalmente considerati.

Infine il tema dell’informazione sul monitoraggio, ovvero di come devono essere resi disponibili al pubblico i dati raccolti e la loro interpretazione, non è stato sufficientemente sviluppato. Si tratta di una carenza non banale perché uno dei presupposti fondamentali dell’accettabilità sociale di un deposito è la disponibilità continua ed illimitata di tutte le informazioni raccolte sulla sicurezza e la protezione sanitaria ed ambientale. Il problema è che non è sufficiente la messa a disposizione dei dati raccolti, ma occorre anche dimostrare la completezza e la qualità del set di dati acquisiti. E ancora, non è sufficiente che completezza e qualità siano adeguati in relazione allo stato dell’arte attuale, ma occorre che la tipologia del monitoraggio tenga conto della possibile evoluzione delle conoscenze nel tempo.

8.1 - Monitoraggio delle acque

Il monitoraggio delle acque superficiali e sotterranee riveste centrale rilevanza dell’ambito della realizzazione di un’opera in ambito nucleare, in quanto **le acque rappresentano il principale sistema di trasporto di radionuclidi** eventualmente fuoriusciti da un deposito di rifiuti radioattivi. In particolare i percorsi che possono interessare le acque superficiali o sotterranee si riferiscono alla diffusione delle fasi liquide e gassose anche attraverso le barriere ingegneristiche o la lisciviazione provocata da eventuali infiltrazioni di acqua nei locali del deposito, che asportano i radionuclidi veicolandoli poi verso l’ambiente esterno. Per tale motivazione la caratterizzazione del sistema idrografico ed idrogeologico assume particolare rilevanza e necessita di una precisa definizione al fine di ricostruire con dettaglio gli aspetti quali-quantitativi della dinamica idrica. La conoscenza del sistema idrogeologico è la base del corretto monitoraggio delle acque sotterranee, che deve essere gestito in funzione degli acquiferi identificati nella fase di caratterizzazione.

Dalla letteratura scientifica emerge chiaramente come il monitoraggio delle acque sotterranee di un contesto geologico carsico “*si complica notevolmente e che comunque dovrebbe già escludersi in fase di siting*” (Bartolomei et al., 2011). Inoltre in un contesto geologico rappresentato da formazioni rocciose con permeabilità secondaria, la conoscenza del contesto idrogeologico presuppone un dettagliato studio strutturale moto approfondito per identificare il complesso delle discontinuità presenti e quindi il sistema intercomunicante delle vie di migrazione di eventuali inquinanti.

In ogni caso risulta importante monitorare anche la presenza di **gas disciolti**, che possono fornire utili indicazioni sul contesto geochimico delle acque sotterranee e sui potenziali redox, che potrebbero influenzare la stabilità e la durabilità dei materiali costituenti le barriere ingegneristiche.

Le attività di monitoraggio nelle acque devono essere rivolte **all’attività totale α, β, γ e dei neutroni liberi** concentrandosi anche sul monitoraggio dei radionuclidi potenzialmente presenti nel rifiuto. In aggiunta dalla copiosa documentazione progettuale non emergono sufficienti elementi che consentono di comprendere le modalità di monitoraggio delle acque nelle vicinanze del Deposito nazionale di rifiuti radioattivi sia con riferimento al Trizio, e Radon ma anche per i radionuclidi la cui potenziale mobilità impone un'analisi maggiormente approfondita e che comprendono ad esempio 137Cs, 90Sr, 63Ni, 129I, 36Cl, 79Se ed in alcuni casi 14C e 99Tc, per la loro grande mobilità. Come noto alcuni dei citati nuclidi *sono in grado di migrare anche attraverso importanti banchi di argilla a ridottissima permeabilità (sino a 10−12 m/s) ed entrare nella biosfera durante la loro vita*.

Tali aspetti appaiono decisamente poco descritti nella documentazione progettuale e nulla si dice con riferimento al **Trizio** che è in grado di migrare anche attraverso le barriere integre, come ad esempio la matrice cementizia presente nei contenitori metallici con cui sono realizzate le matrici di condizionamento o il calcestruzzo con il quale sono realizzate le barriere di contenimento e le celle.

Nell’ambito degli effetti delle eventuali acque triziate nell’ambiente sarà utile considerare anche gli impatti ecologici, poiché il trizio è in grado di sostituire l'idrogeno ed entrare nei cicli biogeochimici.

In relazione al monitoraggio delle acque ed ai materiali, una copiosa bibliografia internazionale culminata con i risultati di un recentissimo studio pubblicato sulla rivista *Nature Materials* (Guo et al. 2020) mette in discussione gli attuali standard di sicurezza, tarato sulla corrosione dei singoli materiali ma non sulla loro interazione. Attualmente buona parte delle nazioni industrializzate si sta dotando di **depositi di rifiuti radioattivi in strati geologici profondi** in cui confinare i rifiuti ad alta attività. Tale soluzione, considerata la migliore allo stato attuale dell’arte, prevede l’individuazione di siti geologi particolarmente stabili che possano schermare la radioattività per milioni di anni tramite barriere passive. Per questa ragione, le scorie devono essere processate, annegate in una matrice inerte come vetro o ceramica e infine sigillate in fusti di acciaio inossidabile prima dello stoccaggio.

Le più recenti evidenze scientifiche mostrano come l’elevato tasso di corrosione tra la superficie interna dei fusti e quella dei materiali ad alta attività possa compromettere la tenuta delle barriere accelerando la corrosione dell’acciaio, del vetro e della ceramica e favorendo la liberazione di materiale radioattivo nell’ambiente.

In aggiunta nel progetto non si evidenzia la pratica della **vetrificazione** che da qualche tempo è considerata la migliore soluzione per immobilizzare i radionuclidi come materiale durevole (Donald 2010). Questa tecnologia è stata progressivamente implementata nell'ultimo mezzo secolo, maturando e diventando industrialmente sempre più solida ed affidabile. Oggi gli Stati Uniti, la Francia, il Giappone, la Slovacchia, il Regno Unito, la Russia, l'India e la Corea del Sud ed ultimamente la Germania, dispongono di impianti di vetrificazione in funzione per il trattamento dei rifiuti di lunga durata ad alta attività (HLW) o intermedi (ILW). Ad eccezione del vetro allumino-fosfato in Russia, il **vetro borosilicato** si è universalmente più diffuso grazie alle sue proprietà che consentono la produzione di vetro su scala industriale. Il vetro dei rifiuti nucleari risulta dalla fusione di rifiuti e additivi.

**9 – Bibliografia**

**Bibliografia generale**

Alfonso, G., Belmonte, G., Frassanito, A., 2012. Relazione Finale del Progetto: Stagni temporanei del Parco Nazionale dell’Alta Murgia: peculiarità biologiche. Di.S.Te.B.A., Università del Salento - Ente Parco Nazionale dell’Alta Murgia 108.

Alfonso, G., Frassanito, A., Beccarisi, L., Belmonte, G., 2013. Relazione Finale del Progetto: Stagni temporanei del Parco Nazionale dell’Alta Murgia: peculiarità biologiche. Report 2013. Di.S.Te.B.A., Università del Salento, Ente Parco Nazionale dell’Alta Murgia 149.

Andriani, G., Walsh, N., 2003. Fabric, porosity and water permeability of calcarenites from Apulia (SE Italy) used as building and ornamental stone. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62, 77–84. doi:10.1007/s10064-002-0174-1

Andriani, G.F., Walsh, N., 2002. Physical properties and textural parameters of calcarenitic rocks: qualitative and quantitative evaluations. Engineering Geology 67, 5–15. doi:10.1016/S0013-7952(02)00106-0

Andriani, G.F., Walsh, N., 2007. The effects of wetting and drying, and marine salt crystallization on calcarenite rocks used as building material in historic monuments. Geological Society, London, Special Publications 271, 179–188. doi:10.1144/GSL.SP.2007.271.01.18

Andriani, G.F., Walsh, N., 2010. Petrophysical and mechanical properties of soft and porous building rocks used in Apulian monuments (south Italy). Geological Society, London, Special Publications 333, 129–141. doi:10.1144/SP333.13

Andriani, G.F., Lollino, P., Perrotti, M., Fazio, N.L., 2019. Incidence of Saturation and Fabric on the Physical and Mechanical Behaviour of Soft Carbonate Rocks. Presented at the 53rd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, OnePetro.

Azzaroli, A., Perno, U., Radina, B., 1968a. Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, Foglio 188 Gravina di Puglia. Serv. Geol. d’It. 57.

Azzaroli, A., Radina, B., Ricchetti, G., Valduga, A., 1968b. Note illustrative della Carta Geologica d’Italia, alla scala 1:100.000, Foglio 189 Altamura. Serv. Geol. d’It. 22.

Baldassarre, G., Quarto, R., Schiavone, D., 1983. Indagini geologiche e geofisiche per lo sviluppo della sorgente Tara (prov. di Taranto). Geologia Applicata e Idrogeologia 18, 18.

Balduzzi, A., Casnedi, R., Crescenti, U., Tonna, M., 1982. Il plio-pleistocene del sottosuolo del bacino pugliese (Avanfossa Appenninica). Geologica Romana 21, 1–28.

Bartolomei, P., Levizzari, R., Lorenzelli, R., Nava, E., Rizzo, A., Salvi, S., Taglioni, A., Troiani, F., 2011. Approccio metodologico al monitoraggio dei depositi di rifiuti radioattivi. ENEA, Ministero dello sviluppo economico 40.

Beneduce, P., Festa, V., Francioso, R., Schiattarella, M., Tropeano, M., 2004. Conflicting drainage patterns in the Matera Horst Area, southern Italy. Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C, 3-D motions of the Earth surface: from measurements to physical modelling 29, 717–724. doi:10.1016/j.pce.2004.03.009

Bixio, R., Parise, M., Saj, S., Traverso, M., 2007. L’acquedotto sotterraneo di Gravina in Puglia “Sant’Angelo – Fontane della Stella. Opera Ipogea Anno 9, 105–112.

Boenzi, F., Radina, B., Ricchetti, G., Valduga, A., 1971. Note illustrative della Carta Geologica d’Italia, alla scala 1:100.000, Foglio 201 Matera. Serv. Geol. d’It. 48.

Boenzi, F., Caldara, M., Capolongo, D., Dellino, P., Piccarreta, M., Simone, O., 2008. Late Pleistocene–Holocene landscape evolution in Fossa Bradanica, Basilicata (southern Italy). Geomorphology 102, 297–306. doi:10.1016/j.geomorph.2008.03.013

Calò, F., Parise, M., 2006. Evaluating the Human Disturbance to Karst Environments in Southern Italy. Acta Carsologica 35. doi:10.3986/ac.v35i2-3.227

Canora, F., Fidelibus, M.D., Sciortino, A., Spilotro, G., 2008. Variation of infiltration rate through karstic surfaces due to land use changes: A case study in Murgia (SE-Italy). Engineering Geology, Engineering and environmental problems in karst 99, 210–227. doi:10.1016/j.enggeo.2007.11.018

Canora, F., Spilotro, G., Fidelibus, M., 2012. I vulcanelli di fango sul bordo orientale della Fossa Bradanica (Confine Basilicata - Puglia). Geologia dell’Ambiente 2, 2–10.

Capolongo, D., Diodato, N., Mannaerts, C.M., Piccarreta, M., Strobl, R.O., 2008. Analyzing temporal changes in climate erosivity using a simplified rainfall erosivity model in Basilicata (southern Italy). Journal of Hydrology 356, 119–130. doi:10.1016/j.jhydrol.2008.04.002

Casciano, C.I., Capolongo, D., Tropeano, M., 2013. Insights on the evolution of the “Torrente Gravina di Gravina” drainage-basin (southwestern Murge of Apulia, Italy) through quantitative analyses. In: JOURNAL OF MEDITERRANEAN EARTH SCIENCES 5, 31–33.

Casnedi, R., 1988. La Fossa bradanica: origine, sedimentazione e migrazione. Mem. Soc. Geol. It. 41, 439–448.

Castiglioni, B., Sauro, U., 2000. Large Collapse Dolines in Puglia (Southern Italy): The Cases of “Dolina Pozzatina” in the Gargano Plateau and of “Puli” in the Murge. Acta Carsologica 29. doi:10.3986/ac.v29i2.450

Ciantia, M. o., Hueckel, T., 2013. Weathering of submerged stressed calcarenites: chemo-mechanical coupling mechanisms. Géotechnique 63, 768–785. doi:10.1680/geot.SIP13.P.024

Ciantia, M.O., Castellanza, R., Crosta, G.B., Hueckel, T., 2015. Effects of mineral suspension and dissolution on strength and compressibility of soft carbonate rocks. Engineering Geology 184, 1–18. doi:10.1016/j.enggeo.2014.10.024

Ciaranfi, N., Maggiore, M., Pieri, P., Rapisardi, L., Ricchetti, G., Walsh, N., 1979. Considerazioni sulla neotettonica della Fossa Bradanica. Prog. Fin. Geod. CNR 251, 73–95.

Ciaranfi, N., Ghisetti, F., Guida, M., Iaccarino, G., Lambiase, S., Pieri, P., Rapisardi, L., Ricchetti, G., Torre, M., Tortorici, L., Vezzani, L., 1983. Carta neotettonica dell’Italia meridionale. Prog. Fin. Geod. del CNR 515, 62.

Ciaranfi, N., Pieri, P., Ricchetti, G., 1988a. Carta Geologica delle Murge e del Salento. Memorie Società Geologica Italiana 42.

Ciaranfi, N., Pieri, P., Ricchetti, G., 1988b. Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). Memorie della Societa Geologica Italiana 41, 449–460.

Cilumbriello, A., Sabato, L., Tropeano, M., 2008. Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari di chiusura del ciclo della Fossa bradanica: l’area chiave di Banzi e Genzano di Lucania (Basilicata). Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia 119–146.

Cosentino, G., Cavinato, G.P., Cavuoto, G., Marini, M., Tursi, A., Baldassarre, G., Capolongo, D., Lepore, D., Festa, V., De Giorgio, G., 2013. MIcrozonazione Sismica di Livello 1 di Altamura (BA). Studio e Mappa di Microzonazione di livello 1 secondo gli ICMS 2008 - OPCM 3907 42. doi:10.13140/RG.2.1.2214.0963

Cotecchia, V., 1977. Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull’intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina). Quaderni CNR IRSA 20, 461.

Cotecchia, V., 2014. Le acque sotterranee e l’intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all’emergenza nella salvaguardia della risorsa. Memorie Descrittive Carta Geologica d’Italia 92, 416.

Cotecchia, V., Grassi, D., 1997. Incidenze geologico-ambientali sull’ubicazione e lo stato di degrado degli insediamenti rupestri medioevali della Puglia e della Basilicata. Geologia Applicata e Idrogeologia 32, 1–10.

Cotecchia, V., Ippolito, F., Orabona, E., 1957. Relazione generale sulle indagini idrogeologiche svolte in merito all’impiego della falda profonda contenuta nei calcari cretacici delle Murge e del Salento. Ente per lo Sviluppo dell’Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania, Bari.

Cotecchia, V., Calò, G., Spilotro, G., 1985. Caratterizzazione geolitologica e tecnica delle calcareniti pugliesi. In: III Convegno Nazionale Attività estrattiva dei minerali di 2a categoria, Bari 17–19 gennaio 1985, PEI, Parma 1, 209–216.

D’Argenio B., Pescatore T., Scandone P. (1973). Schema geologico dell’Appennino meridionale (Campania e Lucania). In: “Moderne vedute sulla geologia dell’Appennino”. Acc. Naz. Lin., vol. 183, 49‒72.

De Waele, J., Lauritzen, S., Parise, M., 2009. On the origin of dissolution pipes. Proceedings 15th International Congress of Speleology, Kerrville (Texas, USA), 19-26 July 2009 463–468.

De Waele, J., Parise, M., Plan, L., 2011a. Geomorphology and natural hazards in karst areas: A review. Geomorphology 134, 1–8. doi:10.1016/j.geomorph.2011.08.001

De Waele, J.D., Lauritzen, S.-E., Parise, M., 2011b. On the formation of dissolution pipes in Quaternary coastal calcareous arenites in Mediterranean settings. Earth Surface Processes and Landforms 36, 143–157. doi:https://doi.org/10.1002/esp.2022

Del Gaudio, V., 2017. CRITICITÀ NELLE STIME DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA PER LA REGIONE PUGLIESE. Geologi e Territorio 2/2017, 3–10.

Del Gaudio, V., Festa, V., Ripa, R.R., Iurilli, V., Pierri, P., Calcagnile, G., Moretti, M., Pieri, P., Tropeano, M., 2001. Evidence of Apulian crustal structures related to low energy seismicity (Murge - Southern Italy). Annals of Geophysics 44. doi:10.4401/ag-3555

Del Gaudio, V., Pierri, P., Calcagnile, G., Venisti, N., 2005. Characteristics of the low energy seismicity of central Apulia (southern Italy) and hazard implications. Journal of Seismology 9, 39–59. doi:10.1007/s10950-005-1593-9

Del Prete, S., Galeazzi, C., Germani, C., Martimucci, V., Parise, M., 2010a. Fenomeni di dissesto idrogeologico connessi a cavità sotterranee di origine antropica. Atti dei Convegni Lincei “Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo”, X Giornata Mondiale dell’Acqua, Accademia dei Lincei, Roma, 22 marzo 2010 262, 223–232.

Del Prete, S., Iovine, G., Parise, M., Santo, A., 2010b. Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy. Geodinamica Acta 23, 113–127. doi:10.3166/ga.23.113-127

Del Prete, S., Parise, M., Santo, A., 2010c. Sinkhole in contesti carbonatici di aree di catena e di avampaese: confronto fra l’Appennino Campano e l’Avampaese Apulo. II Convegno Regionale di Speleologia “Campania Speleologica 2010”, Caselle in Pittari (SA), 3-6 Giugno 2010 171–185.

Delle Rose, M., Federico, A., Parise, M., 2004. PROBLEMATICHE CONNESSE A FENOMENI DI SUBSIDENZA CARSICA E SINKHOLES IN PUGLIA Atti 1° Seminario “Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio,” APAT, Roma, 20-21 maggio 2004, 377–388.

Di Bucci, D., Caputo, R., Mastronuzzi, G., Fracassi, U., Selleri, G., Sansò, P., 2011. Quantitative analysis of extensional joints in the southern Adriatic foreland (Italy), and the active tectonics of the Apulia region. Journal of Geodynamics, Active Tectonics of the Circum-Adriatic Region 51, 141–155. doi:10.1016/j.jog.2010.01.012

Dimitrov, L.I., 2002. Mud volcanoes—the most important pathway for degassing deeply buried sediments. Earth-Science Reviews 59, 49–76. doi:10.1016/S0012-8252(02)00069-7

DISS Working Group, 2018. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi:doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1

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, 1309–1321. doi:10.1029/94TC01501

Doglioni, C., Tropeano, M., Mongelli, F., Pieri, P., 1996. Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: An “anomaly” in the Apenninic foreland. Memorie Società Geologica Italiana 51, 101–117.

Donald, I.W., 2010. Waste Immobilization in Glass and Ceramic Based Hosts: Radioactive, Toxic and Hazardous Wastes. Wiley.

Federico, A., De Filo, A., Gelato, G., Simeone, V., 1996. Vulnerabilità idrogeologica della fascia costiera ad ovest di Taranto. Nota preliminare. Geologia Applicata e Idrogeologia 31, 289–295.

Ferranti, L., Antonioli, F., Mauz, B., Amorosi, A., Dai Pra, G., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Orrù, P., Pappalardo, M., Radtke, U., Renda, P., Romano, P., Sansò, P., Verrubbi, V., 2006. Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications. Quaternary International, Quaternary sea-level changes: contributions from the 32nd IGC 145–146, 30–54. doi:10.1016/j.quaint.2005.07.009

Festa, V., 2003. Cretaceous structural features of the Murge area (Apulian Foreland, Southern Italy). Ecologae Geologicae Helvetiae 96, 11–22.

Festa, V., Fiore, A., Luisi, M., Miccoli, M.N., Spalluto, L., 2018. Petrographic features influencing basic geotechnical parameters of carbonate soft rocks from Apulia (southern Italy). Engineering Geology 233, 76–97. doi:10.1016/j.enggeo.2017.12.009

Fidelibus, M.D., 1984. Origine ed evoluzione delle acque salate sotterranee della Murgia Nord-Occidentale e del Gargano. Geologica Romana 30, 439–450.

Fiore, A., Parise, M., 2013. Cronologia degli eventi di sprofondamento in Puglia, con particolare riferimento alle interazioni con l’ambiente antropizzato. Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia 93, 239–252.

Gambini, R., Tozzi, M., 1996. Tertiary geodynamic evolution of the Southern Adria microplate. Terra Nova 8, 593–602. doi:https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1996.tb00789.x

Gentile, P., Iaia, C., Liso, I.S., Parise, M., 2020. Eventi alluvionali nell’ambiente carsico pugliese. In: Fiore A. & Masciocco L. (Eds.), Atti del seminario nazionale “Analisi e attività di mitigazione dei processi geo-idrologici in Italia”. Geologia dell’Ambiente Suppl. 1/2020, 56–63.

Giglio, G., Moretti, M., Tropeano, M., 1996. Rapporto fra uso del suolo ed erosione nelle Murge alte: effetti del miglioramento fondiario mediante pratiche di “spietramento.” Geologia Applicata ed Idrogeologia XXXI, 179–185.

Grassi, D., 1974a. Evoluzione morfologica dei depositi calcarenitici quaternari in corrispondenza dei versanti vallivi della Puglia e della Lucania, con particolare riferimento alla Gravina di Matera. Geologia Applicata e Idrogeologia 9, 95–117.

Grassi, D., 1974b. Il carsismo della Murgia (Puglia) e sua influenza sull’idrogeologia della regione. Geologia Applicata e Idrogeologia 9, 119–160.

Grassi, D., Tadolini, T., Tazioli, G.S., Tulipano, L., 1977. Ricerche sull’anisotropia dei caratteri idrogeologici delle rocce carbonatiche mesozoiche della Murgia nord-occidentale. Geologia Applicata e Idrogeologia 12, 187–213.

Grassi, D., Romanazzi, L., Salvemini, A., Spilotro, G., 1982. Grado di evoluzione e ciclicità del fenomeno carsico in Puglia in rapporto all’evoluzione tettonica. Geologia Applicata ed Idrogeologia 17, 55–73.

Grassi, D., Sdao, F., Tadolini, T., 1986. Idrogeologia dell’area posta a cavallo della Murgia e del Tavoliere di Puglia. Geologia Applicata e Idrogeologia 21, 85–98.

Gueguen, E., Formicola, W., Martimucci, V., Parise, M., Ragone, G., 2012. Geological controls in the development of palaeo-karst systems of High Murge (Apulia). RENDICONTI ONLINE DELLA SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA 21/2012.

Gunn, J., 2007. Contributory area definition for groundwater source protection and hazard mitigation in carbonate aquifers. doi:10.1144/SP279.9

Guo, X., Gin, S., Lei, P., Yao, T., Liu, H., Schreiber, D.K., Ngo, D., Viswanathan, G., Li, T., Kim, S.H., Vienna, J.D., Ryan, J.V., Du, J., Lian, J., Frankel, G.S., 2020. Self-accelerated corrosion of nuclear waste forms at material interfaces. Nature Materials 19, 310–316. doi:10.1038/s41563-019-0579-x

Iannone, A., Pieri, P., 1979. Considerazioni critiche sui “Tufi calcarei” delle Murge. Nuovi dati litostratigrafici e paleoambientali. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 2, 173–186.

INGV, 2021. Lista Terremoti aggiornata in tempo reale » INGV Osservatorio Nazionale Terremoti [WWW Document]. URL http://terremoti.ingv.it/ (accessed 2.8.21).

ISPRA, 2017. Carta geologica in scala 1:50.000, Foglio Geologico 471 Irsina. System Cart. ISBN: 8893110636 Visionabile nel sito http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/471\_IRSINA/Foglio.html.

Iurilli, V., Cacciapaglia, G., Selleri, G., Palmentola, G., Mastronuzzi, G., 2009. Karst morphogenesis and tectonics in south-eastern Murge (Apulia, Italy). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 32, 145–155.

Kopf, A.J., 2002. Significance of Mud Volcanism. Reviews of Geophysics 40, 2-1-2–52. doi:https://doi.org/10.1029/2000RG000093

Lazzari, M., Pieri, P., 2002. Modello stratigrafico-deposizionale della successione regressiva infrapleistocenica della Fossa bradanica nell’area compresa tra Lavello, Genzano e Spinazzola. Memorie della Società Geologica Italiana 57, 231–237.

Lollino, P., Andriani, G.F., 2017. Role of Brittle Behaviour of Soft Calcarenites Under Low Confinement: Laboratory Observations and Numerical Investigation. Rock Mechanics and Rock Engineering 50, 1863–1882. doi:10.1007/s00603-017-1188-0

Lopez, N., Spizzico, V., Parise, M., 2009. Geomorphological, pedological, and hydrological characteristics of karst lakes at Conversano (Apulia, southern Italy) as a basis for environmental protection. Environmental Geology 58, 327–337. doi:10.1007/s00254-008-1601-9

Maggiore, M., Pagliarulo, P., 1999. Groundwater vulnerability and pollution sources in the Apulian region (Southern Italy). Proc. 2nd Symp. Protection of Groundwater from Pollution and Seawater Intrusion, Bari 9–20.

Maggiore, M., Pagliarulo, P., 2004. Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia. Geologi e Territorio. Convegno 21 Giugno 2002, Bari, Uso e tutela dei corpi idrici sotterranei pugliesi Suppl. 1/2004, 13–35.

Marsico, A., Selleri, G., Mastronuzzi, G., Sansň, P., Walsh, N., 2003. Cryptokarst: A Case-Study of the Quaternary Landforms of Southern Apulia (Southern Italy). Acta Carsologica 32. doi:10.3986/ac.v32i2.344

Mastronuzzi, G., Sansò, P., 2002. Pleistocene sea-level changes, sapping processes and development of valley networks in the Apulia region (southern Italy). Geomorphology 46, 19–34. doi:10.1016/S0169-555X(01)00172-6

Mastronuzzi G., Valletta S., Fiore A., Francescangeli R., Giandonato P.B., Iurilli V., Sabato L. (eds) (2015). Geositi della Puglia, Sagraf, Capurso (BA), 394 pp. ISBN 9788890671685.

Moretti, M., Fiore, A., Pieri, P., Tropeano, M., Valletta, S., 2004. Effetti dei miglioramenti fondiari nelle Murge alte (Puglia): l’impatto antropico sul paesaggio carsico e costiero. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences 17, 323–330.

North, L.A., Beynen, P.E. van, Parise, M., 2009. Interregional comparison of karst disturbance: west-central Florida and southeast Italy. Journal of Environmental Management 90, 1770–1781. doi:10.1016/j.jenvman.2008.11.018

Parise, M., 2002. Caratteri geologici e geomorfologici dei laghi carsici di Conversano (Murge di sud-est). Grotte e dintorni anno 2, 43–48.

Parise, M., 2003. Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences 3, 593–604. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-3-593-2003

Parise, M., 2007. PERICOLOSITA’ GEOMORFOLOGICA IN AMBIENTECARSICO: LE GRAVINE DELL’ARCO IONICO TARANTINO. Atti e Memorie della Commissione Grotte “E. Boegan” 41, 81–94.

Parise, M., 2008a. Elementi di geomorfologia carsica della Puglia. In: Parise M., Inguscio S. & Marangella A. (Eds.), Atti del 45° Corso CNSS-SSI di III livello di Geomorfologia Carsica. Grottaglie, 2-3 febbraio 2008 93–118.

Parise, M., 2008b. I sinkholes in Puglia. Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia 85, 309–333.

Parise, M., 2009a. Lakes in the Apulian karst (Southern Italy): geology, karst morphology, and their role in the local history. In: Lake Pollution Research Progress. pp. 63–80.

Parise, M., 2009b. Trasformazioni di uso del suolo nel paesaggio carsico della Puglia (Italia sud-orientale): gli effetti negativi dello spietramento. Studime Albanologjike 4, 458–468.

Parise, M., 2011. Surface and subsurface karst geomorphology in the Murge (Apulia, Southern Italy). Acta Carsologica 40, 79–93. doi:10.3986/ac.v40i1.30

Parise, M., 2012a. Il dissesto idrogeologico in ambiente carsico. Geologia dell’Ambiente 242–246.

Parise, M., 2012b. MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN KARST ENVIRONMENTS, AND NEGATIVE EFFECTS OF LAND USE CHANGES IN THE MURGE AREA (APULIA, ITALY). Karst Environments 2, 16–20.

Parise, M., 2016. How confident are we about the definition of boundaries in karst? Difficulties in managing and planning in a typical transboundary environment. In: Karst without Boundaries. pp. 27–38. doi:10.1201/b21380-4

Parise, M., 2017a. Il caso di Ginosa nel lavoro dell’IRPI. In: Parisi N. (Ed.), Il Parco delle eccellenze artigiane di Puglia. Un progetto per Ginosa. Adda editore 24–35.

Parise, M., 2017b. Un esempio di idraulica in ambiente carsico: “pozzi” e “pozzelle” del territorio pugliese. Geologia dell’Ambiente, Convegno “Tecnica di Idraulica Antica”, SIGEA, Roma, 18 novembre 2016, p. 240-244. suppl. n. 3/2017, 240–244.

Parise, M., Pascali, V., 2003. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). Environmental Geology 44, 247–256. doi:10.1007/s00254-003-0773-6

Parise, M., Sammarco, M., 2015. The historical use of water resources in karst. Environmental Earth Sciences 74, 143–152. doi:10.1007/s12665-014-3685-8

Parise, M., Vennari, C., 2017. Distribution and Features of Natural and Anthropogenic Sinkholes in Apulia. In: Renard, P., Bertrand, C. (Eds.), EuroKarst 2016, Neuchâtel, Advances in Karst Science. Springer International Publishing, Cham, pp. 27–34. doi:10.1007/978-3-319-45465-8\_3

Parise, M., R, B., G, Q., G, savino, 2000. Ricerche geologico-speleologiche in cavità artificiali: gli impianti idrici sotterranei di Gravina di Puglia. Atti del Convegno “Condizionamenti geologici e geotecnici nella Conservazione del Patrimonio Storico Culturale”, Torino, 8-9 giugno 2000 739–747.

Parise, M., Federico, A., Delle Rose, M., Sammarco, M., 2003a. KARST TERMINOLOGY IN APULIA (SOUTHERN ITALY). Acta Carsologica 32/2, 65–82.

Parise, M., Pascali, V., Savino, G., 2003b. Note sul degrado di ambienti carsici, con esempi dalla regione Puglia. Thalassia Salentina 26, 305-314–314. doi:10.1285/i15910725v26supp305

Parise, M., Carmela, V., Guzzetti, F., Marchesini, I., Salvati, P., 2013. Preliminary outcomes from a catalogue of natural and anthropogenic sinkholes in Italy, and analysis of the related damage. Rendiconti Online Società Geologica Italiana 24, 225–227.

Parise, M., Carla, G., Germani, C., Bixio, R., Prete, S., Sammarco, M., 2015. The Map of Ancient Underground Aqueducts in Italy: updating of the Project, and future perspectives. Proceedings of the International Congress in Artificial Cavities “Hypogea 2015”, Rome, March 11-17, 2015 235–243.

Pennetta, L., 1983. L’antico reticolo fluviale delle Murge. Studi geologici e geofisici sulle regioni pugliese e lucana 25, 3–17.

Pepe, M., Parise, M., 2012. Integration of geomorphological and speleological datasets in karst terrains. Rendiconti Online Societa Geologica Italiana 21, 629–631.

Pepe, P., Pentimone, N., Garziano, G., Parise, M., Martimucci, V., Lorusso, G., 2013a. Le cave sotterranee di Altamura. Fasi operative per la mappatura e per il supporto alle attività di bonifica. Atti del Convegno “Studi ed interventi per il risanamento delle cavità antropiche e naturali. Aspetti geologici, geotecnici e sismici”, Geologia dell’Ambiente 33–40.

Pepe, P., Pentimone, N., Garziano, G., Martimucci, V., Parise, M., 2013b. Lessons learned from occurrence of sinkholes related to man-made cavities in a town of southern Italy. Proceedings of the 13th Multidisciplinary Conference on Sinkholes and the Engineering and Environmental Impacts of Karst 393–401.

Pepe, P., G., G., Parise, M., 2013c. L’utilizzo delle tecniche GIS per la valutazione della suscettibilità a sprofondamenti: il caso di studio di Altamura (BA). Memorie Descrittive della Carta Geologica d’Italia 93, 365–380.

Piccarreta, M., Capolongo, D., Boenzi, F., Bentivenga, M., 2006. Implications of decadal changes in precipitation and land use policy to soil erosion in Basilicata, Italy. CATENA 65, 138–151. doi:10.1016/j.catena.2005.11.005

Piccarreta, M., Pasini, A., Capolongo, D., Lazzari, M., 2013. Changes in daily precipitation extremes in the Mediterranean from 1951 to 2010: the Basilicata region, southern Italy. International Journal of Climatology 33, 3229–3248. doi:https://doi.org/10.1002/joc.3670

Pieri, P., Sabato, L., Tropeano, M., 1996. Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene. Memorie della Società Geologica Italiana 51, 501–515.

Pieri, P., Festa, V., Moretti, M., Tropeano, M., 1997a. Quaternary tectonic activity of the Murge area (Apulian foreland -Southern Italy). Annals of Geophysics 40. doi:10.4401/ag-3876

Pieri, P., Vitale, G., Beneduce, P., Doglioni, C., Gallicchio, S., Giano, I., Loizzo, R., Moretti, M., Prosser, G., Sabato, L., 1997b. Tettonica quaternaria nell’area bradanico-ionica. Il Quaternario 10, 535–542.

Pieri, P., Giglio, G., Moretti, M., Talli, F., Tropeano, E., Tropeano, M., 1999. Pratiche di spietramento e impoverimento dei suoli in aree carsiche: il caso delle Murge Alte. II Forum internazionale sulla desertificazione: Azioni italiane a sostegno della Convenzione delle Nazioni Unite per combattere la desertificazione 243–246.

Pieri, P., Gallicchio, S., Sabato, L., Tropeano, M., Boenzi, F., Lazzari, M., Marino, M., Vitale, G., 2017. Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000, F° 471 Irsina. Visionabili nel sito http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/note\_illustrative/471\_Irsina.pdf 112.

Polemio, M., 1996. Le calamità idrogeologiche dell’inverno 1995-96 nel territorio tarantino. Atti Conv. Int. “La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica”, 5-7 novembre 1996, Alba 2, 63–73.

Ricchetti, G., 1965. Alcune osservazioni sulla serie della Fossa bradanica. Le “Calcareniti di M. Castiglione". Boll. Soc. Nat. in Napoli 74, 3–11.

Ricchetti, G., 1967. Lineamenti geologici e morfologici della media valle del Fiume Bradano. Bollettino della Societa Geologica Italiana 86, 607–622.

Ricchetti, G., 1980. Contributo alla conoscenza della Fossa bradanica e delle Murge. Bollettino della Società Geologica Italiana 99 (1980), 421–430.

Ricchetti, G., Ciaranfi, N., Luperto Sinni, E., Mongelli, F., Pieri, P., 1992. Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell’avampaese apulo. Memorie della Società Geologica Italiana 41, 57–82.

Rovida, A., Locati, M., Camassi, M., Lolli, B., Gasperini, P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi:https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2

Sabato, L., 1996. Quadro stratigrafico-deposizionale dei depositi regressivi nell’area di Irsina (Fossa bradanica). Geologica Romana 32, 219–230.

Sabato, L., Tropeano, M., Pieri, P., 2004. Problemi di cartografia geologica relativa ai depositi quaternari del F° 471 “Irsina”.Il Conglomerato di Irsina: mito o realtà? Il Quaternario 17, 391–404.

Sauer, D., Wagner, S., Brückner, H., Scarciglia, F., Mastronuzzi, G., Stahr, K., 2010. Soil development on marine terraces near Metaponto (Gulf of Taranto, southern Italy). Quaternary International 222, 48–63. doi:10.1016/j.quaint.2009.09.030

Sauro, U., 1991. A polygonal karst in Alte Murge (Puglia, southern Italy). Zeitschrift fur Geomorphologie 35, 207–223.

Sella, G., Turci, C., Riva, A., 1988. Sintesi geopetrolifera della Fossa bradanica (avanfossa della catena appenninica meridionale). Memorie della Societa Geologica Italiana 41, 87–107.

Spilotro, G., 1983. Studio geologico, geotecnico ed idrogeologico di un’area di cava in argille ai fini della valutazione dell’idoneità all’uso come recipiente di scarichi industriali. Geologia Applicata e Idrogeologia 18.

Tadolini, T., Spizzico, M., 1996. Caratterizzazione idrogeologica della zona delle sorgenti Tara (Taranto). Memorie della Societa Geologica Italiana 51, 793–802.

Terzi, M., Parise, M., S, F., 2000. Studio e conservazione del sistema ecologico degli stagni temporanei endoreici del territorio di Conversano (Ba). Genio Rurale 10, 40–48.

Tropeano, M., 1992. Aspetti geologici e geomorfologici della Gravina di Matera “Parco Archeologico Storico Naturale delle Chiese Rupestri del Materano". Itinerari speleologici 2, 19–33.

Tropeano, M., Marino, M., Pieri, P., 1994. Evidenze di tettonica distensiva plio-pleistocenica al margine orientale della Fossa bradanica:L’Horst di Zagarella. Il Quaternario 7, 597–606.

Tropeano, M., Pieri, P., Moretti, M., Festa, V., Calcagnile, G., Del Gaudio, V., Pierri, P., 1997. Tettonica quaternaria ed elementi di sismotettonica nell’area delle Murge (Avampaese apulo). Il Quaternario 10, 543-548.

Tropeano, M., Sabato, L., Pieri, P., 2002a. Filling and cannibalization of a foredeep: the Bradanic Trough, Southern Italy. Geological Society, London, Special Publications 191, 55–79. doi:10.1144/GSL.SP.2002.191.01.05

Tropeano, M., Sabato, L., Pieri, P., 2002b. The Quaternary «Post-turbidite» sedimentation in the South-Apennines Foredeep (Bradanic Trough-Southern Italy). Boll. Soc. Geol. It. in memoria di G. Pialli 1, 449–454.

Valduga, A., 1973. Fossa Bradanica. In: Geologia dell’Italia. A cura di A. Desio, Ed. UTET 692–695.

Zorzi, L., Reina, C., 1962. Idrogeologia della Provincia di Taranto. Giornale del Genio Civile 2, 149–166.

**Bibliografia per Temi**

**Tettonica e sismicità**

Ciaranfi, N., Maggiore, M., Pieri, P., Rapisardi, L., Ricchetti, G., Walsh, N., 1979. Considerazioni sulla neotettonica della Fossa Bradanica. Prog. Fin. Geod. CNR 251, 73–95.

Ciaranfi, N., Ghisetti, F., Guida, M., Iaccarino, G., Lambiase, S., Pieri, P., Rapisardi, L., Ricchetti, G., Torre, M., Tortorici, L., Vezzani, L., 1983. Carta neotettonica dell’Italia meridionale. Prog. Fin. Geod. del CNR 515, 62.

Ciaranfi, N., Pieri, P., Ricchetti, G., 1988a. Carta Geologica delle Murge e del Salento. Memorie Società Geologica Italiana 42.

Ciaranfi, N., Pieri, P., Ricchetti, G., 1988b. Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). Memorie della Societa Geologica Italiana 41, 449–460.

Ciaranfi, N., Pieri, P., Ricchetti, G., 1988c. Note alla carta geologica delle Murge e del Salento (Puglia centromeridionale). Memorie Società Geologica Italiana 41, 449–460.

Del Gaudio, V., 2017. CRITICITÀ NELLE STIME DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA PER LA REGIONE PUGLIESE. Geologi e Territorio 2/2017, 3–10.

Del Gaudio, V., Festa, V., Ripa, R.R., Iurilli, V., Pierri, P., Calcagnile, G., Moretti, M., Pieri, P., Tropeano, M., 2001. Evidence of Apulian crustal structures related to low energy seismicity (Murge - Southern Italy). Annals of Geophysics 44. doi:10.4401/ag-3555

Del Gaudio, V., Pierri, P., Calcagnile, G., Venisti, N., 2005. Characteristics of the low energy seismicity of central Apulia (southern Italy) and hazard implications. Journal of Seismology 9, 39–59. doi:10.1007/s10950-005-1593-9

DISS Working Group, 2018. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi:doi:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1

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, 1309–1321. doi:10.1029/94TC01501

Doglioni, C., Tropeano, M., Mongelli, F., Pieri, P., 1996. Middle-Late Pleistocene uplift of Puglia: An “anomaly” in the Apenninic foreland. Memorie Società Geologica Italiana 51, 101–117.

Ferranti, L., Antonioli, F., Mauz, B., Amorosi, A., Dai Pra, G., Mastronuzzi, G., Monaco, C., Orrù, P., Pappalardo, M., Radtke, U., Renda, P., Romano, P., Sansò, P., Verrubbi, V., 2006. Markers of the last interglacial sea-level high stand along the coast of Italy: Tectonic implications. Quaternary International, Quaternary sea-level changes: contributions from the 32nd IGC 145–146, 30–54. doi:10.1016/j.quaint.2005.07.009

Ferranti, L., Antonioli, F., Anzidei, M., Monaco, C., Stocchi, P., 2010. The timescale and spatial extent of vertical tectonic motions in Italy: Insights from relative sea-level changes studies. Journal of the Virtual Explorer 36. doi:10.3809/jvirtex.2009.00255

Festa, V., 2003. Cretaceous structural features of the Murge area (Apulian Foreland, Southern Italy). Ecologae Geologicae Helvetiae 96, 11–22.

Festa, V., De Giosa, F., Del Gaudio, V., Moretti, M., Pierri, P., 2019. In search of the seismogenic source of the march 23rd 2018 earthquake (Mw 3.7) near Brindisi (Puglia, Southern Italy). Geologia Croatica 72, 137–144. doi:10.4154/gc.2019.10

INGV, 2021. Lista Terremoti aggiornata in tempo reale » INGV Osservatorio Nazionale Terremoti [WWW Document]. URL http://terremoti.ingv.it/ (accessed 2.8.21).

ISPRA, 2017. Carta geologica in scala 1:50.000, Foglio Geologico 471 Irsina. System Cart. ISBN: 8893110636 Visionabile nel sito http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/471\_IRSINA/Foglio.html.

Iurilli, V., Cacciapaglia, G., Selleri, G., Palmentola, G., Mastronuzzi, G., 2009. Karst morphogenesis and tectonics in south-eastern Murge (Apulia, Italy). Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 32, 145–155.

Pieri, P., Sabato, L., Tropeano, M., 1996. Significato geodinamico dei caratteri deposizionali e strutturali della Fossa bradanica nel Pleistocene. Memorie della Società Geologica Italiana 51, 501–515.

Pieri, P., Festa, V., Moretti, M., Tropeano, M., 1997a. Quaternary tectonic activity of the Murge area (Apulian foreland -Southern Italy). Annals of Geophysics 40. doi:10.4401/ag-3876

Pieri, P., Vitale, G., Beneduce, P., Doglioni, C., Gallicchio, S., Giano, I., Loizzo, R., Moretti, M., Prosser, G., Sabato, L., 1997b. Tettonica quaternaria nell’area bradanico-ionica. Il Quaternario 10, 535–542.

Ricchetti, G., Ciaranfi, N., Luperto Sinni, E., Mongelli, F., Pieri, P., 1988. Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell’Avampaese Apulo. Memorie della Società Geologica Italiana 41, 57–82.

Ricchetti, G., Ciaranfi, N., Luperto Sinni, E., Mongelli, F., Pieri, P., 1992. Geodinamica ed evoluzione sedimentaria e tettonica dell’avampaese apulo. Memorie della Società Geologica Italiana 41, 57–82.

Rovida, A., Locati, M., Camassi, M., Lolli, B., Gasperini, P., 2019. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), versione 2.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). doi:https://doi.org/10.13127/CPTI/CPTI15.2

Tropeano, M., Pieri, P., Moretti, M., Festa, V., Calcagnile, G., Del Gaudio, V., Pierri, P., 1997. Tettonica quaternaria ed elementi di sismotettonica nell’area delle Murge (Avampaese apulo). Il Quaternario 10, 543-548.

**Idrogeologia**

Baldassarre, G., Quarto, R., Schiavone, D., 1983. Indagini geologiche e geofisiche per lo sviluppo della sorgente Tara (prov. di Taranto). Geologia Applicata e Idrogeologia 18, 18.

Balduzzi, A., Casnedi, R., Crescenti, U., Tonna, M., 1982. Il plio-pleistocene del sottosuolo del bacino pugliese (Avanfossa Appenninica). Geologica Romana 21, 1–28.

Bixio, R., Parise, M., Saj, S., Traverso, M., 2007. L’acquedotto sotterraneo di Gravina in Puglia “Sant’Angelo – Fontane della Stella. Opera Ipogea Anno 9, 105–112.

Cotecchia, V., 1977. Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull’intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina). Quaderni CNR IRSA 20, 461.

Cotecchia, V., 2014. Le acque sotterranee e l’intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all’emergenza nella salvaguardia della risorsa. Memorie Descrittive Carta Geologica d’Italia 92, 416.

Cotecchia, V., Ippolito, F., Orabona, E., 1957. Relazione generale sulle indagini idrogeologiche svolte in merito all’impiego della falda profonda contenuta nei calcari cretacici delle Murge e del Salento. Ente per lo Sviluppo dell’Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania, Bari.

Fidelibus, M.D., 1984. Origine ed evoluzione delle acque salate sotterranee della Murgia Nord-Occidentale e del Gargano. Geologica Romana 30, 439–450.

Grassi, D., 1974. Il carsismo della Murgia (Puglia) e sua influenza sull’idrogeologia della regione. Geologia Applicata e Idrogeologia 9, 119–160.

Grassi, D., Tadolini, T., Tazioli, G.S., Tulipano, L., 1977. Ricerche sull’anisotropia dei caratteri idrogeologici delle rocce carbonatiche mesozoiche della Murgia nord-occidentale. Geologia Applicata e Idrogeologia 12, 187–213.

Grassi, D., Sdao, F., Tadolini, T., 1986. Idrogeologia dell’area posta a cavallo della Murgia e del Tavoliere di Puglia. Geologia Applicata e Idrogeologia 21, 85–98.

Gunn, J., 2007. Contributory area definition for groundwater source protection and hazard mitigation in carbonate aquifers. doi:10.1144/SP279.9

Maggiore, M., Pagliarulo, P., 1999. Groundwater vulnerability and pollution sources in the Apulian region (Southern Italy). Proc. 2nd Symp. Protection of Groundwater from Pollution and Seawater Intrusion, Bari 9–20.

Maggiore, M., Pagliarulo, P., 2004. Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia. Geologi e Territorio. Convegno 21 Giugno 2002, Bari, Uso e tutela dei corpi idrici sotterranei pugliesi Suppl. 1/2004, 13–35.

Parise, M., 2016. How confident are we about the definition of boundaries in karst? Difficulties in managing and planning in a typical transboundary environment. pp. 27–38. doi:10.1201/b21380-4

Parise, M., R, B., G, Q., G, savino, 2000. Ricerche geologico-speleologiche in cavità artificiali: gli impianti idrici sotterranei di Gravina di Puglia. Atti del Convegno “Condizionamenti geologici e geotecnici nella Conservazione del Patrimonio Storico Culturale”, Torino, 8-9 giugno 2000 739–747.

Parise, M., Carla, G., Germani, C., Bixio, R., Prete, S., Sammarco, M., 2015. The Map of Ancient Underground Aqueducts in Italy: updating of the Project, and future perspectives. Proceedings of the International Congress in Artificial Cavities “Hypogea 2015”, Rome, March 11-17, 2015 235–243.

Spilotro, G., 1983. Studio geologico, geotecnico ed idrogeologico di un’area di cava in argille ai fini della valutazione dell’idoneità all’uso come recipiente di scarichi industriali. Geologia Applicata e Idrogeologia 18.

Tadolini, T., Spizzico, M., 1996. Caratterizzazione idrogeologica della zona delle sorgenti Tara (Taranto). Memorie della Societa Geologica Italiana 51, 793–802.

Zorzi, L., Reina, C., 1962. Idrogeologia della Provincia di Taranto. Giornale del Genio Civile 2, 149–166.

**Dissesti Geo-Idrologici**

Calò, F., Parise, M., 2006. Evaluating the Human Disturbance to Karst Environments in Southern Italy. Acta Carsologica 35. doi:10.3986/ac.v35i2-3.227

Canora, F., Fidelibus, M.D., Sciortino, A., Spilotro, G., 2008. Variation of infiltration rate through karstic surfaces due to land use changes: A case study in Murgia (SE-Italy). Engineering Geology, Engineering and environmental problems in karst 99, 210–227. doi:10.1016/j.enggeo.2007.11.018

Canora, F., Spilotro, G., Fidelibus, M., 2012. I vulcanelli di fango sul bordo orientale della Fossa Bradanica (Confine Basilicata - Puglia). Geologia dell’Ambiente 2, 2–10.

Cotecchia, V., Grassi, D., 1997. Incidenze geologico-ambientali sull’ubicazione e lo stato di degrado degli insediamenti rupestri medioevali della Puglia e della Basilicata. Geologia Applicata e Idrogeologia 32, 1–10.

Del Prete, S., Galeazzi, C., Germani, C., Martimucci, V., Parise, M., 2010. Fenomeni di dissesto idrogeologico connessi a cavità sotterranee di origine antropica. Atti dei Convegni Lincei “Frane e dissesto idrogeologico: consuntivo”, X Giornata Mondiale dell’Acqua, Accademia dei Lincei, Roma, 22 marzo 2010 262, 223–232.

Federico, A., De Filo, A., Gelato, G., Simeone, V., 1996. Vulnerabilità idrogeologica della fascia costiera ad ovest di Taranto. Nota preliminare. Geologia Applicata e Idrogeologia 31, 289–295.

Gentile, P., Iaia, C., Liso, I.S., Parise, M., 2020. Eventi alluvionali nell’ambiente carsico pugliese. In: Fiore A. & Masciocco L. (Eds.), Atti del seminario nazionale “Analisi e attività di mitigazione dei processi geo-idrologici in Italia”. Geologia dell’Ambiente Suppl. 1/2020, 56–63.

Giglio, G., Moretti, M., Tropeano, M., 1996. Rapporto fra uso del suolo ed erosione nelle Murge alte: effetti del miglioramento fondiario mediante pratiche di “spietramento.” Geologia Applicata ed Idrogeologia XXXI, 179–185.

Grassi, D., 1974. Il carsismo della Murgia (Puglia) e sua influenza sull’idrogeologia della regione. Geologia Applicata e Idrogeologia 9, 119–160.

Moretti, M., Fiore, A., Pieri, P., Tropeano, M., Valletta, S., 2004. Effetti dei miglioramenti fondiari nelle Murge alte (Puglia): l’impatto antropico sul paesaggio carsico e costiero. Il Quaternario, Italian Journal of Quaternary Sciences 17, 323–330.

North, L.A., Beynen, P.E. van, Parise, M., 2009. Interregional comparison of karst disturbance: west-central Florida and southeast Italy. Journal of Environmental Management 90, 1770–1781. doi:10.1016/j.jenvman.2008.11.018

Parise, M., 2003. Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy). Natural Hazards and Earth System Sciences 3, 593–604. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-3-593-2003

Parise, M., 2007. PERICOLOSITA’ GEOMORFOLOGICA IN AMBIENTECARSICO: LE GRAVINE DELL’ARCO IONICO TARANTINO. Atti e Memorie della Commissione Grotte “E. Boegan” 41, 81–94.

Parise, M., 2009. Trasformazioni di uso del suolo nel paesaggio carsico della Puglia (Italia sud-orientale): gli effetti negativi dello spietramento. Studime Albanologjike 4, 458–468.

Parise, M., 2011. Surface and subsurface karst geomorphology in the Murge (Apulia, Southern Italy). Acta Carsologica 40, 79–93. doi:10.3986/ac.v40i1.30

Parise, M., 2012a. Il dissesto idrogeologico in ambiente carsico. Geologia dell’Ambiente 242–246.

Parise, M., 2012b. MANAGEMENT OF WATER RESOURCES IN KARST ENVIRONMENTS, AND NEGATIVE EFFECTS OF LAND USE CHANGES IN THE MURGE AREA (APULIA, ITALY). Karst Environments 2, 16–20.

Parise, M., 2017. Il caso di Ginosa nel lavoro dell’IRPI. In: Parisi N. (Ed.), Il Parco delle eccellenze artigiane di Puglia. Un progetto per Ginosa. Adda editore 24–35.

Parise, M., 2020. Cavità artificiali nel centro storico di Ginosa (Taranto, Puglia) e relative problematiche di dissesto geo-idrologico. In: Galeazzi C. & Madonia P. (a cura di), Atti IX Convegno Nazionale di Speleologia in Cavità Artificiali, Palermo, 20 marzo 2020. Opera Ipogea 245–252.

Parise, M., Pascali, V., 2003. Surface and subsurface environmental degradation in the karst of Apulia (southern Italy). Environmental Geology 44, 247–256. doi:10.1007/s00254-003-0773-6

Parise, M., Vennari, C., 2017. Distribution and Features of Natural and Anthropogenic Sinkholes in Apulia. In: Renard, P., Bertrand, C. (Eds.), EuroKarst 2016, Neuchâtel, Advances in Karst Science. Springer International Publishing, Cham, pp. 27–34. doi:10.1007/978-3-319-45465-8\_3

Pieri, P., Giglio, G., Moretti, M., Talli, F., Tropeano, E., Tropeano, M., 1999. Pratiche di spietramento e impoverimento dei suoli in aree carsiche: il caso delle Murge Alte. II Forum internazionale sulla desertificazione: Azioni italiane a sostegno della Convenzione delle Nazioni Unite per combattere la desertificazione 243–246.

Polemio, M., 1996. Le calamità idrogeologiche dell’inverno 1995-96 nel territorio tarantino. Atti Conv. Int. “La prevenzione delle catastrofi idrogeologiche: il contributo della ricerca scientifica”, 5-7 novembre 1996, Alba 2, 63–73.

Tropeano, M., 1992. Aspetti geologici e geomorfologici della Gravina di Matera “Parco Archeologico Storico Naturale delle Chiese Rupestri del Materano". Itinerari speleologici 2, 19–33.

**Carsismo nelle calcarenite**

De Waele, J., Lauritzen, S., Parise, M., 2009. On the origin of dissolution pipes. Proceedings 15th International Congress of Speleology, Kerrville (Texas, USA), 19-26 July 2009 463–468.

De Waele, J.D., Lauritzen, S.-E., Parise, M., 2011. On the formation of dissolution pipes in Quaternary coastal calcareous arenites in Mediterranean settings. Earth Surface Processes and Landforms 36, 143–157. doi:https://doi.org/10.1002/esp.2022

Del Prete, S., Iovine, G., Parise, M., Santo, A., 2010. Origin and distribution of different types of sinkholes in the plain areas of Southern Italy. Geodinamica Acta 23, 113–127. doi:10.3166/ga.23.113-127

Del Prete, S., Parise, M., Santo, A., 2010. Sinkhole in contesti carbonatici di aree di catena e di avampaese: confronto fra l’Appennino Campano e l’Avampaese Apulo. II Convegno Regionale di Speleologia “Campania Speleologica 2010”, Caselle in Pittari (SA), 3-6 Giugno 2010 171–185.

Delle Rose, M., Federico, A., Parise, M., 2004. PROBLEMATICHE CONNESSE A FENOMENI DI SUBSIDENZA CARSICA E SINKHOLES IN PUGLIA Atti 1° Seminario “Stato dell’arte sullo studio dei fenomeni di sinkholes e ruolo delle amministrazioni statali e locali nel governo del territorio,” APAT, Roma, 20-21 maggio 2004, 377–388.

Delle Rose, M., Federico, A., Parise, M., 2004. Sinkhole genesis and evolution in Apulia, and their interrelations with the anthropogenic environment. Natural Hazards and Earth System Sciences 4, 747–755. doi:https://doi.org/10.5194/nhess-4-747-2004

Grassi, D., Romanazzi, L., Salvemini, A., Spilotro, G., 1982. Grado di evoluzione e ciclicità del fenomeno carsico in Puglia in rapporto all’evoluzione tettonica. Geologia Applicata ed Idrogeologia 17, 55–73.

Gueguen, E., Formicola, W., Martimucci, V., Parise, M., Ragone, G., 2012. Geological controls in the development of palaeo-karst systems of High Murge (Apulia). RENDICONTI ONLINE DELLA SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA 21/2012.

Iannone, A., Pieri, P., 1979. Considerazioni critiche sui “Tufi calcarei” delle Murge. Nuovi dati litostratigrafici e paleoambientali. Geografia Fisica e Dinamica Quaternaria 2, 173–186.

Marsico, A., Selleri, G., Mastronuzzi, G., Sansň, P., Walsh, N., 2003. Cryptokarst: A Case-Study of the Quaternary Landforms of Southern Apulia (Southern Italy). Acta Carsologica 32. doi:10.3986/ac.v32i2.344

Mastronuzzi, G., Sansò, P., 2002. Pleistocene sea-level changes, sapping processes and development of valley networks in the Apulia region (southern Italy). Geomorphology 46, 19–34. doi:10.1016/S0169-555X(01)00172-6

Parise, M., 2008. Elementi di geomorfologia carsica della Puglia. In: Parise M., Inguscio S. & Marangella A. (Eds.), Atti del 45° Corso CNSS-SSI di III livello di Geomorfologia Carsica. Grottaglie, 2-3 febbraio 2008 93–118.

**Proprietà geotecniche delle calcarenite**

Andriani, G., Walsh, N., 2003. Fabric, porosity and water permeability of calcarenites from Apulia (SE Italy) used as building and ornamental stone. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 62, 77–84. doi:10.1007/s10064-002-0174-1

Andriani, G.F., Walsh, N., 2007a. Rocky coast geomorphology and erosional processes: A case study along the Murgia coastline South of Bari, Apulia — SE Italy. Geomorphology, Studies in Weathering and Slope Movements 87, 224–238. doi:10.1016/j.geomorph.2006.03.033

Andriani, G.F., Walsh, N., 2007b. The effects of wetting and drying, and marine salt crystallization on calcarenite rocks used as building material in historic monuments. Geological Society, London, Special Publications 271, 179–188. doi:10.1144/GSL.SP.2007.271.01.18

Andriani, G.F., Walsh, N., 2010. Petrophysical and mechanical properties of soft and porous building rocks used in Apulian monuments (south Italy). Geological Society, London, Special Publications 333, 129–141. doi:10.1144/SP333.13

Andriani, G.F., Lollino, P., Perrotti, M., Fazio, N.L., 2019. Incidence of Saturation and Fabric on the Physical and Mechanical Behaviour of Soft Carbonate Rocks. Presented at the 53rd U.S. Rock Mechanics/Geomechanics Symposium, OnePetro.

Ciantia, M.O., Castellanza, R., Crosta, G.B., Hueckel, T., 2015. Effects of mineral suspension and dissolution on strength and compressibility of soft carbonate rocks. Engineering Geology 184, 1–18. doi:10.1016/j.enggeo.2014.10.024

Cotecchia, V., Calò, G., Spilotro, G., 1985. Caratterizzazione geolitologica e tecnica delle calcareniti pugliesi. In: III Convegno Nazionale Attività estrattiva dei minerali di 2a categoria, Bari 17–19 gennaio 1985, PEI, Parma 1, 209–216.

Festa, V., Fiore, A., Luisi, M., Miccoli, M.N., Spalluto, L., 2018. Petrographic features influencing basic geotechnical parameters of carbonate soft rocks from Apulia (southern Italy). Engineering Geology 233, 76–97. doi:10.1016/j.enggeo.2017.12.009

Lollino, P., Andriani, G.F., 2017. Role of Brittle Behaviour of Soft Calcarenites Under Low Confinement: Laboratory Observations and Numerical Investigation. Rock Mechanics and Rock Engineering 50, 1863–1882. doi:10.1007/s00603-017-1188-0

Ricchetti, G., 1965. Alcune osservazioni sulla serie della Fossa bradanica. Le “Calcareniti di M. Castiglione". Boll. Soc. Nat. in Napoli, 74: 3-11. 74, 3–11.

**Bacini endoreici**

Alfonso, G., Belmonte, G., Frassanito, A., 2012. Relazione Finale del Progetto: Stagni temporanei del Parco Nazionale dell’Alta Murgia: peculiarità biologiche. Di.S.Te.B.A., Università del Salento - Ente Parco Nazionale dell’Alta Murgia 108.

Alfonso, G., Frassanito, A., Beccarisi, L., Belmonte, G., 2013. Relazione Finale del Progetto: Stagni temporanei del Parco Nazionale dell’Alta Murgia: peculiarità biologiche. Report 2013. Di.S.Te.B.A., Università del Salento, Ente Parco Nazionale dell’Alta Murgia 149.

Lopez, N., Spizzico, V., Parise, M., 2009. Geomorphological, pedological, and hydrological characteristics of karst lakes at Conversano (Apulia, southern Italy) as a basis for environmental protection. Environmental Geology 58, 327–337. doi:10.1007/s00254-008-1601-9

Parise, M., 2002. Caratteri geologici e geomorfologici dei laghi carsici di Conversano (Murge di sud-est). Grotte e dintorni anno 2, 43–48.

Parise, M., 2009. Lakes in the Apulian karst (Southern Italy): geology, karst morphology, and their role in the local history. In: Lake Pollution Research Progress. pp. 63–80.

Parise, M., 2017. Un esempio di idraulica in ambiente carsico: “pozzi” e “pozzelle” del territorio pugliese. Geologia dell’Ambiente, Convegno “Tecnica di Idraulica Antica”, SIGEA, Roma, 18 novembre 2016, p. 240-244. suppl. n. 3/2017, 240–244.

Parise, M., Sammarco, M., 2015. The historical use of water resources in karst. Environmental Earth Sciences 74, 143–152. doi:10.1007/s12665-014-3685-8

Terzi, M., Parise, M., S, F., 2000. Studio e conservazione del sistema ecologico degli stagni temporanei endoreici del territorio di Conversano (Ba). Genio Rurale 10, 40–48.