



CONSIGLIO REGIONALE
DELLA PUGLIA

STRUMENTI DI STUDIO, DOCUMENTAZIONE E RICERCA A SUPPORTO
DELLE POLITICHE REGIONALI VERSO I "SUSTAINABLE DEVELOPMENT
GOALS" E TEST FOCUS SULLA SOSTENIBILITA' DEL GEOSCAMBIO
TERMICO

DELIVERABLE 5.1

Documento	<i>Report finale delle attività on line</i>	
Data di emissione	09/2022	
Data di rilascio	10/2022	
Autori	Chieco Michele De Giorgio Giorgio Limoni Pier Paolo Musicco Giuseppe Polemio Maurizio Romanazzi Annarita Zuffianò Livia	
Approvato	Polemio Maurizio (Resp. Scientifico)	Vers. 1.3

Prodotto del Gruppo di Idrogeologia <http://hydrogeology.ba.irpi.cnr.it>

STRUMENTI DI STUDIO, DOCUMENTAZIONE E RICERCA A SUPPORTO
DELLE POLITICHE REGIONALI VERSO I “SUSTAINABLE DEVELOPMENT
GOALS” E TEST FOCUS SULLA SOSTENIBILITA’ DEL GEOSCAMBIO
TERMICO

DELIVERABLE 5.1

Report finale delle attività

Codice doc.: Report finale on line.docx

Distribuzione: Consiglio regionale della Puglia e CNR

Data	N. facciate utilizzate.	Responsabile scientifico	Con il contributo di	Approv.
10/2022	69	Polemio M.	Chieco M. De Giorgio G. Musicco G. Pier P. Limoni Romanazzi A. Zuffianò L.E.	Polemio M.

Indice

1	INTRODUZIONE	3
2	ATTIVITÀ E PRODOTTI PREVISTI DALLA CONVENZIONE	5
3	WP E ATTIVITÀ REALIZZATE	8
3.1	WP1 - Raccolta settoriale normativa e tecnica e <i>best practices</i>	8
3.1.1	Metodologia di ricerca	8
3.1.2	Risultati conseguiti.....	10
3.1.2.1	Il quadro normativo delle nazioni della comunità europea	10
3.1.2.2	Quadro normativo nazionale.....	13
3.1.2.3	Procedure regionali e provinciali per la realizzazione degli impianti geotermici a bassa entalpia	14
3.1.2.4	Analisi e raccolta di best practices riconducibili all’obiettivo 7 degli SDGs realizzate nella Regione Puglia	17
3.2	WP2 - Geodatabase dei progetti di scambio geotermico realizzati in Puglia	18
3.2.1	Metodologia di ricerca	18
3.2.2	Risultati conseguiti.....	20
3.3	WP3 - Ricerca in sito sugli effetti della gestione di impianti geotermici a ciclo chiuso	20
3.3.1	Il monitoraggio idrochimico e piezometrico	20
3.3.1.1	I rilievi automatici nei piezometri.....	21
3.3.1.2	I carotaggi multiparametrici lungo i piezometri.....	26
3.3.1.3	Le caratteristiche idrochimiche	28
3.3.2	Le emissioni di gas radon nei siti di monitoraggio.....	30
3.3.2.1	I principali risultati sul monitoraggio del radon	35
3.3.2.1.1	Sito 1 - Palazzo Agricoltura a Bari.....	35
3.3.2.1.2	Sito 2 - Uffici Regionali a Lecce.....	36
3.3.2.1.3	Sito 3 - Uffici Regionali a Taranto.....	37

3.3.2.1.4	Sito 4 - Masseria “Le Cesine”, Oasi Nazionale WWF: Vernole (LE)	38
3.4	WP4 - Analisi e ricerca sui potenziali rischi in Puglia del geoscambio (rischi idrogeologici e geochemici diretti ed ecologici)	42
3.4.1	Carsismo e cavità sotterranee	43
3.4.2	Pericolosità idraulica e geomorfologica	44
3.4.3	Acque sotterranee	47
3.4.4	Pozzi ad uso potabile e sorgenti	48
3.4.5	Dissoluzione e alterazione chimica delle rocce	49
3.4.6	Aspetti biochimici ed ecologici	50
3.4.7	Subsidenza	50
3.4.8	Fluido termovettore	51
3.5	Criteri di realizzazione in contesti di attenzione	52
3.6	La Cartografia Guida	52
3.6.1	La mappa dei modelli stratigrafici della Regione Puglia: metodologia di elaborazione e finalità	54
3.6.2	Delimitazioni di aree e ottimali procedure di realizzazione	60
4	ATTIVITÀ DI GESTIONE AMMINISTRATIVA E TECNICA DEL PROGETTO	64
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	66

1 Introduzione

Nel corso degli ultimi anni si sta rapidamente affermando anche nel nostro Paese l'utilizzo della risorsa geotermica come fonte di energia rinnovabile.

L'incremento nell'utilizzo di questa risorsa è stato favorito indubbiamente dai progressi tecnologici degli impianti geotermici a bassa entalpia, basati sullo scambio termico tra edificio e sottosuolo, reso possibile dall'accoppiamento tra pompe di calore sempre più performanti e sonde geotermiche installate nel sottosuolo, all'interno delle quali circola il fluido termovettore mediante cui si attua lo scambio termico.

L'incremento della diffusione di questo tipo di impianti, generalmente utilizzati nella climatizzazione di edifici e la produzione di acqua calda sanitaria (ACS), non è stato però seguito da un quadro di disposizioni normative adeguatamente sviluppato. Pertanto, l'esigenza di definire una specifica ed univoca legislazione che disciplini le modalità di installazione e le autorizzazioni degli impianti geotermici a bassa entalpia è diventata via via più sentita.

Per contribuire a soddisfare tale esigenza, è stata siglata la Convenzione operativa "Strumenti di studio, documentazione e ricerca a supporto delle politiche regionali verso i "Sustainable Development Goals" e test focus sulla sostenibilità del geoscambio termico" tra il Consiglio Regionale della Puglia e il Consiglio Nazionale delle Ricerche, segnatamente il l'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (IRPI) e L'Istituto di Ricerche Sulle Acque (IRSA), convenzione attuativa della Deliberazione dell'Ufficio di Presidenza del Consiglio N. 160 del 24 maggio 2018 ("Approvazione schema di Accordo Quadro di collaborazione per attività di interesse comune tra il Consiglio Regionale della Puglia ed il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR)").

Le attività svolte sono state definite per consentire la realizzazione di una base informativa utile per i decisori, evidenziando eventuali situazioni che richiedano particolare cura e attenzione, individuando possibili soluzioni di adeguamento legislativo, quali possibili strumenti che risultino anche efficaci per il raggiungimento degli SDGs, nelle loro declinazioni territoriali di riferimento per la Puglia.

Come previsto dall'art. 2, “... *la panoramica sulle attività di ricerca potrà offrire anche l'occasione di verificare ad ampio raggio, gli ambiti normativi, specie regionali, nei quali la ricerca stessa opera in raccordo con il tessuto economico e di raccogliere eventuali mirate istanze di miglioramento del quadro di regole che apportino benefici economico-sociali al territorio pugliese.*” Esattamente con tale finalità si è operato dalle prime fasi di attività fino alle finali, inclusa quella di stesura di questo report finale, conseguendo risultati, esposti nell'ambito di diversi documenti, nell'ambito di eventi anche divulgativi se non di rilievo scientifico, tra cui la pubblicazione su prestigiose riviste internazionali, che si ritengono certo degni di particolare attenzione e che questo report riassume.

La Convenzione prevedeva inizialmente una durata di due anni (art. 5 della Convenzione), estesa dal Comitato di Indirizzo costituito in coerenza con l'art. 3 della Convenzione, in relazione alle peculiari condizioni determinate dalla pandemia.

2 Attività e prodotti previsti dalla Convenzione

Le attività e i prodotti previsti dalla Convenzione sono descritti dalla Proposta Operativa che è allegata alla Convenzione.

I workpackage (WP) sono stati distinti con riferimento all'Istituto CNR maggiormente coinvolto nella specifica attività, quelli relativi all'IRPI sono elencati nella seguente Tabella 1.

WP	Titolo
WP IRPI 1 – RACCOLTA SETTORIALE NORMATIVA E TECNICA E DI BEST PRACTICES	
WP IRPI 1.1	Review Norme e linee guida tecniche regionali, nazionali ed internazionali sugli impianti geotermici
WP IRPI 1.2	Analisi e raccolta di “Best practices” riconducibili all’obiettivo 7 degli SDGs realizzate nella Regione Puglia
WP IRPI 2 – GEODATABASE DI PROGETTI DI SCAMBIO GEOTERMICO REALIZZATI IN PUGLIA	
WP IRPI 2.1	Raccolta e catalogazione di dati relativi ad impianti geotermici, sia privati che pubblici, realizzati in Puglia
WP IRPI 2.2	Progettazione, strutturazione e popolamento di testing del Geodatabase POSTGIS (open source)
WP IRPI 3 - RICERCA IN SITO SUGLI EFFETTI DELLA GESTIONE DI IMPIANTI GEOTERMICI A CICLO CHIUSO	
WP IRPI 3.1	Funzionalizzazione del sistema di monitoraggio del sito di studio pilota
WP IRPI 3.2	Misure in sito per la caratterizzazione idrogeologica dell'area ed esposizione delle conoscenze stratigrafiche
WP IRPI 3.3	Analisi chimiche per lo studio idrogeochimico
WP IRPI 3.4	Elaborazione dei dati
WP IRPI 4 - ANALISI E RICERCA SUI POTENZIALI RISCHI NATURALI IN PUGLIA DEL GEOSCAMBIO (RISCHI IDROGEOLOGICI E GEOCHIMICI DIRETTI ED ECOLOGICI)	
WP IRPI 4.1	Delimitazione del territorio regionale in contesti geoambientali
WP IRPI 4.2	Individuazione dei rischi naturali specifici e delle misure di minimizzazione individuate da adottare nella fase di regolamentazione legislativa
WP IRPI 5 - ATTIVITÀ DI GESTIONE AMMINISTRATIVA E TECNICA	
WP IRPI 5.1	Coordinamento, Comitato di indirizzo, rendicontazione

Tabella 1– I WP “IRPI”.

A ciascun WP corrisponde uno o più prodotti o *deliverable*, come elencati dalla Tabella 2.

Deliverable	Titolo
DEL IRPI 1.1	Report sulla raccolta di normativa, indirizzi tecnici e best practices
DEL IRPI 2.1	Geodatabase Postgis
DEL IRPI 3.1	Sistema di monitoraggio dell'impianto
DEL IRPI 3.2	Analisi chimiche e misure in sito
DEL IRPI 3.3	Report sugli effetti della gestione dell'impianto sperimentale a ciclo chiuso
DEL IRPI 4.1	Report sui rischi derivanti dagli impianti a geoscambio
DEL IRPI 5.1	Report finale delle attività

Tabella 2 - I Deliverable "IRPI".

Tutte le attività descritte e previste per ciascun WP sono state svolte, nonostante gli effetti del lungo periodo pandemico abbiano non poco complicato e rallentato le attività. Alcune attività hanno richiesto un adattamento in relazione a limitazioni strutturali emerse nel corso delle stesse, ad esempio in relazione alle caratteristiche tecniche degli impianti su cui si è andati ad operare nelle fasi di monitoraggio. In ogni caso, i risultati conseguiti come le modalità e le eventuali problematiche operative emerse sono descritti nei corrispondenti *deliverable* (A ciascun WP corrisponde uno o più prodotti o *deliverable*, come elencati dalla Tabella 2) cui si rimanda per trattazioni più estese e approfondite. Gli elementi principali di questi aspetti sono riassunti nei successivi capitoli di questa Relazione.

Per consentire un miglioramento comune della capacità istituzionale degli enti sottoscrittori, e quindi del servizio che essi rendono per il pubblico interesse, tutte le attività sono state svolte in modo complementare e sinergico, in reciproca collaborazione e raccordo e, ove possibile, con diretta partecipazione in particolare delle strutture consiliari di studio e supporto alla legislazione. Il confronto, continuo e in occasione delle riunioni di Comitato, ha consentito la piena e razionale realizzazione del progetto, massimizzando i risultati e prevenendo la replicazione di attività. Esporre e condividere metodi e risultati nell'ambito di diversi documenti, compresi articoli su prestigiose riviste internazionali, o in occasione di eventi, divulgativi o di target scientifico, ha

consentito di estendere tale confronto ai più estesi ambiti della società civile e della comunità scientifica.

3 WP e attività realizzate

3.1 WP1 - Raccolta settoriale normativa e tecnica e *best practices*

3.1.1 *Metodologia di ricerca*

Al fine di offrire una panoramica del quadro normativo e delle esperienze attuate nel contesto globale, inerenti all'utilizzo della geotermia e, in particolare, alle applicazioni a bassa entalpia, a partire dalle esperienze europee ed internazionali, fino al dettaglio nazionale e regionale, è stata condotta un'accurata e metodica ricerca sulle normative di settore, includendo direttive o regolamenti, norme tecniche, documenti tecnico-scientifici redatti da enti pubblici o associazioni di categoria.

In una prima fase, i documenti sono stati ricercati con parole chiave in lingua inglese, utilizzando database digitali e fonti web. La ricerca è stata ripetuta in lingua italiana, per affinare i risultati a scala nazionale e regionale.

Sono stati selezionati tre gruppi di parole chiave (30 parole chiave in totale) per focalizzare la selezione del documento considerando il tipo di documento, l'applicazione geotermica e/o i possibili rischi naturali. Documenti inutili, superflui o ridondanti sono stati scartati.

È stata creata una scheda per ogni documento selezionato che comprende dati bibliografici, una sintesi del documento focalizzata sugli scopi di ricerca, idee utili, informazioni o esempi di regolamenti o leggi e qualsiasi informazione su esperienze legate a rischi naturali.

Il database finale comprende 161 documenti. I documenti possono essere suddivisi in quattro gruppi: documenti scientifici, informativi, tecnici e legali. Il 34% del database è costituito da documenti scientifici (articoli pubblicati su riviste internazionali, libri, atti di convegni e tesi). Il 26% del database è costituito da documenti scientifici informativi (articoli tecnici, didattici o divulgativi, fonti, lezioni o presentazioni), generalmente disponibili per il download gratuito. Il gruppo più numeroso, pari al 40%, è quello normativo/legale, costituito da documenti ufficiali legislativi.

Circa il 14% dei documenti sono teorici, metodologici o didattici, quindi non sono geograficamente localizzabili. Considerando i restanti documenti, il 64% del

totale si riferisce all'Europa, e i rimanenti si distribuiscono fra 'America, Asia, Africa e Oceania (Figura 1).

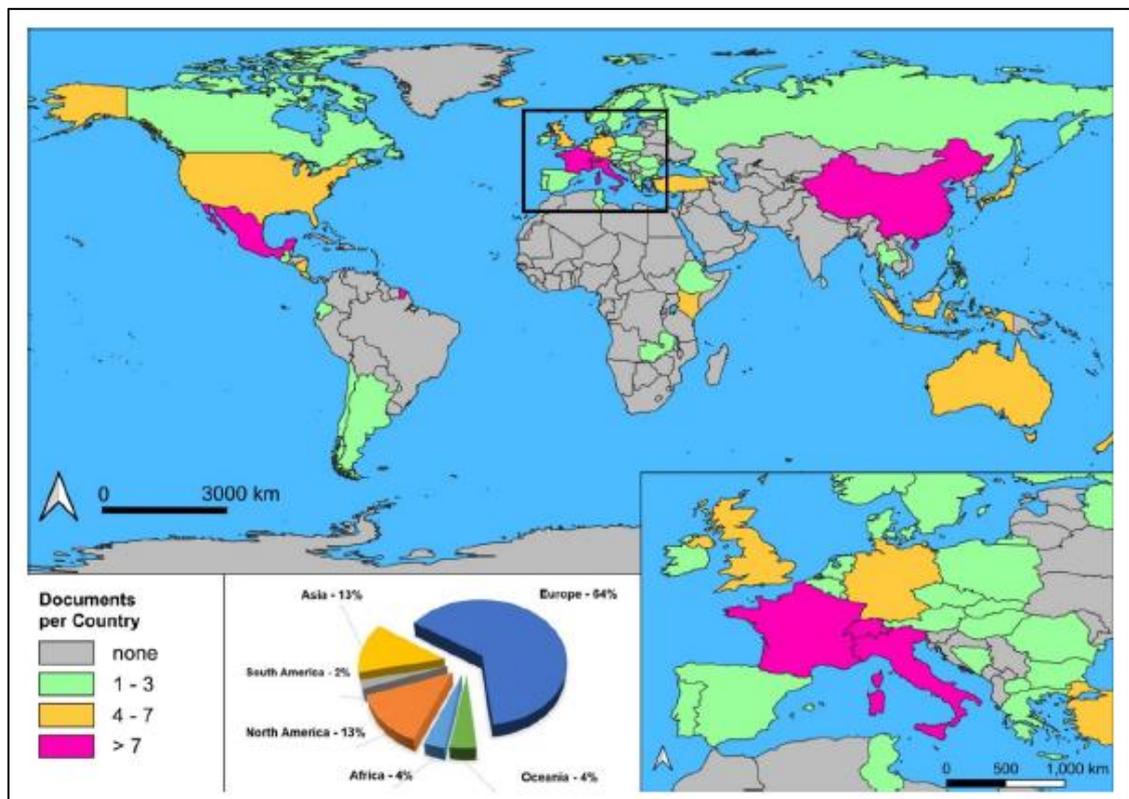


Figura 1 - Mappa di presenza nazionale dei documenti selezionati e percentuale continentale

Del database, il 14% riguarda i paesi dell'Unione Europea, essendo principalmente disposizioni normative. Esclusi i documenti relativi a tutti i membri UE e all'Italia, sui quali la ricerca è stata dettagliata, il numero di documenti riguardanti Francia, Svizzera, Germania e Il Regno Unito prevale (Figura 1).

Per l'Italia il quadro normativo di riferimento, per gli impianti a bassa entalpia varia da Regione a Regione e, in alcuni casi, anche da provincia a provincia. Prevalgono i documenti sulle Regioni Toscana, Veneto e Piemonte, dove da anni esiste una normativa regionale (Figura 2).

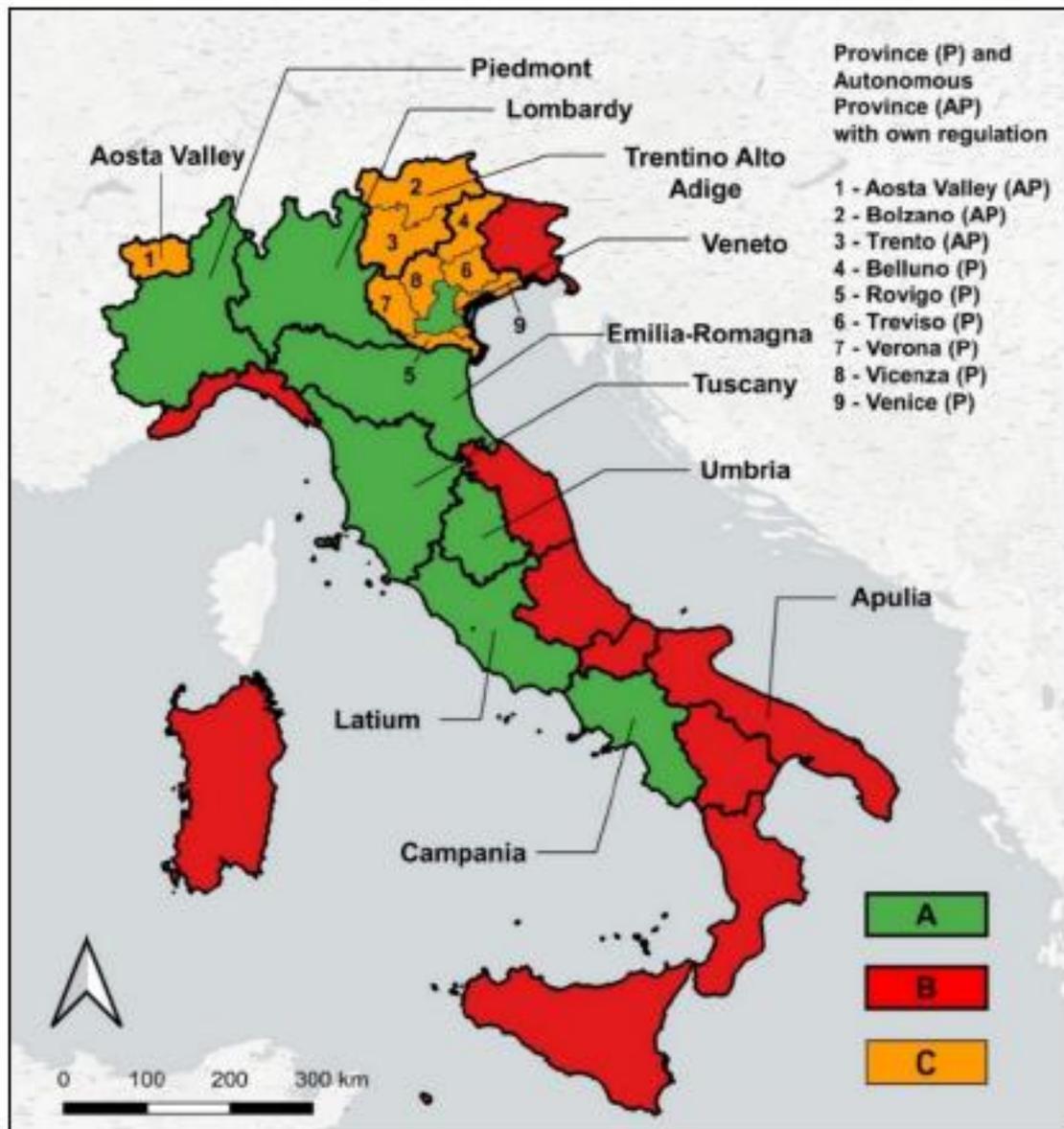


Figura 2 - Panoramica della normativa italiana sulla geotermia a bassa entalpia. (A) regione con regolamento; (B) regione senza regolamentazione; (C) provincia con regolamento.

3.1.2 Risultati conseguiti

3.1.2.1 Il quadro normativo delle nazioni della comunità europea

La legislazione internazionale in materia di shallow geothermal energy (<400m di profondità) è piuttosto variegata e disomogenea, come rileva lo studio “International legal status of the use of shallow geothermal energy” – S. Haehnlein, P. Bayer, P., Renewable and Sustainable Energy Reviews 14 (2010) 2611–2625) (Tabella 3).

Country	Laws (publishing date)	Country	Laws (publishing date)
Australia	Energy Resources Act (1967) The Petroleum and Geothermal Rights in Water and Irrigation Act (1914) Water Act (2000)	Indonesia	Geothermal Law (23/10/2003)
Austria	Österreichischer Wasser- und Abfallzweckverband (ÖWAV) Regelblatt 207: Thermal Use of Groundwater and Subsurface – Heating and Cooling (2009)	Lithuania	Underground Law (I-1034, 05/01/1996)
Belgium	Decree on Environmental Permits (28/06/1985)	Mexico	Water Act (1992)
Bulgaria	Constitution (1991) Law on the Renewable and Alternative Sources of Energy and the Biofuels (2007)	Netherlands	Groundwater Law (1981) Mining Law (01/01/2003)
Canada	Water Act (1999)	Norway	Neighbor Law (n.a.)
China	Water Act (1985) Renewable Energy Law (2006)	Philippines	Economic Activity Law (n.a.) Geological and Mining Law (19/11/1999) Renewable Energy Act (2008)
Czech Republic	Building and Planning Act (No 183/2006)	Poland	Water Act (1974)
Denmark	Order on Heat Abstraction and Groundwater Cooling Plants (BEK-1206, 24/11/2006) Order on Groundwater Heating BEK-1203, 20/11/2006)	Portugal	Decree-Law 87/90 (16/03/1990)
Ecuador	Water Act (n.a.)	Romania	Environment Protection Law (No. 265/2006) Mining Law (No. 61/1998) Water Law (No. 310/2004)
Finland	Environmental Protection Act (2000) Water Act (1961)	Slovakia	Water Law (2004) (Law No. 364/2004)
France	Decree 74-498 (24/03/1978) Decree 77-620 (16/06/1977) Decree 78-498 (28/03/1978) Mining Law (16/08/1956)	Slovenia	Mining Law 2004 (Official Gazette, 98/2004) Water Law 2002 (Official Gazette, 67/2002)
Germany	Mining Law (13/08/1980) Federal Water Act (27/07/1957)	Sweden	Normbrunn 97 (2002)/Normbrunn 07 (2008)
Great Britain	Water Environment Regulations (2005)	Switzerland	Water Protection Order (28/10/1998)
Greece	Decision of Minister of Development No. Δ9B, Δ/Φ166/ΟΙΚ 18508/5552/207 on Installation Permits for Ground Source Heat Pumps (n.a.)		

n.a., not available.

Tabella 3 – Principali riferimenti normativi internazionali.

A livello europeo, la promozione dell'utilizzo delle fonti di energia rinnovabile e quindi anche della SGE (shallow geothermal energy) è da tempo una finalità centrale della politica energetica comunitaria e già nel 1986 il Consiglio (GU C 241 del 25.9.1986) l'aveva assunta tra i suoi obiettivi energetici. Da allora sono stati compiuti notevoli progressi tecnologici, grazie ai vari programmi comunitari di ricerca e sviluppo tecnologico (RST) e di dimostrazione come JOULE-THERMIE, INCO e FAIR, che hanno contribuito non solo a creare un'industria europea in tutti i settori delle fonti energetiche rinnovabili, ma anche a raggiungere una posizione leader in questo campo. Con il programma ALTENER (GU L 235 del 18.9.1993, pag. 41) il Consiglio per la prima volta ha adottato uno strumento finanziario specifico per la promozione delle FER.

Con la Direttiva Europea 2001/77/CE sulla promozione dell'energia elettrica prodotta da FER nel mercato interno dell'elettricità, la Comunità Europea: istituisce un quadro comunitario per promuovere FER nella produzione di energia elettrica; fissa un obiettivo del 21% come contributo FER; prevede misure specifiche per la valutazione dell'origine dell'energia elettrica e la connessione alla rete e le procedure amministrative. Con la Direttiva 2001/77/CE si riconosce, in

pratica, l'energia geotermica come fonte energetica rinnovabile mentre la Direttiva 2002/91/CE indica come sistema alternativo per il risparmio energetico la pompa di calore.

A seguito dell'inclusione di uno specifico titolo nel Trattato sul Funzionamento dell'Unione Europea (UE) di Lisbona del 13 dicembre 2007 (2012/C326/47), ratificato dalla legge 2 agosto 2008, n. 130 (G.U. n.185 del 8-8-2008 - Suppl. Ordinario n.188), l'energia è diventata un'area di competenza condivisa tra le istituzioni UE e gli stati membri.

Con la Direttiva 2009/28/CE e la successiva COM (2016) 767 sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili (Renewable Energy Sources Directive meglio conosciuta come RES Directive) e la Direttiva 2010/31/EU sulla prestazione energetica degli edifici (EPBD - European Performance of Building Directive), soprattutto le tecnologie SGE possono giocare un ruolo cruciale proprio per migliorare la prestazione energetica degli edifici.

Dal dicembre 2018 è definitivamente entrato in vigore il nuovo pacchetto di norme europee sull'uso delle FER e l'efficienza energetica, norme che ridefiniscono in modo ufficiale l'approccio dell'Unione all'utilizzo dell'energia per la lotta ai cambiamenti climatici.

Il pacchetto si compone del Regolamento 2018/1999/UE sulla governance dell'Unione dell'energia e dell'azione per il clima, direttamente applicabile dagli Stati membri, e di due Direttive, rispettivamente sulle FER (2018/2001/UE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili) e sull'efficienza energetica (2018/2002/UE che modifica la Direttiva 2012/27/UE sull'efficienza energetica), pacchetto che vincola ciascuna nazione a raggiungere lo stesso risultato, senza imporre direttamente o esplicitamente le azioni da attuare.

Come le misure per la promozione delle fonti rinnovabili o dell'efficienza energetica, anche quelle poste in essere per la protezione e il miglioramento dell'ambiente possono incentivare lo sviluppo dei sistemi SGE. Per esempio, la Direttiva 2000/60/EC che istituisce un quadro per l'azione comunitaria in materia di acque (WFD - Water Framework Directive), se da un lato stabilisce che gli stati membri implementino le misure necessarie per prevenire il deterioramento dei corpi idrici superficiali, anche prevenendo o limitando l'immissione di inquinanti nelle acque sotterranee, con l'articolo 11 affida agli stati membri l'opzione di

autorizzare la reiniezione nello stesso acquifero dell'acqua impiegata a fini geotermici se non compromette gli obiettivi ambientali della direttiva.

3.1.2.2 Quadro normativo nazionale

La storia normativa italiana in materia di geotermia ha avuto inizio con il Regio Decreto n.1443 del 29 luglio del 1927 che, assimilando l'energia geotermica ad una risorsa mineraria, ne regolava la ricerca e la coltivazione in regime concessorio, consentendo le attività soltanto a soggetti fisici e giuridici che dimostravano di possedere le capacità tecniche ed economiche per svolgere il programma dei lavori.

Aggiornato nel corso degli anni, il decreto è rimasto in vigore fino all'entrata in vigore del Decreto Legislativo n. 112 del 1998, con il quale veniva delegata alle Regioni la competenza amministrativa sulle risorse geotermiche (art.34). Con la Legge 23 luglio 2009 n. 99, nota come "legge sviluppo" si dà il via ad una profonda e sostanziale modifica della normativa sulle risorse geotermiche. In particolare, viene delegato il Governo (art. 27 comma 28) ad adottare decreti legislativi atti a garantire un regime concorrenziale per l'utilizzo delle risorse geotermiche ad alta temperatura e semplificare i procedimenti amministrativi per l'utilizzo delle risorse geotermiche a bassa e media temperatura.

Con il Decreto Legislativo n.22 dell'11 febbraio 2010 "Riassetto della normativa in materia di ricerca e coltivazione delle risorse geotermiche", vengono messe in atto le deleghe di cui al citato art. 27 comma 28 della Legge 99 del 2009, uniformando la normativa ai principi europei di liberalizzazione del mercato elettrico e di abolizione dei monopoli, garantendo un regime concorrenziale per l'utilizzo delle risorse geotermiche, coniugando la necessità di sviluppo della produzione energetica da fonti rinnovabili con quella primaria della tutela del paesaggio e dell'ambiente. La norma persegue così l'obiettivo di favorire l'utilizzo della risorsa geotermica, in particolare attuando una semplificazione delle procedure per l'uso delle risorse geotermiche a bassa entalpia, in coerenza con gli indirizzi comunitari ed internazionali per la riduzione delle emissioni di anidride carbonica e l'apertura ad un regime concorrenziale che assicuri una trasparente e non discriminatoria assegnazione in concessione delle risorse geotermiche. È con questo D.L., in particolare l'art. 10, che vengono inoltre chiaramente distinte nell'ambito delle applicazioni geotermiche, le piccole utilizzazioni locali di calore

geotermico, ossia quelle che consentono la realizzazione di impianti di potenza inferiore a 2 MWt, ottenibili dal fluido geotermico alla temperatura convenzionale di 15° centigradi, mediante l'esecuzione di pozzi di profondità fino a 400 metri. Nello stesso articolo vengono classificate come piccole utilizzazioni locali di calore geotermico anche quelle effettuate tramite l'installazione di sonde geotermiche che scambiano calore con il sottosuolo senza effettuare il prelievo e la reimmissione nel sottosuolo di acque calde o fluidi geotermici. Su tale Decreto è intervenuto successivamente il D.Lgs. 28/2011 di recepimento della direttiva UE 2009/28/CE sulla promozione dell'uso dell'energia da fonti rinnovabili, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 2001/77/CE e 2003/30/CE.

Affinché il D.Lgs. 28/2011 avesse completa efficacia risultava di vitale importanza l'emanazione del relativo decreto attuativo, il cosiddetto "Decreto Posa Sonde", ossia un decreto di recepimento della direttiva 2009/28/CE in materia di energie rinnovabili, in cui dovevano essere stabilite "le prescrizioni per la posa in opera degli impianti di produzione di calore da risorsa geotermica, ovvero sonde geotermiche, destinati al riscaldamento e alla climatizzazione di edifici", e si sarebbero dovuti individuare "i casi in cui si applica la procedura abilitativa semplificata (...)". L'assenza del richiamato "Decreto Posa Sonde" ha generato quindi in Italia un panorama di procedure con strumenti eterogenei e di rango differente (linee guida, regolamenti, leggi regionali, ecc.) non del tutto coerente e frammentario, tra le diverse Regioni e, con riferimento ai regolamenti attuativi, anche tra diverse Province.

3.1.2.3 Procedure regionali e provinciali per la realizzazione degli impianti geotermici a bassa entalpia

L'analisi della normativa regionale e provinciale italiana riguardante le piccole utilizzazioni degli impianti geotermici a circuito chiuso evidenzia la presenza di un panorama di regole e di differenti livelli gerarchici frammentato e disomogeneo che, di fatto, ha costituito una oggettiva limitazione nella diffusione di questa tecnologia soprattutto in quelle regioni dove non sono presenti riferimenti normativi ed iter autorizzativi chiari e codificati. Allo stato attuale, solo la metà delle Regioni Italiane è dotata di riferimenti normativi vigenti ed attuativi, la maggior parte delle quali concentrate nella zona centro settentrionale della

nazione, dove tra l'altro l'uso degli impianti geotermici a circuito chiuso risulta maggiormente diffuso.

Analizzando nello specifico le norme vigenti, inoltre, risulta abbastanza chiara la soggettività che ha guidato la definizione della tipologia di impianti a circuito chiuso, i relativi iter autorizzativi e la relativa documentazione tecnica a corredo dell'istanza. In molte regioni, per la definizione della categoria di impianto sono stati presi come criteri distintivi la potenza termica e/o frigorifera e la profondità di posa delle sonde geotermiche verticali. Prendendo in considerazione solo questi parametri, è possibile osservare che in 3 Regioni (Emilia Romagna, Toscana ed Umbria) e nella Provincia Autonoma di Trento non vengono operate distinzioni nella tipologia di impianto, in 4 Regioni (Lombardia, Piemonte, Veneto con esclusione della provincia di Vicenza e Campania) e nella Provincia Autonoma di Bolzano le categorie di impianto sono 2, nella sola Regione Val D'Aosta ne sono state distinte 3, nella sola Provincia di Vicenza sono distinte 4 tipologie di impianto ed infine nella Regione Lazio, che ha la normativa geotermica adottata più recente, 6 tipologie.

Nel panorama legislativo analizzato, inoltre, pochissime regioni e province e regioni si sono dotate di cartografie specifiche ad indirizzo geotermico e della tutela ambientale territoriale, rimandando a futuri atti l'adozione di tali strumenti di pianificazione. Attualmente un modello a riguardo è rappresentato dalle cartografie della Provincia Autonoma di Trento che ha adottato con Delibera 2154 del 03.09.2009 la "Carta delle limitazioni", aggiornandola periodicamente, e da quelle a corredo dei regolamenti vigenti della provincia di Vicenza.

Un aspetto mai trattato infine è presente nella Legge Regionale del Lazio, che ha introdotto il rischio Radon come elemento dirimente per la realizzazione degli impianti geotermici a circuito chiuso. La previsione normativa si è mostrata potenzialmente soggetta a critiche in relazione alla sua strutturazione fortemente limitante, forse ispirata da un principio di cautela a compensazione di una non esaustiva base di conoscenza. Tale legge vieta infatti, ai sensi dell'art. 6 comma 4, l'installazione di impianti geotermici che implicano la realizzazione di pozzi in tutte le zone della Regione dove si riscontri la presenza di gas radon con livelli superiori a 300 Bq/m^3 . Questo comma, attese le problematiche applicative, è stato sostituito con la Legge regionale 14 agosto 2017, n. 9, e nel testo attuale non

esiste più un riferimento al radon e suoi valori specifici di concentrazione ma si prevede il divieto di installazione di impianti geotermici che implicino la realizzazione di pozzi in tutte le aree della Regione (con riferimento alla Carta idro-geo-termica regionale di cui all'articolo 5, comma 3) in cui “si riscontra una fuoriuscita anomala di gas endogeni nocivi alla salute umana”.

La legge del Lazio è soggetta a frequenti modifiche, circostanza questa che meglio di ogni altra attesta la complessità della redazione di queste norme di legge e la necessità di “testing sul campo” delle disposizioni in tale materia; l'ultimo aggiornamento di cui si ha notizia, al momento della redazione del presente report, è quello recato dalla legge regionale 11 agosto 2021, n. 14, denominata “Disposizioni collegate alla legge di Stabilità regionale 2021 e modifiche di leggi regionali”. In tale contesto significativa è la previsione che *“Le piccole utilizzazioni locali di cui al comma 1 sono assoggettate alla procedura abilitativa semplificata stabilita dall'articolo 6 del d.lgs. 28/2011, limitatamente al caso in cui il prelievo e la restituzione delle acque sotterranee restino confinati nell'ambito della falda superficiale, fermi restando gli oneri per l'utilizzo delle acque pubbliche stabiliti dalla normativa vigente, ove applicabili”*. La modifica interviene inoltre anche su diversi altri profili tra i quali quello del riparto di competenze tra Regione e Città metropolitana di Roma Capitale, province e Comuni territorialmente interessati.

Alla luce delle numerose differenze normative presenti ed illustrate in questa Relazione, si riscontra la necessità generalizzata di revisionare, aggiornare e magari omogeneizzare i regolamenti attualmente esistenti per il settore.

Un primo fondamentale punto di partenza sarebbe quello della definizione del livello normativo maggiormente efficace che porti a questa finalità. Le opzioni schematicamente sarebbero le seguenti: una Legge Quadro nazionale che fornisca direttive e linee guida entro le quali le singole regioni possano muoversi in relazione alle loro peculiarità territoriali oppure Leggi Regionali e/o Provinciali che disciplinino il settore dal punto di vista tecnico, ambientale e autorizzativo. Entrambe queste possibilità hanno aspetti sia positivi che negativi, ma la definizione di una Legge Quadro nazionale porterebbe conseguire quella omogeneizzazione nelle definizioni, nella categorizzazione degli impianti ed in molti altri aspetti che attualmente non sono disponibili, e che difficilmente potrebbero essere attuati demandando la regolamentazione normativa alle

Regioni senza definire un “recinto” comune all’interno del quale operare in maniera territorialmente specifica.

Oltre agli aspetti prettamente legati alla gerarchia legislativa, una delle tematiche che si ritiene indispensabile per una efficace valorizzazione di questa tecnologia, a prescindere dal livello normativo adottato a da adottare, e che attualmente viene presa in uguale considerazione in tutti i territori, riguarda la realizzazione di cartografie tematiche specifiche e analisi approfondite dei rischi ambientali di ogni area che richiedano particolare attenzione. L’approfondimento degli studi infatti, con particolare riferimento ai reali rischi ambientali caratteristici di ogni territorio, può consentire la tutela ambientale ed allo stesso tempo non limitare, dove non necessario, la diffusione di questa tecnologia sostenibile.

3.1.2.4 Analisi e raccolta di best practices riconducibili all’obiettivo 7 degli SDGs realizzate nella Regione Puglia

Rispetto alle Buone Pratiche (*Best Practices*), l’attività condotta nel WP1 ha permesso di restituire un preliminare quadro di sintesi degli interventi di costruzione di impianti geotermici a circuito chiuso realizzati o in corso di realizzazione da parte della Regione Puglia su propri immobili, censibili alla data di rilascio del Deliverable IRPI 1.1 e riconducibili all’obiettivo 7 degli SDGs (Sustainable Development Goals), che prevede di assicurare a tutti l’accesso a sistemi di energia economici, affidabili, sostenibili e moderni. Giova a tal proposito ricordare che, in virtù del loro ruolo determinante nel ridurre consumi ed emissioni, e quindi nel migliorare l’efficienza energetica del patrimonio immobiliare regionale, gli impianti geotermici sono riconosciuti come buone pratiche e conseguentemente citati nei periodici Documenti di Economia e Finanza Regionale, che rappresentano il presupposto per l’attività di controllo strategico e per la valutazione dei risultati conseguiti dall’Amministrazione e perseguono un obiettivo di trasparenza nei confronti dei cittadini, delle imprese, degli operatori sociali e culturali, degli enti locali e del territorio rispetto alle linee strategiche e ai risultati attesi.

L’attività realizzata nel WP1 è stata in questo ambito propedeutica alla definizione del Geodatabase di cui al successivo WP2.

3.2 WP2 - Geodatabase dei progetti di scambio geotermico realizzati in Puglia

3.2.1 Metodologia di ricerca

Il geodatabase realizzato per il Progetto (WP 2.2 – DEL 2.1) è stato organizzato per l'archiviazione dei dati esistenti e per l'archiviazione di quelli derivanti dalle attività di studio in sito.

I dati esistenti sono stati reperiti generalmente da report tecnici e pubblicazioni presso le Amministrazioni Pubbliche e/o i Centri di Ricerca e successivamente archiviati in dati grafici (vettoriali e Raster), dati tabellari e dati storici.

I dati derivanti dalle attività di studio in sito invece, derivano dal monitoraggio del sito pilota del Progetto, il Palazzo Agricoltura avente sede a Bari, e dagli altri siti di indagine.

Nella Figura 3 si rappresenta in modo schematico la struttura del GDB di progetto.

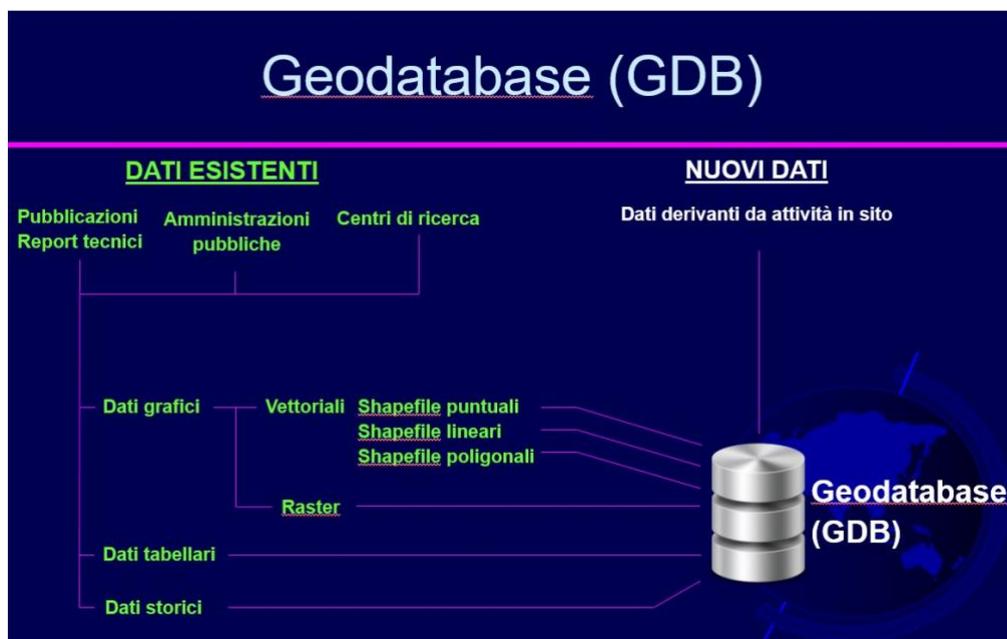


Figura 3 - Rappresentazione grafica e schematica del geodatabase.

Le informazioni relative agli impianti geotermici censiti sono state archiviate in un geodatabase spatialite (open source) la cui struttura gerarchica è stata

organizzata in *feature dataset* e *feature classes*, in cui ogni *feature dataset* contiene un gruppo omogeneo di *feature classes*.

Nel *geodatabase* creato per il Progetto sono state definite 23 *feature classes* organizzate e suddivise in 5 *feature dataset*. La Figura 4 sintetizza tutti i tematismi archiviati.

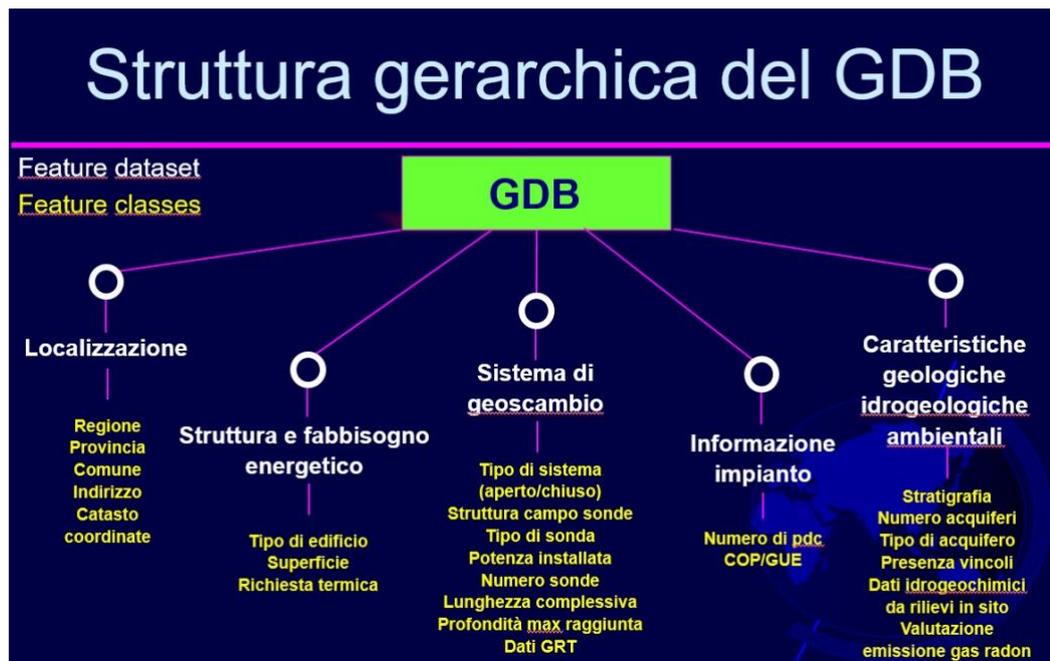


Figura 4 - I "temi" previsti nel *geodatabase* (GDB)

Le *feature dataset* sono le seguenti:

1. Localizzazione,
2. Struttura e fabbisogno energetico,
3. Sistema di geoscambio,
4. Informazioni impianto,
5. Caratteristiche geologiche, idrogeologiche ed ambientali.

In ogni *feature dataset* sono presenti un gruppo di *feature classes* omogenee che descrivono nello specifico tutte le caratteristiche dell'impianto, sia a livello tecnico che ambientale.

3.2.2 Risultati conseguiti

Il database realizzato computa attualmente circa 20 impianti distribuiti nel territorio regionale. Di questi impianti sono stati inserite le informazioni disponibili o rese tali dai titolari dell'impianto.

3.3 WP3 - Ricerca in sito sugli effetti della gestione di impianti geotermici a ciclo chiuso

3.3.1 Il monitoraggio idrochimico e piezometrico

Il monitoraggio idrogeochimico dei campioni d'acqua, mediante la determinazione dei costituenti principali e dei costituenti secondari più significativi, è stato realizzato mediante determinazioni in sito e analisi chimiche di laboratorio.

Le misure in sito e le analisi chimiche di laboratorio sono state effettuate, con decorrenza trimestrale, a partire da aprile 2019 fino a dicembre 2020, fatta eccezione per il mese di aprile 2020, a causa dell'emergenza COVID 19, e hanno riguardato il piezometro del "Palazzo Agricoltura".

Al momento del prelievo per le successive analisi chimiche di laboratorio sono stati determinati in sito i parametri chimico-fisici principali (temperatura, conducibilità elettrica, pH, potenziale redox, e ossigeno disciolto) e determinata la concentrazione dell'azoto ammoniacale e nitroso, con metodo fotometrico.

Per tali scopi sono stati utilizzati una sonda multiparametrica, per la misura simultanea di temperatura, conducibilità elettrica, salinità (stima), pH, potenziale redox e ossigeno disciolto delle acque sotterranee e un Fotometro (Aqua Lytic), per la determinazione dell'azoto ammoniacale e nitroso.

La sonda multiparametrica, può essere utilizzata sia in acque dolci che in ambiente marino e può essere immersa fino a 100 metri di profondità idrica. Le caratteristiche tecniche della sonda sono riportate in Tabella 4.

Parametro	Unità di misura	Intervallo di misura (IM)	Accuratezza (% IM)	Risoluzione	Compensazione
Temperatura	°C	da -5 a 50	±0,2	0,01	Non richiesta
Cond. Elettr.	mS/cm a 25 °C	da 0 a 100	±1%	0.0001	Temperatura
Salinità	g/l	da 0 a 70	±1%	0.01	Non richiesta
pH	/	da 0 a 14	±0,2	0.01	Temperatura
Redox	mV	da -999 a 999	±25	1	Non richiesta

Tabella 4 - Caratteristiche tecniche dei sensori installati sulla sonda multiparametrica.

Il campionamento è stato effettuato in condizioni dinamiche, utilizzando una pompa peristaltica, dopo un adeguato ricambio del volume d'acqua interno al piezometro.

Durante le fasi di campionamento, per le successive analisi di laboratorio, è stata prelevata un'aliquota di acqua trattata con acido nitrico, per la determinazione dei cationi, ed un'aliquota non trattata per la determinazione degli anioni. Il trattamento del campione con acido nitrico, fino a pH inferiore a 2, evita la precipitazione dei carbonati e degli idrossidi di calcio e magnesio, in seguito a variazioni di temperatura e della quantità di gas disciolti.

Le analisi chimiche sono state realizzate presso il Laboratorio di Idrologia dell'IRPI di Bari.

La determinazione delle concentrazioni degli elementi principali (Na^+ , NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}) e alcuni costituenti secondari, utili per interpretare l'origine e l'evoluzione delle acque sotterranee (Li^+ , Sr^{2+} , F^- , Br^-) nei campioni d'acqua considerati, è stata effettuata con tecniche di cromatografia ionica.

Lo ione bicarbonato (HCO_3^-) è stato determinato mediante titolazione volumetrica con HCl 0.1N.

3.3.1.1 I rilievi automatici nei piezometri

Il CNR-IRPI ha provveduto ad installare, per il monitoraggio automatico di lungo periodo, data logger (diver) per l'acquisizione del carico piezometrico, della temperatura e della conducibilità elettrica delle acque sotterranee. In Tabella 5 sono riassunte le caratteristiche tecniche dei vari sensori. A causa di lievi ma determinanti differenze geometriche nel completamento dei due piezometri di monitoraggio, e dell'ingombro delle catene termometriche presenti, l'installazione del data logger nel piezometro di monte è risultata, allo stato, irrealizzabile. Quanto segue fa quindi riferimento al diver installato a valle. È stato altresì installato un sensore per il monitoraggio della temperatura dell'aria esterna e della pressione atmosferica.

Acquisitore	Sensori	Campi di misura	intervallo d'acquisizione
Diver	- livello di falda - temperatura acqua - conducibilità elettrica acqua	max 50 m; da -20 a +80°C; da 0 a 120 mS/cm	3h
Termo Barometro	- pressione atmosferica - temperatura aria	150 cmH ₂ O da -20 a +80°C	3h

Tabella 5 - Caratteristiche tecniche del data logger (diver) e del barometro installati in sito.

Tutta la parte elettronica e i sensori sono contenuti in un unico contenitore cilindrico in ceramica di piccolo diametro che viene sospeso nel piezometro tramite una normale corda inerte (comunemente nylon). Il *diver* è stato posizionato ad una profondità di circa 8 m, tale che i sensori operino adeguatamente sotto il livello piezometrico, la cui profondità è stata periodicamente misurata con sondino di livello o freatometro, tenendo conto, per quanto possibile, delle variazioni del livello che possono determinarsi in natura e a causa di interferenze antropiche.

In particolare, è stato installato un sensore piezometrico assoluto senza cavo di compensazione. I sensori assoluti misurano la pressione totale data dalla colonna d'acqua più la pressione barometrica. Affinché dalla misura di pressione di un sensore assoluto si possa determinare le variazioni reali del livello idrico sovrastante il sensore, ovvero la reale pressione piezometrica, è necessario rimuovere l'effetto delle frequenti variazioni della pressione atmosferica. La lettura "assoluta" deve quindi essere compensata, utilizzando un sensore barometrico che misura in superficie le variazioni della pressione atmosferica (Figura 5). A tal riguardo, e tenuto conto delle modeste dimensioni dell'area nella quale sono presenti i piezometri di monitoraggio, è stato installato un solo sensore barometrico, posto all'interno del tombino che ospita il piezometro di monte.

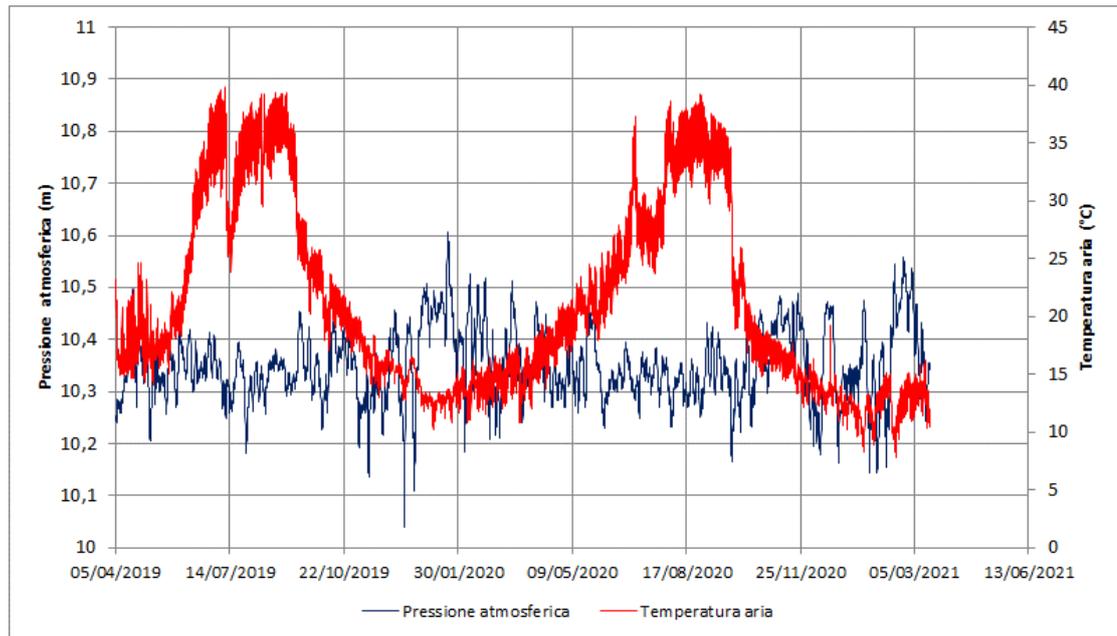


Figura 5 - Dati monitoraggio automatico della falda: Barometro

Per la stima accurata delle quote piezometriche riferite al livello del mare è stato commissionato un rilievo topografico di dettaglio. Il punto a cui riferire le misure di profondità del livello idrico è stato così individuato: Telaio del chiusino al piano pavimento con quota altimetrica pari a 1,078 m (Figura 6).

Sono stati eseguiti anche diversi rilievi piezometrici puntuali (Tabella 6). Per la misura del livello piezometrico, eseguita in condizioni statiche, è stata utilizzata una sonda munita di cavo inestensibile graduato (freatimetro), con segnalazione acustica e luminosa; l'accuratezza ottenibile con tale dispositivo è inferiore al centimetro.



Figura 6 - Piezometro di valle: quote topografiche punti di riferimento

Data	Piezometro di Valle (m da p. r.)	Piezometro di Valle (m s.l.m.)
05/04/2019	1,05	0,028
06/05/2019	1,10	-0,022
25/06/2019	1,12	-0,042
26/09/2019	1,13	-0,052
28/01/2020	1,22	-0,142
25/06/2020	1,09	-0,012
28/09/2020	0,94	0,138
21/12/2020	1,17	-0,092

Tabella 6 - Rilievi freaticimetrici nel piezometro di valle.

In Figura 7 sono riportati i dati del monitoraggio automatico della falda idrica sotterranea avviato nel piezometro di valle e riferiti al periodo aprile 2019 – marzo 2021; si ricorda che il *diver* è posizionato ad una profondità di circa 8 m dal p.r. e misura pressione idrica, temperatura e conducibilità elettrica delle acque sotterranee.

Dalla misura di carico idrico del sensore di pressione, non essendo compensato, è stato necessario rimuovere l'effetto delle variazioni della pressione atmosferica, tramite i dati barometrici acquisiti. Successivamente le variazioni di carico ottenute sono state sommate alle misure del livello piezometrico determinato con il sondino nei cicli di misura e riferite al livello medio mare.

Dall'osservazione dei diagrammi (Figura 7), si può notare come il condizionamento del mare, per l'effetto delle maree, agisca principalmente

sull'andamento del livello statico (+/- circa 40 cm nel periodo di monitoraggio) e in subordine sugli altri parametri monitorati.

Nell'ultima parte del periodo di monitoraggio (circa fine novembre 2020 – fine febbraio 2021) si nota una concordanza tra aumento del livello piezometrico e riduzione della temperatura idrica e della conducibilità elettrica che, nelle aree di emergenza a mare della falda come quella in esame, può essere collegata a fattori quali il maggior arrivo di acque dolci da monte, riconducibile a riduzione dei prelievi e/o aumento delle precipitazioni.

Le serie di dati acquisiti evidenziano inoltre le pregevoli caratteristiche termiche della falda nelle zone costiere, infatti l'andamento generale (prescindendo quindi da variazioni di breve periodo), grossomodo sinusoidale, della temperatura media della falda è in ritardo rispetto a quello delle temperature atmosferiche essendo massimo proprio nella stagione invernale, quando da essa l'impianto preleva calore, e minimo nella stagione estiva quando l'impianto trasferisce calore dagli edifici alla falda. Questo pattern, inoltre, non è stato alterato dalla presenza dell'impianto conservandosi analogo a quelli riscontrati in condizioni idrogeologiche analoghe. Lo sfalsamento consente alle pompe di calore geotermiche di operare sempre in condizioni ottimali, al contrario di quelle aerotermiche che si trovano a dover cedere calore all'aria esterna, già torrida, d'estate ed a sottrarlo dall'aria esterna, già fredda, d'inverno. A ciò si aggiunga che le temperature della falda (intorno al range 17-21 °C) sono più vantaggiose per lo scambio termico tramite pompe di calore rispetto a quelle dell'aria (intorno al range 7-40 °C). I consumi energetici e le conseguenti emissioni in tal modo sono drasticamente ridotti a parità di comfort termo-igrometrico degli ambienti conseguendo gli obiettivi di mitigazione ed adattamento ai fenomeni termici estremi sempre più ricorrenti con ridotto dispendio energetico in piena coerenza con gli obiettivi di sviluppo sostenibile e le strategie europee di transizione ecologica.

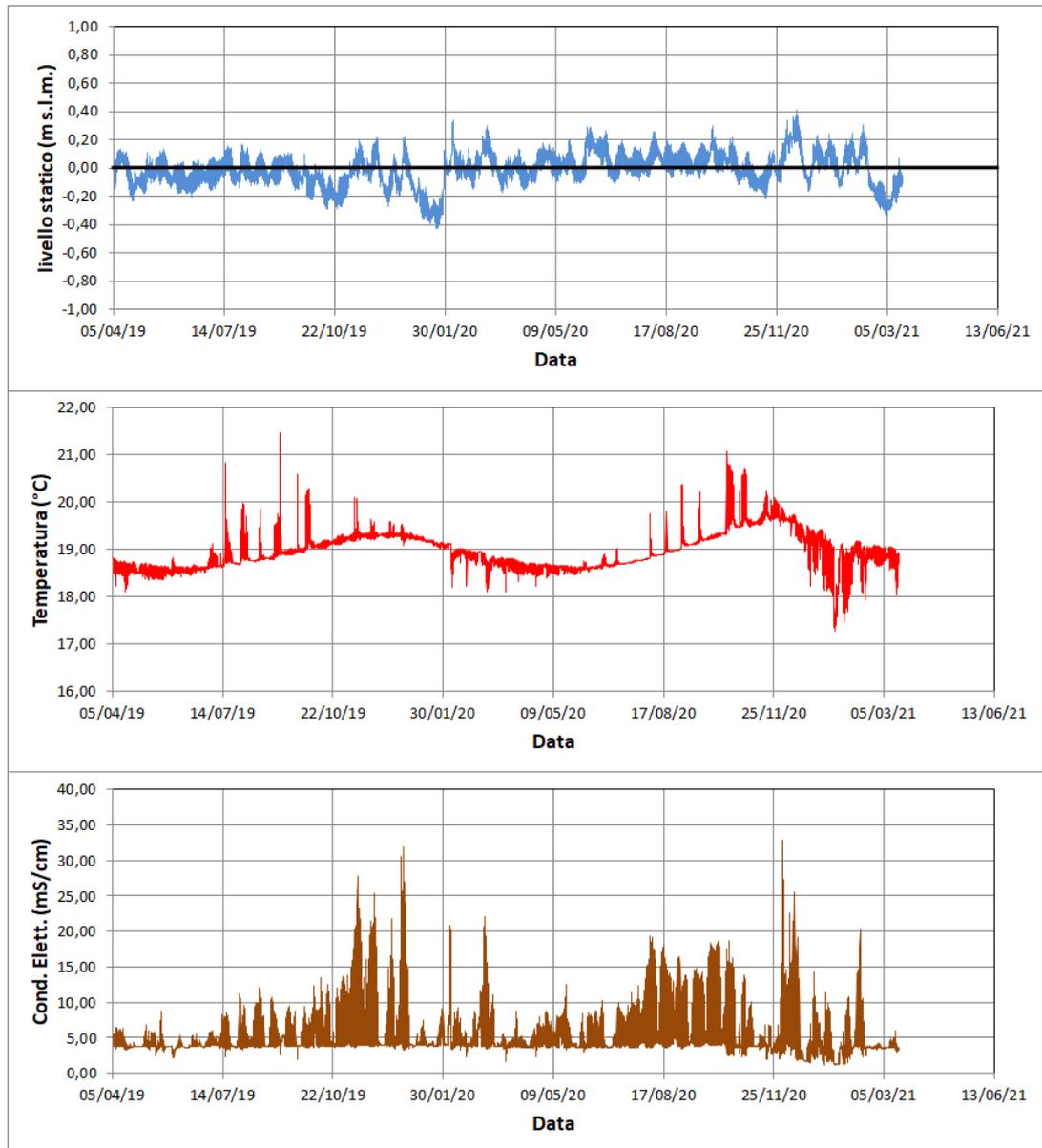


Figura 7 - Dati monitoraggio automatico della falda: *diver*

3.3.1.2 I carotaggi multiparametrici lungo i piezometri

In occasione delle misure piezometriche, sono stati effettuati rilievi termosalinometrici lungo la colonna idrica del piezometro di valle, in due intervalli temporali diversi (Figura 8); l'esecuzione periodica di tali rilievi permette di constatare l'evoluzione salina delle falde idriche sotterranee.

Per tali scopi è stata utilizzato un *diver* per la misura simultanea di temperatura, conducibilità elettrica, e carico idrico; le misure sono state registrate con un passo di 0,5 metri, adottando una velocità di discesa idonea a non alterare la naturale stratificazione delle acque sotterranee.

Si noti come si determina nelle acque di falda un aumento dell'originario contenuto salino per fenomeni di miscelamento e di diffusione ad opera sia delle acque marine sottostanti a quelle di falda, sia di quelle proprie di mare che, nelle zone più costiere come l'area oggetto di studio, partecipano alla dinamicità della falda in virtù delle variazioni di livello, periodiche e aperiodiche, cui il mare è soggetto.

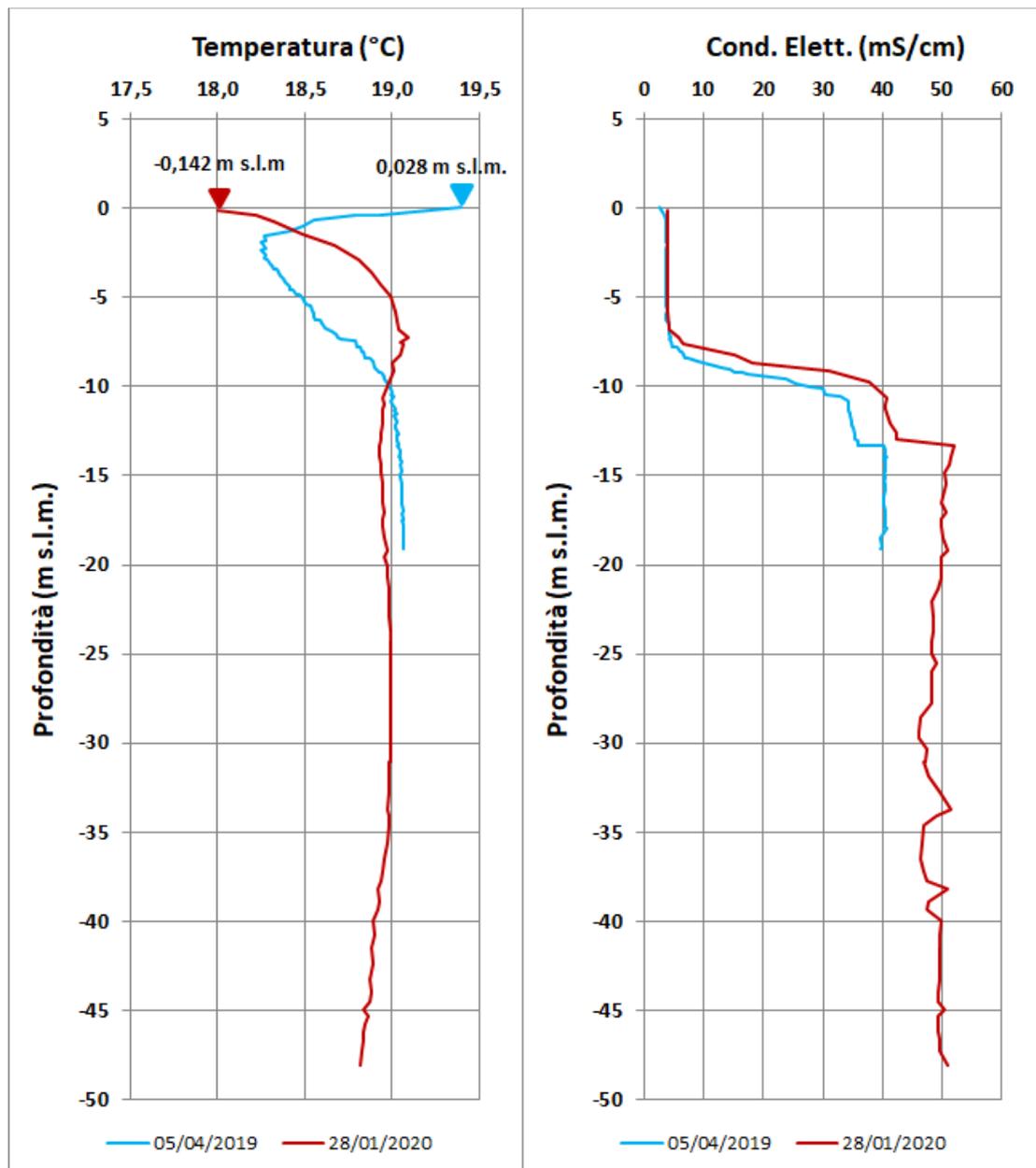


Figura 8 - Carotaggi multiparametrici eseguiti nel piezometro di valle.

3.3.1.3 Le caratteristiche idrochimiche

In Tabella 7 e Tabella 8 sono rispettivamente riportati i valori dei parametri multiparametrici rilevati in sito e i risultati delle analisi chimiche di laboratorio.

Campione	Data	T (°)	C.E. mS/cm	pH (-)	O.D. mg/L	Redox (mV)	NH4 (mg/L)	NO2 (mg/L)	Densità g/cm ³
1	05/04/2019	17.66	3.63	7.44	2.38	158	0.08	0.05	0.9995 T=18.3 °C
2	25/06/2019	19.90	3.68	7.83	2.53	-12	0.05	<0.01	0.9993 T=18.3 °C
3	26/09/2019	23.34	3.59	7.17	2.57	138	0.04	<0.01	1.0004 T=23.2 °C
4	28/01/2020	18.06	3.36	7.21	3.21	-28	0.04	<0.01	1.0002 T=18.1 °C
5	25/06/2020	21.17	3.07	7.75	3.53	106	0.02	<0.01	0.9994 T=18.2 °C
6	28/09/2020	20.84	3.20	7.16	0.23	77	0.04	<0.01	0.9989 T=20.9 °C
7	21/12/2020	17.45	3.45	7.20	2.15	102	0.03	<0.01	0.9996 T=17.9 °C

Tabella 7 - Valori dei parametri chimico-fisici e dell'azoto inorganico misurati al momento del prelievo del campione d'acqua.

#	Data	HCO ₃ ⁻	F ⁻	Cl ⁻	Br ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Li ⁺	Na ⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺
1	05/04/19	200	0.36	868.0	2.2	14.8	128.1	< 0.1	521.9	< 0.1	33.9	34.2	69.6
2	25/06/19	128	0.59	923.2	2.7	17.7	139.5	< 0.1	450.2	< 0.1	30.0	49.2	85.3
3	26/09/19	256	0.34	915.6	2.1	16.2	135.0	< 0.1	482.2	< 0.1	35.2	50.3	92.6
4	28/01/20	317	0.07	860.0	2.6	11,67	130,1	< 0.1	489,8	< 0.1	22,36	98,2	116
5	25/06/20	250	0.37	910.2	2.6	12,94	129,5	< 0.1	490,7	< 0.1	21,95	83,0	104
6	28/09/20	310	0.71	805.9	3.6	18.7	129.1	< 0.1	433.8	< 0.1	24.4	96.2	116.8
7	21/12/20	260	0.02	850.4	1.1	11.1	126.0	< 0.1	452.2	< 0.1	22.1	49.3	83.6

Tabella 8 - Risultati delle analisi chimiche di laboratorio (esprese in mg/L) realizzate dal CNR-IRPI.

Facendo riferimento alle analisi dei costituenti principali si riporta il tracciato geochimico delle acque (Figura 9). Il tracciato geochimico dei campioni è confrontato con due composizioni tipiche di riferimento: l'acqua di mare e quella dell'acquifero carbonatico non interessato dall'intrusione di acqua marina (campionata nelle aree di ricarica della falda, al di fuori dell'area di studio).

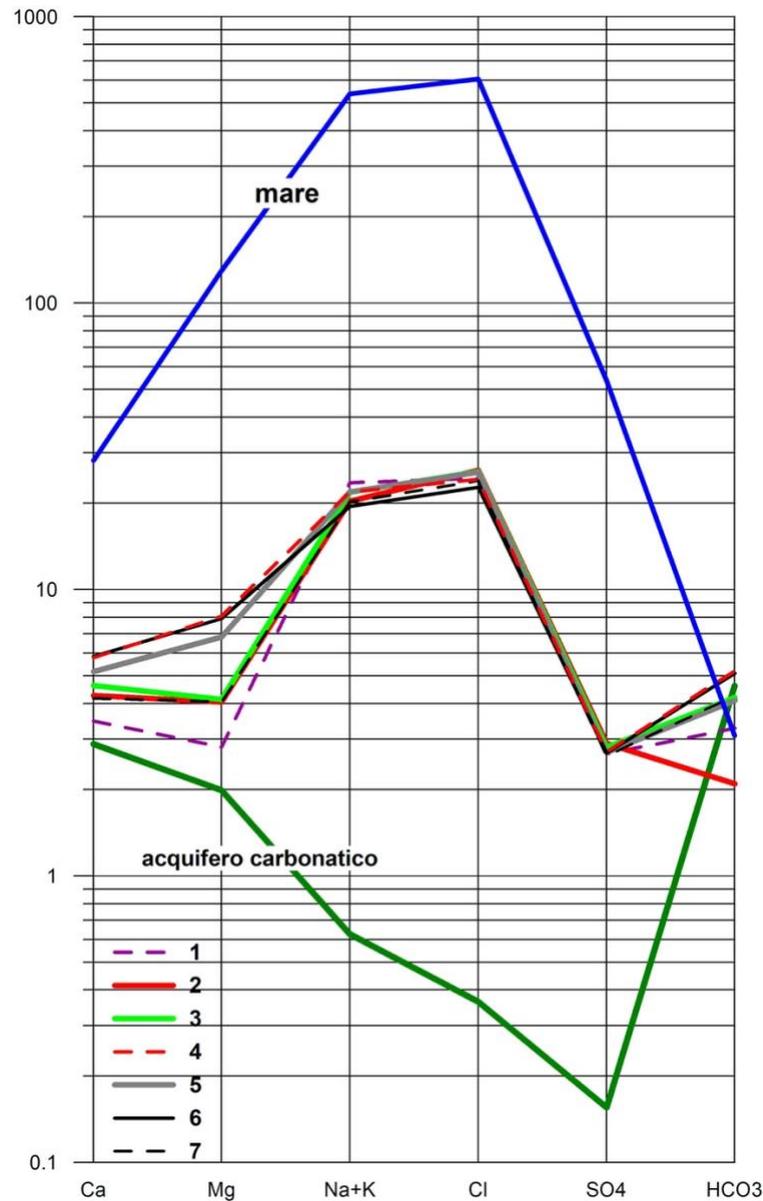
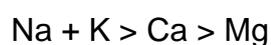


Figura 9 - Diagramma di Schoeller. Per il significato dei numeri in legenda si veda Tabella 8.

Le acque campionate durante il monitoraggio possiedono caratteristiche idrochimiche nel complesso piuttosto omogenee. In tutti i campioni esaminati, si evidenzia la prevalenza degli ioni alcalini su quelli alcalino terrosi, e la preponderanza dello ione cloruro sugli ioni bicarbonato e solfato.

Sulla base dell'abbondanza relativa dei diversi ioni (in meq/L), può scriversi per i cationi:



e per gli anioni



Le acque possono definirsi clorurato alcaline.

Circa l'origine degli ioni presi in esame, si può osservare come le acque esaminate si caratterizzano per la prevalenza degli ioni di origine "marina" (Na, K e Cl) sugli ioni di origine "continentale" (Ca, Mg e HCO₃). Le acque esaminate possiedono quindi le caratteristiche idrochimiche di acque di falda contaminate da acque marine di intrusione continentale tipiche di tutte le aree idrogeologicamente analoghe della Puglia.

3.3.2 Le emissioni di gas radon nei siti di monitoraggio

Il Radon è un gas nobile, inerte, inodore ed incolore i cui effetti dannosi sono dovuti essenzialmente ai suoi prodotti di decadimento che possono essere inalati e si depositano sull'epitelio bronchiale.

Questo gas naturale proviene da una successione di decadimenti radioattivi, si ritrova nelle rocce presenti nel sottosuolo ed emerge in superficie passando attraverso i vuoti e le cavità presenti dell'ammasso roccioso o veicolato dalle acque sotterranee. In seguito all'emersione, questo gas viene disperso nell'atmosfera, risultando presente nei luoghi aperti a concentrazioni molto basse. Di contro, nei luoghi "confinati", ovvero chiusi e privi di adeguata ventilazione, come ad esempio piani interrati e seminterrati degli edifici, il gas può accumularsi, comportando la presenza di concentrazioni tanto elevate da risultare dannose per la salute.

Gli impianti geotermici necessitano di essere accoppiati ad un sistema di geoscambio, che generalmente viene realizzato attraverso l'inserimento nel sottosuolo di sonde geotermiche all'interno delle quali circola il fluido termovettore. Potrebbe risultare possibile, in determinati contesti geologici, che l'esecuzione di fori nel sottosuolo e, più in generale, la realizzazione dell'impianto, possa favorire la veicolazione in superficie del gas radon intrappolato naturalmente nel sottosuolo oppure un suo trasferimento in superficie a tassi maggiori rispetto a quelli che naturalmente si verificano. In relazione a questo, si è detto in precedenza quali siano state le azioni normative regionali del Lazio, quindi tale ambito è stato adeguatamente indagato anche nella ricerca prenORMATIVA di cui il presente report riferisce.

Risulta importante porre in evidenza come la presenza nel sottosuolo del gas radon in elevate concentrazioni sia specifico di alcune tipologie di rocce, principalmente quelle di origine magmatica, le cui numerose tipologie non sono presenti in Puglia a causa del differente contesto geodinamico delle due Regioni. Tuttavia l'assenza di un'accurata mappatura del radon geogenico in Puglia (esiste limitata bibliografia scientifica che segnala come degno di particolare attenzione il ruolo delle argille residuali -terre rosse- per la presenza di radon) e la particolare attenzione del legislatore e della comunità pugliese sul tema (l.r. n. 30 del 3/11/2016 e ss.mm.ii.) creano un contesto in cui gli approfondimenti scientifici sul tema sono fondamentali per scelte normative basate su dati verificati.

Al fine quindi di valutare anche questo aspetto nella Regione Puglia, sono stati selezionati impianti geotermici realizzati dall'amministrazione Regionale in contesti geologici differenti, le cui perforazioni hanno interessato unità geologiche differenti, non solo per litologia ma anche per grado di fratturazione, porosità, permeabilità e contenuto d'acqua in modo da considerare una prima casistica la più varia possibile.

I siti selezionati a riguardo sono i seguenti 4:

- Palazzo Agricoltura;
- Masseria Le Cesine;
- Uffici Regionali di Lecce;
- Uffici Regionali di Taranto.

Il sistema di geoscambio dell'impianto geotermico a servizio del Palazzo Agricoltura interessa esclusivamente l'unità geologica dei calcari mesozoici, permeabili per fratturazione e carsismo, che ospitano l'acquifero carsico carbonatico fin dai primi metri di profondità dalla superficie topografica.

Il sistema di geoscambio dell'impianto geotermico a servizio della Masseria Le Cesine, invece, interessa nei primi 24 metri di profondità un'alternanza di sabbie, limi e calcareniti poco diagenizzate, con elevato grado di porosità e permeabilità, che ospitano l'acquifero poroso superficiale; tra le profondità comprese tra 24 e 27 metri l'unità argillosa impermeabile; tra le profondità di 26 e 85 metri un'alternanza di calcari tipo panchina, calcareniti e sabbie con elevato grado di permeabilità che ospitano l'acquifero poroso intermedio; tra le profondità di 85 e 162 metri l'unità calcarenitica miocenica, a granulometria fine e molto

compatta e tenace ed infine, tra le profondità di 162 e 200 metri, l'unità calcarea mesozoica, permeabile per fratturazione e carsismo, che ospita l'acquifero carsico.

Il sistema di geoscambio dell'impianto geotermico a servizio degli Uffici Regionali della sede di Lecce, invece, interessa nei primi 80 metri dal piano campagna le unità calcarenitiche mioceniche, a grana fine e grossolana, con grado di porosità medio-elevato, che ospitano nella parte bassa l'acquifero carsico e nella restante parte, fino a circa 250 metri di profondità, l'unità calcarea mesozoica, con grado di fratturazione e carsificazione molto variabile, anch'essa ospitante lo stesso tipo di acquifero.

Il sistema di geoscambio dell'impianto geotermico a servizio degli Uffici Regionali della sede di Taranto, infine, interessa nei primi 6 metri dal piano campagna unità calcarenitiche poco diagenizzate che ospitano l'acquifero poroso superficiale; nel tratto compreso tra 6 e 78 metri l'unità impermeabile argillosa; nel tratto compreso tra 78 e 84 metri di profondità l'unità calcarenitica plio-pleistocenica e, nel tratto finale compreso tra 84 e 225 metri di profondità, interessa l'unità calcarea mesozoica. Le unità profonde inoltre, ospitano l'acquifero carsico.

Gli impianti così selezionati coprono quindi quasi tutte le tipologie di unità litologiche presenti in Puglia. Per l'esecuzione del monitoraggio, sono stati impiegati misuratori passivi a tracce (dosimetri) costituiti da un piccolo contenitore in plastica impermeabile al radon di forma circolare, diametro circa pari a 55 mm e altezza circa pari a 25 mm, nel quale è alloggiato un rilevatore del tipo CR-39, delle dimensioni di 25 x 25 mm e spessore 1,5 mm (Figura 10).



Figura 10 - Immagine dei dosimetri utilizzati per il monitoraggio Radon. I rivelatori a tracce nucleari di tipo Radonalpha-C sono costituiti da una camera di diffusione in plastica conduttiva all'interno della quale è posizionato un rivelatore costituito di una resina di derivazione ottica PoliAllilDiglicolCarbonato o PADC o più semplicemente CR-39.

In tali dispositivi, il numero di tracce rilasciate sulla superficie del rivelatore dalle particelle alfa, emesse a seguito del decadimento del radon ($Rn222$) e dei suoi "figli", è proporzionale alla concentrazione di gas radon presente nell'ambiente considerato. I dispositivi utilizzati vengono lasciati in sito per 6 mesi e poi sostituiti con altri.

Nel seguito sono indicate le specifiche tecniche dei dosimetri utilizzati per il monitoraggio, come indicati dalla ditta fornitrice:

- Tipo Dosimetro, SSNTD chiuso;
- Rivelatore, PADC Cr-39 Tastrack;
- Periodo di esposizione raccomandato, da tre a sei mesi;
- Range di Esposizione, 2500 Bq/mc/anno o 10000 Bq/mc/mesi;
- Minimo livello rilevabile, 10 Bq/mc su tre mesi.

Il sistema di misura viene calibrato periodicamente presso organismi internazionali tra cui BFS e HPA.

I dosimetri raccolti alla scadenza dei due periodi semestrali di esposizione, imbustati in particolari contenitori in plastica trasparente impermeabile al radon, sono poi analizzati, secondo le direttive vigenti, da un laboratorio tecnicamente attrezzato ai sensi del D. Lgs. 241/2000 ed in possesso dei requisiti indicati dalle Linee Guida della Conferenza delle Regioni del 6/2/2003.

Il laboratorio scelto (GEOEX) è “Italian Technical Partner della Kodak Divisione Nucleare Sezione Europa”, produttrice delle pellicole Dosi-Film LR-115, contenute nei propri dosimetri passivi Radonalpha, e della “TASL di Bristol per le pellicole CR-39”, contenute nei dosimetri Radonalpha-C. Tale ditta è stata inserita, previa valutazione dei requisiti, nel “Primo Elenco di Strutture individuate come Idoneamente Attrezzate per la misurazione di gas Radon all’interno delle abitazioni e dei luoghi di lavoro del Veneto” – Giusta Deliberazione di Giunta Regionale del Veneto n. 79 del 18/1/2002, ed è partner tecnico nelle Campagne Nazionali di divulgazione e Salvaguardia dalla Esposizione alle Radiazioni Ionizzanti, promosse dalle Associazioni Altroconsumo e Lega dei Tumori di Roma.

Il calcolo della concentrazione media annua per ciascun locale monitorato è effettuato nel rispetto delle indicazioni fornite nella Guida tecnica da ARPA Puglia. Nel dettaglio, il laboratorio, in possesso del valore dell’esposizione di fondo valutata per ogni lotto di produzione di CR-39 eseguendo le misure su un campione avente numerosità rappresentativa rispetto al suddetto lotto, ha fornito al CNR-IRPI il valore della concentrazione media annua di radon (C_{Si}) specifico del locale monitorato durante il periodo di misura e l’incertezza associata alla concentrazione di radon misurata ($\sigma_{C_{Si}}$).

Per ricavare la concentrazione media annua CANNUA, calcolata sui due semestri mediante media pesata sulle durate temporali (T_{s1} e T_{s2}) dei periodi di misura, e l’incertezza associata, si è fatto ricorso alle seguenti relazioni:

$$C_{Si} [Bq/m^3] = (Esp_i - Esp_i(Fondo)) \times \frac{1000}{T_s}$$

$$\sigma_{C_{Si}} [Bq/m^3] = \sqrt{(\sigma_{Esp_i})^2 + (\sigma_{Esp_i(Fondo)})^2} \times \frac{1000}{T_s}$$

Nella Tabella 9 vengono sintetizzate le informazioni relative ai luoghi di installazione dei dosimetri in corrispondenza degli impianti selezionati. Per tutti gli impianti sono stati installati dosimetri di tipo passivo nel suolo, in corrispondenza

di sonde e/o piezometri e in alcuni ambienti degli edifici selezionati a piano terra, prossimi al campo sonde geotermico.

Sito pilota di monitoraggio	Localizzazione dosimetro
Palazzo Agricoltura	Stanza distributori bibite
	Piezometro Valle
	Piezometro Monte
	Suolo
Masseria Le Cesine	Piezometro 165 m
	Foro suolo
	Piezometro 26 m
	Sonda
Uffici Regionali a Lecce	Ufficio
	suolo
	pozzetto sonda (tutto sigillato comprese le sonde - ambiente confinato al pozzetto)
	ufficio interno piano terra adiacente campo sonde
Uffici Regionali a Taranto	ufficio ingresso stessa palazzina piano terra
	sezione vigilanza ambientale (dosimetri ufficio più distante)
	suolo
	pozzetto sonda
	pozzetto connessioni
sala attrezzi vicino campo sonde	
guardiania	

Tabella 9 - Luoghi di monitoraggio emissioni gas radon nei siti di studio pilota.

3.3.2.1 I principali risultati sul monitoraggio del radon

Come descritto in precedenza, il monitoraggio delle emissioni del gas radon è stato effettuato in 4 siti di studio pilota.

I risultati delle campagne di monitoraggio realizzate, per tutti i siti, sono di seguito illustrate.

3.3.2.1.1 Sito 1 - Palazzo Agricoltura a Bari

In corrispondenza del Sito Palazzo Agricoltura sono state realizzate 4 postazioni di dosimetri. Una nel pozzetto dove è presente la sonda geotermica, una nel pozzetto dove è presente il piezometro di monitoraggio, una nei primi 20 cm di suolo, incamerato in un pezzo di tubo fenestrato con diametro da 101 mm e l'ultima in una zona interna dell'edificio maggiormente vicina al campo sonde (Tabella 10).

Nell'ambito dell'anno di monitoraggio completato, è emerso che i valori maggiori siano risultati quelli misurati in corrispondenza del pozzetto dove è

installata la sonda geotermica (2954 e 3486 Bq/m³), seguiti dai valori misurati nel suolo (1344 e 712 Bq/m³) ed infine nel piezometro (677 e 708 Bq/m³). I valori misurati nella postazione dosimetrica della zona interna, vicina al campo sonde, sono risultati molto bassi, per entrambi i semestri al di sotto del limite di legge.

Cod. dosimetro	ESPOSIZIONE				Valore [Bq/m ³]	incertezza	Semestre
	Postazione	inizio	fine	giorni totali			
54512	Pozzetto Sonda	10/10/19	19/06/20	253	2954	+/- 236	I
55935	Pozzetto Sonda	19/06/19	21/12/20	185	3486	+/- 314	II
54519	Piezometro	10/10/19	19/06/20	253	677	+/- 238	I
55957	Piezometro	19/06/19	21/12/20	185	708	+/- 35	II
54516	Suolo	10/10/19	19/06/20	253	1344	+/- 81	I
55960	Suolo	19/06/19	21/12/20	185	712	+/- 64	II
54517	Zona interna	10/10/19	19/06/20	253	110	+/- 8	I
55961	Zona interna	19/06/19	21/12/20	185	44	+/- 4	II

Tabella 10 - Dati relativi al monitoraggio emissioni gas Radon del sito Palazzo Agricoltura a Bari

3.3.2.1.2 Sito 2 - Uffici Regionali a Lecce

In corrispondenza del Sito degli Uffici Regionali a Lecce sono stati installati dosimetri in 4 postazioni. Una nel pozzetto dove è presente la sonda geotermica, una nei primi 20 cm di suolo ed incamerato in un pezzo di tubo fenestrato con diametro da 101 mm e due in due locali posti a piano terra dell'edificio maggiormente vicina al campo sonde (Tabella 11).

Nell'ambito dell'anno di monitoraggio completato, è emerso che i valori maggiori siano risultati quelli misurati in corrispondenza del pozzetto dove è installata la sonda geotermica (13056 e 3530 Bq/m³), seguiti dai valori misurati nel suolo (5235 e 2582 Bq/m³). I valori misurati nei dosimetri presenti negli uffici posizionati nell'area adiacente al campo sonde sono risultati molto bassi, per entrambi i semestri al di sotto del limite di legge.

Cod. dosimetro	ESPOSIZIONE				Valore [Bq/m ³]	incertezza	Semestre
	Postazione	inizio	fine	giorni totali			
55925	Pozzetto sonda	10/8/2019	16/6/2020	252	13056	+/- 522	I
55952	Pozzetto sonda	16/06/2020	17/12/2020	184	3530	+/- 318	II
55928	Suolo	10/8/2019	16/6/2020	252	5235	+/- 314	I
55959	Suolo	16/06/2020	17/12/2020	184	2582	+/- 129	II
55927	Ufficio ingresso polizia	10/8/2019	16/6/2020	252	112	+ / - 8	I
55939	Ufficio ingresso polizia	16/06/2020	17/12/2020	184	111	+/- 9	II
55930	Ufficio vicino campo sonde	10/8/2019	16/6/2020	252	125	+ / - 7	I
55954	Ufficio vicino campo sonde	16/06/2020	17/12/2020	184	138	+/- 10	II

Tabella 11 - Dati relativi al monitoraggio emissioni gas Radon del sito Uffici Regionali a Lecce

3.3.2.1.3 Sito 3 - Uffici Regionali a Taranto

In corrispondenza del Sito degli Uffici Regionali a Taranto sono state realizzate 5 postazioni di dosimetri. Una nel pozzetto dove è presente la sonda geotermica, una nel pozzetto dei connettori orizzontali dell'impianto, una nei primi 20 cm di suolo ed incamerato in un pezzo di tubo fenestrato con diametro da 101 mm e due in due locali dell'edificio, uno maggiormente vicino al campo sonde (sala attrezzi) e l'altro molto distante (guardiania) (Tabella 12).

Cod. dosimetro	ESPOSIZIONE				Valore [Bq/m ³]	incertezza	Semestre
	Postazione	inizio	fine	giorni totali			
55924	Pozzetto sonda	10/8/2019	16/6/2020	252	7742	+ / - 387	I
55923	Pozzetto sonda	16/6/2020	17/12/2020	184	5819	+ / - 349	II
55926	Pozzetto connettori	10/8/2019	16/6/2020	252	11552	+ / - 462	I
55937	Pozzetto connettori	16/6/2020	17/12/2020	184	3504	+ / - 315	II
55922	Suolo	10/8/2019	16/6/2020	252	3519	+ / - 246	I
54520	Suolo	16/6/2020	17/12/2020	184	3344	+ / - 301	II
55929	Guardiania	10/8/2019	16/6/2020	252	65	+ / - 6	I
55932	Guardiania	16/6/2020	17/12/2020	184	79	+ / - 8	II

Tabella 12 - Dati relativi al monitoraggio emissioni gas Radon del sito Uffici Regionali a Taranto

Nell'ambito dell'anno di monitoraggio completato, è emerso che i valori maggiori siano risultati quelli misurati in corrispondenza del pozzetto dove sono presenti i circuiti connettori (11552 e 3504 Bq/m³), seguiti dai valori misurati nel

pozzetto dove è installata la sonda geotermica (7742 e 5819 Bq/mc), ed infine dai valori misurati nel suolo (3519 e 3344 Bq/m³). I valori misurati nella postazione dosimetrica della zona interna, vicina al campo sonde invece, sono risultati molto bassi, per entrambi i semestri al di sotto del limite di legge.

3.3.2.1.4 Sito 4 - Masseria “Le Cesine”, Oasi Nazionale WWF: Vernole (LE)

In corrispondenza del Sito Masseria “Le Cesine” sono stati installati 5 postazioni di dosimetri. Una nel pozzetto dove è presente la sonda geotermica, una nel pozzetto del piezometro di monitoraggio che si attesta a 26 m di profondità, una nel pozzetto del piezometro di monitoraggio che si attesta a 165 m di profondità, una nei primi 20 cm di suolo ed incamerato in un pezzo di tubo fenestrato con diametro da 101 mm e una nell'ufficio della struttura del centro visite (Tabella 13).

In questo impianto sono stati condotti tre cicli di misura.

Cod. dosimetro	ESPOSIZIONE				Valore [Bq/m ³]	incertezza	Semestre
	Postazione	inizio	fine	giorni totali			
54518	Piez. 165 m	6/28/2019	1/15/2020	201	1642	+/- 99	I
55940	Piez. 165 m	1/15/2020	7/17/2020	174	1384	+/- 97	II
55950	Piez. 165 m	7/7/2020	4/13/2021	270	1016	+/-71	III
54514	Piez. 26 m	6/28/2019	1/15/2020	201	1362	+/- 82	I
55933	Piez. 26 m	1/15/2020	7/17/2020	174	792	+/- 71	II
55948	Piez. 26 m	7/17/2020	4/13/2021	270	477	+/-24	III
54513	Sonda con fibra	6/28/2019	1/15/2020	201	505	+/- 25	I
55941	Sonda con fibra	1/15/2020	7/17/2020	174	838	+/- 75	II
55942	Sonda con fibra	7/17/2020	4/13/2021	270	589	+/-24	III
54515	Suolo	6/28/2019	1/15/2020	201	5584	+/- 168	I
55936	Suolo	1/15/2020	7/17/2020	174	4993	+/- 349	II
55944	Suolo	7/17/2020	4/13/2021	270	2267	+/-91	III
54511	Ufficio	6/28/2019	1/15/2020	201	113	+/- 9	I
55934	Ufficio	1/15/2020	7/17/2020	174	87	+/- 8	II
55949	Ufficio	7/17/2020	4/13/2021	270	18	+/-5	III

Tabella 13 - Dati relativi al monitoraggio emissioni gas Radon del sito Masseria “Le Cesine”

I valori maggiori risultano quelli dei dosimetri presenti nel suolo, dove hanno raggiunto 5584, 4993 e 2267 Bq/m³, mentre nel pozzetto della sonda i valori riscontrati sono relativamente bassi e si attestano a 505, 838 e 589 Bq/m³

rispettivamente per il I, per il II ciclo e per il III. Interessanti sono i valori dei pozzetti dei piezometri, che si attestano grossomodo su valori simili: per il piezometro attestato nella falda superficiale (26 m) i valori riscontrati sono stati di 1362, 792 e 477 Bq/m³; per il piezometro attestato nella falda carsica (165 m) i valori riscontrati sono stati di 1642, 1384 e 1016 Bq/m³. I valori nell'edificio risultano molto bassi, al di sotto dei limiti di Legge della Regione Puglia, attestandosi a 113, 87 e 18 Bq/m³.

Nella Tabella 14 sono riportati i valori di concentrazione del gas radon nei punti di misura dei differenti siti di monitoraggio selezionati.

Sito	Successione lito-stratigrafica	Acquiferi	Ciclo	Valori di concentrazione [Bq/m ³]					
				Suolo	piezometro *piez. 26 m **piez. 165 m	pozzetti sonda geot. cementazione		Uffici	
						si	no		
Sito 1 Bari	Unità Calcarea cretacea (Calcarea di Bari)	Acquifero singolo	I	1344	677	2954		110	
			II	712	708	3486		44	
Sito 2 Lecce	Unità Calcarenitica Miocenica (Pietra Leccese) Unità Argillosa (Argille subappennine)	Acquifero singolo	I	5235	-	13056		125	
			II	2582	-	3530		138	
Sito 3 Taranto	Alternanza di Calcareniti, sabbie, calcari, argille e marne	Acquifero multistrato	I	3519	-	7742		65	
			II	3344	-	5819		79	
Sito 4 Le Cesine Vernole (LE)	Unità Calcarenitica Miocenica (Pietra Leccese)	Acquifero multistrato	I	5584	1362*	792*		505	113
			II	4993	1642**	1384*		838	87
			III	2267	1016**	477*		589	18

Tabella 14 - Relazione tra risultati monitoraggio e condizioni idrogeologiche sito specifiche.

Come accennato in premessa e nella metodologia, al fine di verificare una possibile interazione tra perforazioni in cui sono state installate le sonde geotermiche e presenza di gas radon indoor e valutare quindi se possa esserci eventuale veicolazione preferenziale di gas radon attraverso i fori in cui sono state installate le sonde geotermiche verso i locali degli edifici climatizzati con questa tecnologia, per ogni sito sono stati installate postazioni di dosimetri (misuratori passivi a tracce) nei pozzetti in cui hanno sede le sonde geotermiche e i piezometri di monitoraggio, negli ambienti indoor degli edifici prossimi o molto vicini al campo sonde geotermico e, per avere un parametro di confronto con quello che è il valore del *Soil Radon*, sono stati installati anche dosimetri nei primi

20 cm di suolo, incamerati in un pezzo di tubo fenestrato con diametro da 101 mm.

Dai valori certificati emerge il dato che le concentrazioni di gas radon negli ambienti interni degli edifici prossimi al campo sonde geotermico risultano sotto la soglia di rischio previsto dalla normativa regionale, che fissa tale limite a 300 Bq/m³.

Questo dato assume maggiore significato in relazione ai valori registrati e presenti nei suoli dei vari siti di monitoraggio, le cui differenze quantitative sono legate alle peculiari condizioni geologiche ed idrogeologiche dei siti in cui sono state effettuate. Valori di concentrazione di *soil Radon* più elevate sembrano essere presenti nei siti caratterizzati dalla presenza di litologie calcarenitiche (sito 2-Lecce e 4-Masseria Le Cesine), dove i valori superano concentrazione di 5.000 Bq/m³. Valori di concentrazione di *soil Radon* relativamente inferiori si riscontrano negli altri due siti (Sito 1-Bari e Sito 3-Taranto), con il valore più basso registrato nel sito di Bari, caratterizzato da calcari fin dai primi metri di profondità.

Interessanti risultano anche i valori registrati nei piezometri di monitoraggio, dove contribuisce alla veicolazione diretta del gas radon anche la presenza delle acque sotterranee. Le concentrazioni registrate risultano differenti sia rispetto ai valori del suolo, che di quelli registrati nei pozzetti delle sonde geotermiche e legati probabilmente alla maggiore ventilazione che la porzione anidra del perforo permette.

Le concentrazioni maggiormente elevate di gas radon quindi, sono state determinate nei pozzetti dei siti 1, 2, 3 in cui sono presenti le sonde geotermiche verticali, rispettivamente di Bari, Lecce e Taranto, tutti caratterizzati da una cementazione del tratto superficiale, che di fatto ha annullato qualsiasi tipo di ventilazione possibile tra foro e pozzetto. Nei pozzetti delle sonde del Sito 4 invece, dove non è stata cementata la parte iniziale, ma solo tratti intermedi specifici per la separazione degli acquiferi presenti, ed il resto del foro è completato con la ghiaia, i valori di concentrazione del gas radon risultano più bassi.

Dai valori riscontrati nella fase di monitoraggio emerge che la realizzazione di perfori per l'installazione delle sonde potrebbero rappresentare elementi di possibile veicolazione del gas radon presente nel sottosuolo, la cui

concentrazione è direttamente connessa alle specifiche condizioni geologiche e idrogeologiche di sito, ed i cui valori possono subire un aumento quando ci si trova in condizioni di isolamento e non ventilazione, oppure possono essere drasticamente ridotte e portate a limiti di rischio accettabile, se opportunamente dotati di adeguata ventilazione.

Queste considerazioni evidenziano l'assenza di rischio specifico per impianti realizzati all'esterno degli edifici (si è visto che negli ambienti interni in prossimità dei campi sonde si rilevano concentrazioni abbondantemente al di sotto dei limiti di legge) ma risultano altresì di estrema utilità nel momento in cui i fori in cui potrebbero essere installate le sonde debbano essere posizionati in spazi confinati o a ventilazione limitata, come ad esempio quando a causa di spazi esterni arealmente insufficienti, il campo sonde venga realizzato sotto la pianta dell'edificio. In tali casi assumerebbe rilevanza una previsione normativa orientata a richiedere soluzioni tecniche necessarie ad un'adeguata azione di confinamento, mediante cementazione delle pareti del perforo, prevenendo l'afflusso, o di ventilazione, naturale o meccanica, per favorire la dispersione in atmosfera, di fatto diminuendo drasticamente la concentrazione di gas radon, fugando ogni pericolo per chi utilizzi tali ambienti anche occasionalmente.

Nella Tabella 14 vengono illustrati tutti i risultati e messi in relazione alle specifiche caratteristiche geologiche ed idrogeologiche dei singoli siti di studio pilota.

I risultati fin qui acquisiti possono condurre ad effettuare alcune considerazioni riguardanti possibili ed auspicabili futuri approfondimenti di questo tipo di ricerca anche a fini legislativi e di pianificazione tematica e territoriale.

È infatti necessario condurre uno studio generale a scala regionale aumentando i siti di monitoraggio, incrementando il numero delle misurazioni di concentrazione da effettuare (con la stessa base metodologica seguita nel presente lavoro).

A tal riguardo si potrebbero utilizzare differenti strumentazioni per la valutazione della concentrazione del *soil Radon*, più rapide rispetto alle misurazioni con tecniche passive, con la possibilità quindi di coprire aree più estese in minor tempo ed avere un numero di determinazioni statisticamente valido.

3.4 WP4 - Analisi e ricerca sui potenziali rischi in Puglia del geoscambio (rischi idrogeologici e geochimici diretti ed ecologici)

Il WP4 è di particolare importanza nel complesso delle attività di ricerca prenormativa previste nella Convenzione in quanto si pone come obiettivo quello dell'analisi e della ricerca sui potenziali rischi derivanti dall'installazione dei sistemi di geoscambio che possano richiedere particolare attenzione nello specifico contesto territoriale della Puglia.

Un esempio può essere esplicitato per la già trattata tematica del radon, per la quale può risultare opportuno valutare come regolamentare l'esecuzione di opere profonde nel sottosuolo, quali sonde e pozzi oppure, in specifici contesti geologici, come procedere in presenza di falde in pressione, acquiferi multistrato, rocce solubili, cavità carsiche, aree instabili, ecc.

Come meglio delineato nel Deliverable 4.1, cui si rimanda per ulteriori approfondimenti, pur conservando l'articolazione prevista dalla Proposta Operativa, si è deciso di adottare per il documento un titolo più coerente con il fine prenormativo della ricerca e con la circostanza che il potenziale rischio realizzativo di un impianto di geoscambio fosse correlato all'interazione tra fattori naturali ed antropici, richiamando pertanto contesti di attenzione e criteri di realizzazione con riferimento alle caratteristiche del territorio regionale pugliese. La formulazione iniziale del WP ("Analisi e ricerca sui potenziali rischi naturali in Puglia del geoscambio - rischi idrogeologici e geochimici diretti ed ecologici") resta quindi inalterata e viene modificato il corrispondente titolo del Deliverable 4.1 ("Report sui rischi derivanti dagli impianti a geoscambio").

Nel seguito si descrivono quindi le principali condizioni o contesti di attenzione per possibili effetti negativi, osservabili o ipotizzabili, nel territorio regionale.

La maggior parte dei contesti di attenzione che sono illustrati nei successivi paragrafi non inficiano del tutto la possibilità di realizzazione di un impianto geotermico a bassa entalpia, in quanto un'attenta analisi del contesto territoriale, unita ad una corretta progettazione e accurata realizzazione, potranno determinare condizioni di operatività degli impianti compatibili con la condizione di attenzione, come è dettagliatamente descritto nel report dedicato al tema, il

Deliverable 4.1 “Criteri di realizzazione in contesti di attenzione e cartografia guida”.

3.4.1 Carsismo e cavità sotterranee

Il rinvenimento di cavità, carsiche o non, vuoti di qualsiasi natura e dimensione, comporta una diminuzione della resa termica complessiva della sonda geotermica in quanto la presenza di vuoti e quindi di aria riduce lo scambio termico rispetto ai tratti in cui la stessa è a contatto con la roccia.

Durante le fasi di perforazione, inoltre, in caso di rinvenimento lungo la verticale di cavità carsiche, si potrebbero verificare fenomeni di sgrottamento, con allargamento della cavità, con conseguente possibile aumento del grado di instabilità dell'ammasso roccioso sovrastante e degli eventuali manufatti presenti.

Dal punto di vista litologico, il territorio della Regione Puglia è costituito per la maggior parte della sua estensione da rocce di natura carbonatica, che coprono un intervallo temporale dal Mesozoico al Quaternario. Esse, non solo risultano estese arealmente, ma si sviluppano per centinaia e migliaia di metri in profondità. In relazione alla natura carbonatica delle rocce costituenti il sottosuolo regionale, i fenomeni legati al carsismo e quindi, in particolare, alla dissoluzione chimica delle rocce carbonatiche, risultano diffusi in tutto il territorio, soprattutto nelle zone del Gargano, delle Murge e del Salento, dove maggiore è la presenza di queste rocce, sia in superficie che in profondità.

In sintesi, se in linea generale buona parte del territorio regionale pugliese potrebbe essere interessato, sia in superficie che nel sottosuolo, dagli effetti macroscopici del carsismo, rilevanti sia in termini di efficienza dell'impianto geotermico sia in termini di potenziali rischi legati al ricorso a perforazioni, si deve focalizzare l'attenzione su quelle porzioni del territorio regionale dove le peculiarità delle manifestazioni carsiche di rilievo per gli scopi di questo Rapporto, sono certe o realisticamente probabili, a partire dalla superficie e fino ad una profondità che è usualmente la massima impegnata dagli impianti, pari a 150 m dal piano campagna.

Per tale ragione, si farà riferimento ai livelli informativi da cui alla (Tabella 15), nelle versioni ufficiali disponibili, inseriti nella Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia e nel Catasto grotte (**Error! Reference source not found.**).

Tabella 15 – Contesti di attenzione e livelli informativi. (*) Livello informativo ufficiale non disponibile e per il quale non esistono, al momento, dati di sufficiente accuratezza per una perimetrazione.

Contesto di Attenzione		Livelli informativo	
1	Carsismo e cavità sotterranee	1.1	Elementi carsici naturali
		1.2	Buffer_20m_Elementi carsici naturali
		1.3	Ingressi grotte naturali
		1.4	Buffer_ingressi grotte naturali
		1.5	Cavità sotterranee di origine antropiche
		1.6	Buffer_Cavità sotterranee di origine antropiche
2	Pericolosità idraulica e geomorfologica	2.1	Zona PAI_AP
		2.2	Zona PAI_MP
		2.3	Zona PAI_BP
		2.4	Zona PAI_PG3
		2.5	Zona PAI_PG2-PG1
3	Acque sotterranee	3.1	Zone ZPSI
		3.2	Acquiferi pugliesi
		3.3	Zone acquiferi multilivello
4	Pozzi ad uso potabile e sorgenti	1.1	Pozzi ad uso potabile
		1.2	Sorgenti
5	Dissoluzione e alterazione chimica delle rocce	5.1	Aree interessate da fenomeni di dissoluzione chimica
6	Aspetti biochimici ed ecologici	6.1	Aree umide costiere di interesse comunitario
		6.2	Buffer_Aree umide costiere di interesse comunitario
7	Subsidenza	7.1	Aree suscettibili a subsidenza locale dovuta ad estrazione di fluidi del sottosuolo (*)
8	Caratteristiche del fluido termovettore	a.	Zone di utilizzo fluidi antigelo nelle sonde

3.4.2 Pericolosità idraulica e geomorfologica

La pericolosità idraulica e la pericolosità geomorfologica corrispondono ad ambiti di attenzione spazialmente ben definiti dalle perimetrazioni ufficiali redatte in conformità al Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) e delle relative NTA, valide per la Puglia, e riferibili all’Autorità di Distretto dell’Appennino Meridionale.

Facendo salva ogni considerazione inerente al rischio idrogeologico o alla sua variazione che potrebbe discendere dalla realizzazione di impianti in tali situazioni di attenzione, valutazioni queste già normate nell’ambito della legislazione relativa al rischio idrogeologico, di seguito si sviluppano gli elementi di rilievo con specifico riferimento agli impianti geotermici.

Tabella 16 – Quadro tematico degli ambiti di attenzione e dei relativi shapefile. CIRP = Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia; CG = Catasto Grotte; NE = Nuova Elaborazione; ABDAM = Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale; PTARP = Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia; PPTR = Piano Paesaggistico Territoriale Regionale; DPGR85/2021 = Decreto del Presidente della Giunta Regionale.

Id.	Contesto	Shapefile	Fonte dati primaria
01	Carsismo e cavità sotterranee naturali e antropiche	1.1 Elementi carsici naturali 1.2 Buffer_20m_Elementi carsici naturali 1.3 Ingressi grotte naturali 1.4 Buffer_ingressi grotte naturali 1.5 Cavità sotterranee di origine antropiche 1.6 Buffer_Cavità sotterranee di origine antropiche	CIRP (1.1) CG (1.3 - 1.5) NE (1.2 - 1.4 - 1.6)
02	Rischio Idrogeologico	2.1 Zona PAI_AP 2.2 Zona PAI_MP 2.3 Zona PAI_BP 2.4 Zona PAI_PG3 2.5 Zona PAI_PG2-PG1	ABDAM
03	Acque sotterranee	3.1 Zone ZPSI 3.2 Acquiferi pugliesi 3.3 Zone acquiferi multilivello	PTARP (3.1 - 3.2) NE (3.3)
04	Pozzi di prelievo di acqua di falda per uso potabile (AQP), Sorgenti	8.1 Pozzi ad uso potabile 8.2 Sorgenti	DPGR85/2021 CIRP
05	Chimico	4.1 Aree interessate da fenomeni di dissoluzione chimica	NE
06	Biochimico, Microbiologico ed ecologico	6.1 Aree umide costiere di interesse comunitario 6.2 Buffer_ Aree umide costiere di interesse comunitario	PPTR (6.1) NE (6.2)
07	Subsidenza	7.2 Aree suscettibili a subsidenza locale dovuta ad estrazione di fluidi del sottosuolo	NE
08	Fluido antigelo	5.1 Zone di divieto utilizzo fluidi antigelo nelle sonde	NE

Nelle zone a pericolosità geomorfologica, la realizzazione di campi sonde geotermici potrebbe diminuire il fattore di stabilità dei pendii, in particolare se già interessati da frane. Di converso, un campo sonde realizzato in un'area poco stabile o potenzialmente instabile potrebbe subire danni di rilievo con perdita di funzionalità della sonda geotermica, con rischi di sversamento nel sottosuolo del fluido termovettore, pur per contenuti spostamenti o cedimenti del sottosuolo.

Nelle aree a pericolosità idraulica, la presenza dell'impianto e delle sonde potrebbero sia costituire una via di infiltrazione preferenziale, con conseguente diffusione di inquinanti nel sottosuolo, sia creare ulteriori elementi di rischio.

Il PAI della Regione Puglia distingue le aree a pericolosità sia geomorfologica che idraulica.

Le aree a pericolosità geomorfologica vengono suddivise nelle seguenti tre categorie:

1. Aree a pericolosità geomorfologica molto elevata - PG3;
2. Aree a pericolosità geomorfologica elevata - PG2;
3. Aree a pericolosità geomorfologica media e moderata - PG1.

Le aree perimetrate a pericolosità geomorfologica, oltre ad includere le zone interessate da fenomeni di instabilità di versante, ovvero frane, sia attive che quiescenti o con una determinata propensione alla instabilità, includono anche zone caratterizzate dalla presenza di cavità sotterranee di origine antropica e naturale o comunque zone in cui sono ben definite forme morfologiche legate ai processi carsici in genere (doline, polje, orli di depressioni carsiche, voragini, grotte), e zone caratterizzate da instabilità delle coste alte.

Le aree a rischio frana sono per la maggior parte concentrate nella zona del Subappennino Dauno, mentre le zone caratterizzate dal possibile rinvenimento di cavità sotterranee sono paesisticamente presenti in vaste porzioni della regione, con particolare riferimento al Gargano, alla zona interna dell'altopiano murgiano ed alle Serre Salentine. Per quanto concerne invece alle zone costiere perimetrate a pericolosità geomorfologica, è possibile osservare che si rinvengono diffusamente, in particolare, dove la costa è di tipo roccioso e presenta delle falesie.

Anche per le aree a pericolosità idraulica vengono definite tre classi, suddivise nella seguente modalità:

1. Aree ad elevata pericolosità - A.P.;
2. Aree a media pericolosità - M.P.;
3. Aree a bassa pericolosità - B.P.

Tali aree sono presenti in tutto il territorio regionale pur se sono più diffuse in corrispondenza del settore tra Subappennino Dauno e Tavoliere nonché nella zona di raccordo tra l'arco ionico tarantino e la zona delle gravine.

3.4.3 Acque sotterranee

I possibili effetti negativi sulle acque sotterranee rappresentano sicuramente una delle principali ragioni di attenzione ambientale per la realizzazione dei campi sonde legati agli impianti di geotermia a bassa entalpia.

La realizzazione dei campi sonde geotermici nelle aree che ospitano uno o più acquiferi sovrapposti potrebbe favorire fenomeni di mescolamento delle acque di differenti acquiferi sovrapposti, con effetti negativi in termini qualitativi o quantitativi. Il ricorso al ciclo aperto, bilanciato o meno (bilanciato ovvero con integrale reimmissione in falda di quanto emunto), potrebbe creare effetti negativi in termini di variazioni dei livelli idrici e possibili interferenze con altri pozzi di prelievo, a parte considerazioni, pur se secondarie, di carattere qualitativo. In ogni caso, le modificazioni termiche delle acque di falda potrebbero sovrapporsi creando interferenze diverse da quelle meramente idrauliche, con possibili pur se poco probabili effetti negativi.

Il contesto idrogeologico della Regione Puglia risulta molto articolato. Una esemplificazione è così schematizzabile, in estrema sintesi:

1 - aree in cui la porzione satura dell'acquifero carsico si rinviene a diverse decine di metri di profondità dal piano campagna (zona interna delle Murge; zona interna del Gargano);

2 - aree in cui l'acquifero carsico è presente entro alcune decine di metri dal piano campagna (Murge basse, settore costiero del Gargano, penisola salentina);

3 – aree in cui è presente l'acquifero poroso superficiale, sostenuto da livelli impermeabili molto potenti (Tavoliere);

4 – aree in cui è presente l'acquifero poroso superficiale sostenuto da livelli impermeabili che giacciono sul calcare dell'acquifero carsico (Piana brindisina, ampi tratti delle fasce costiere, zona di Taranto).

Con riferimento a queste 4 situazioni, la profondità di discrimine per il passaggio da un caso all'altro è convenzionalmente 150 m dal piano campagna in quanto la maggior parte delle sonde geotermiche a servizio degli impianti non si spingono al di sotto di questa profondità. In altre parole, ad esempio, si passa concettualmente dal caso 1 al 2 a seconda che il rinvenimento idrico o zona satura si rinvenga al di sotto o al di sopra di 150 m dal piano campagna rispettivamente.

Questo tipo di informazione non è disponibile con continuità e adeguata accuratezza per l'intero territorio regionale.

In termini pratici quindi, fintanto che questo tipo di conoscenza non sia acquisita con sufficiente accuratezza e omogeneità, bisognerà fare riferimento alle conoscenze sito-specifiche, di archivio o derivanti da indagini pregresse. In alternativa, serviranno specifici rilievi in previsione della realizzazione dell'impianto. Da questo punto di vista, dato che il rinvenimento idrico è un dato che richiede particolare cura e può essere rilevato soltanto nel corso della perforazione, a condizione che si adottino specifiche e non economiche procedure di indagine diretta, nel seguito si farà riferimento al livello piezometrico, una grandezza rilevabile anche in pozzi o perforazioni preesistenti. Dato che il livello piezometrico può subire forti variazioni nel tempo, l'ideale sarebbe fare riferimento ad un valore statistico (ad esempio, la media). La difficoltà oggettiva di acquisire un campione statisticamente valido di misure può essere cautelativamente compensata introducendo una sorta di "franco".

Le aree della Regione in cui è possibile interessare le acque sotterranee sono, quindi, estese e per questa ragione risulta opportuno predisporre strumenti di conoscenza adeguata e indicazioni tecniche operative che ne tutelino l'utilizzo a fini geotermici, con distinguo che siano riferiti alle specifiche condizioni, così come ad oggi cartografabili.

Un ulteriore e specifico contesto idrogeologico definito, inoltre, di estrema importanza ai fini della tutela e della salvaguardia della risorsa idrica sotterranea, riguarda la delimitazione di aree in cui sono presenti acquiferi multilivello separati da livelli di acquicludo e/o acquitardo. In questi delimitati contesti areali saranno definite ed adottate specifiche prescrizioni di carattere tecnico/progettuale atte ad annullare qualsiasi possibilità di mescolamento verticale delle acque sotterranee.

3.4.4 Pozzi ad uso potabile e sorgenti

I pozzi destinati ad uso potabile sono considerati di importanza strategica per l'approvvigionamento idrico, in particolare nei periodi di grave crisi idrica.

Fatte salve per le prescrizioni normative pregresse, che già tutelano queste opere e il relativo approvvigionamento, in questo contesto si prevedono specifiche norme di tutela e salvaguardia. In particolare, si prevede il divieto di realizzazione

degli impianti in un congruo intorno delle captazioni, definendo una specifica area buffer di ciascun pozzo, individuando tali aree con criteri geometrici coerenti se non coincidenti con quanto previsto dalle specifiche norme che già regolamentano questo specifico ambito tematico.

Per le sorgenti invece, che costituiscono elementi di pregio naturalistico ed ambientale ma non necessariamente di importanza strategica per l'approvvigionamento idrico, saranno imposti dei buffer differenti, in ogni caso con lo scopo che siano preservati gli equilibri idrogeologici e, più in generale, ambientali.

3.4.5 Dissoluzione e alterazione chimica delle rocce

Le rocce evaporitiche sono caratterizzate da elevata solubilità; a contatto con le acque tendono a reagire in modo rapido, rigonfiandosi e/o dissolvendosi, specie in presenza di un sia pur modesto flusso. La realizzazione di impianti a circuito chiuso o aperto potrebbe quindi risultare foriera di effetti molto negativi qualora sia impegnata, anche soltanto per parte delle perforazioni, questa tipologia di rocce. Infatti, sia la perturbazione termica generata sia la possibile perdita di fluidi o la pur minima variazione di tenuta idraulica degli strati attraversati dalle perforazioni, potrebbero innescare problematici fenomeni di alterazione/dissoluzione, la cui evoluzione più grave potrebbe spingersi fino a possibili fenomeni di formazione di sinkhole nelle zone ad essi sovrastanti. Se tutto ciò è vero per gli impianti a ciclo chiuso, ancor più rilevanti e temibili potrebbero risultare gli effetti degli impianti a ciclo aperto.

Nella Regione Puglia, questo tipo di rocce, entro 150 m dal piano campagna, si rinvengono in un'area limitata posta in prossimità del Lago di Lesina. Trattasi di un livello gessoso che in alcune zone risulta essere in affioramento ed in altre risulta presente ad oltre 30 metri di profondità dal piano campagna. Sono attualmente in corso, da parte di Enti pubblici, studi approfonditi riguardanti la modalità con cui questi gessi si stiano alterando provocando il lento sprofondamento di questa zona, che coinvolge la cosiddetta Marina di Lesina. In ogni caso, in tale contesto di attenzione, sono previsti adeguati e prudenziali criteri restrittivi, descritti nel report dedicato al tema, il Deliverable 4.1 "Criteri di realizzazione in contesti di attenzione e cartografia guida".

3.4.6 Aspetti biochimici ed ecologici

I possibili effetti biochimici, microbiologici, e/o ecologici relativi alle piccole utilizzazioni locali di geotermia a bassa entalpia potrebbero essere di un qualche rilievo pratico nelle aree a forte valenza ambientale ed ecologica, in Puglia riferibili sostanzialmente alle aree umide costiere di interesse comunitario, perimetrare e tutelate con differenti strumenti normativi.

In termini pratici, per area umida costiera di interesse comunitario si intende, nell'ambito di questa attività, quelle di cui è noto il perimetro, nell'ambito del quale sono presenti normative di tutela vigenti, con riferimento ai Siti di Interesse Comunitario (SIC) e alle zone umide identificate in attuazione della Convenzione di Ramsar.

Un impianto di geotermia a bassa entalpia a ciclo chiuso fondamentalmente può produrre una variazione termica in un certo intorno dell'impianto. In relazione a tale variazione potrebbero prodursi teoricamente variazioni della popolazione microbiologica e della relativa mobilità, e/o variazioni in termini di biodegradazione, e/o ossidazione della sostanza organica, etc. La complessità di questi fenomeni è tale, anche soltanto in termini di caratterizzazione preventiva dei siti (possibili effetti negativi degli impianti a parte), che si debbano seguire robusti criteri di precauzione che forniscano chiare prescrizioni affinché la realizzazione degli impianti di geotermia a bassa entalpia salvaguardino e garantiscano la naturalità, prevedendo divieti, nel caso degli impianti a ciclo aperto, e idonee soluzioni di studio, progettazione, realizzazione e conduzione nei restanti casi.

3.4.7 Subsidenza

Il fenomeno della subsidenza, ossia l'abbassamento nel tempo della superficie topografica, si verifica in aree caratterizzate da specifiche litologie, peculiari caratteristiche idrogeologiche e geomorfologiche e/o in relazioni a complesse situazioni geostrutturali. Sovente, può avere un ruolo rilevante l'estrazione di fluidi dal sottosuolo, come nel caso del sovrasfruttamento delle falde di acquiferi porosi.

Se da un lato la tecnologia della geotermia a circuito chiuso non influenza questo tipo di fenomeno, al contrario quella a circuito aperto, basata sul prelievo

dei fluidi presenti nel sottosuolo, con o senza reimmissione, potrebbe indurre o contribuire a impatti negativi, in assenza di attente verifiche idrogeologiche e geotecniche, di certo complesse e costose, se adeguatamente accurate. Tale circostanza non può essere considerata di trascurabile rilevanza laddove vi siano già effetti di subsidenza in corso o vi sia una documentata ed elevata propensione alla subsidenza da estrazione di fluidi.

La previsione di un ciclo aperto con totale reimmissione in falda di quanto emunto di per sé non è garanzia di assenza di effetti non presentando le terre significative caratteristiche elastiche, circostanza questa che non esclude che comunque risulti una residua deformazione che comporti un abbassamento dei livelli litici interessati.

In Puglia vi sono zone potenzialmente suscettibili ai rischi di subsidenza. Per alcune di queste vi sono recenti riscontri, derivanti da osservazioni quantitative. Trattasi di porzioni di settori costieri del Tavoliere, della Marina di Lesina e, secondariamente, dell'arco ionico tarantino. Tali conoscenze sono comunque largamente preliminari e non hanno portato, ad oggi, ad una attenta e oggettiva perimetrazione delle aree esposte e tantomeno alle possibili cause, riconoscimento questo abbastanza complesso nel caso della subsidenza. Allo stato delle conoscenze, quindi, se vi sono gli elementi informativi utili per definire i criteri prescrittivi nelle aree a rischio subsidenza per estrazione da fluidi, non vi sono elementi conoscitivi sufficienti per circoscrivere tutte le aree in cui applicare tali criteri.

3.4.8 *Fluido termovettore*

L'utilizzo di additivi anticongelanti nel fluido di circolazione può comportare dei potenziali e limitati rischi in caso di rottura delle sonde. In sostanza, la perdita del fluido contenente un'aliquota di additivo anticongelante nell'ammasso roccioso potrebbe avere effetti qualitativi negativi per le acque sotterranee e, più in generale, per l'ambiente. La rottura delle sonde durante l'esercizio è un evento molto raro ma non impossibile. Gli effetti, pur in presenza di un evento negativo, sono da ritenersi molto limitati, tenuto conto delle quantità in gioco e della usuale natura delle sostanze antigelo utilizzate.

In Puglia le zone dove le temperature invernali hanno valori negativi per tempi sufficientemente prolungati per creare problemi agli impianti a fluido sono limitate alle aree più interne del promontorio del Gargano e del subappennino dauno, quelle nelle quali si raggiungono le altimetrie più elevate.

In estrema sintesi, essendo la temperatura atmosferica e, di conseguenza, quella dei primi metri di sottosuolo, fortemente correlata, in modo inverso, all'altitudine, il criterio di attenzione distingue le porzioni del territorio regionale per cui il fluido antigelo non risulta necessario. In queste zone, a quota minore di 700 m s.l.m., l'uso di additivi anticongelanti è vietato; nelle restanti di limitata estensione, è consentito l'uso di specifici additivi anticongelanti.

Gli additivi anticongelanti consentiti devono avere caratteristiche certificate che garantiscano la natura atossica e la biodegradabilità, e che risultino ambientalmente ed ecologicamente compatibili e che non possano avere effetti in termini di corrosione delle tubazioni. Allo stato, vi sono prodotti con queste caratteristiche che risultano utilizzate anche nelle filiere dell'alimentazione umana.

3.5 Criteri di realizzazione in contesti di attenzione

In relazione ai criteri di attenzione rappresentati in precedenza, i relativi criteri ottimali di realizzazione o le prescrizioni e le limitazioni sono dettagliatamente descritti nel report dedicato al tema, il Deliverable 4.1 "Criteri di realizzazione in contesti di attenzione e cartografia guida". Non essendo prudente una sintesi che potrebbe distorcerne l'interpretazione, si preferisce rinviare l'approfondimento al già citato report.

3.6 La Cartografia Guida

La cartografia prodotta per il progetto si basa sulla implementazione di tre tipologie cartografiche: informativa, vincolistica e di indirizzo.

La prima tipologia di ordine informativo, è basata sulla ricostruzione di 21 modelli lito-stratigrafici che rappresentano tutte le possibili combinazioni delle unità litologiche individuate nell'intero territorio pugliese, analizzate e ricostruite fino ad una profondità dal piano campagna di 150 metri. Con tale cartografia ci si è posto l'obiettivo di applicare una nuova metodologia di analisi e rappresentazione delle conoscenze, per certi versi innovativa per quel che

concerne la modalità di rappresentazione spaziale, coniugando le informazioni di natura geologica e litologica di superficie con quelle presenti nella zona “nascosta” del sottosuolo fino alla profondità di interesse per le applicazioni geotermiche riguardanti le piccole utilizzazioni locali di energia geotermica.

La seconda tipologia invece è di tipo vincolistico, con la rappresentazione di tutti i livelli informativi creati per il progetto in relazione agli ambiti tematici di criticità. Si fornisce quindi la mappatura vincolistica complessiva in cui è stato suddiviso l'intero territorio regionale.

La terza tipologia infine, è quella di indirizzo, in cui sono presenti le analisi d'insieme delle criticità che hanno condotto alla delimitazione di quattro macrozone a differente grado di tutela, identificate con quattro colorazioni differenti e caratterizzate da criteri di tutela crescente. Queste zone sono inoltre differenti in base alla tipologia di impianto geotermico, ossia del tipo a ciclo chiuso o aperto, in quanto differenti sono le problematiche ambientali ad essi connessi. Le tre zone individuate sono le seguenti: verde, celeste, arancione e rossa.

La zona verde corrisponde all'assenza di criteri specifici riconducibili ai contesti di attenzione. In tale zona si applicheranno unicamente i criteri generali indicati dalla normativa, tra cui, di certo, la registrazione dell'impianto in una apposita banca dati regionale.

La zona celeste è caratterizzata da un livello di attenzione che si potrebbe definire interlocutorio: specifiche prescrizioni possono o no attivarsi in funzione di come si realizzi l'impianto nella specifica localizzazione. In questa zona vi sono delle configurazioni di impianto per cui si possa ricadere in situazioni analoghe a quelle della zona verde o, in alternativa, in condizioni analoghe alla zona arancione. L'operatore è quindi motivato ad approfondire il caso di interesse e le scelte progettuali, mettendole in relazione alle peculiarità del sito in cui si andrà ad operare.

La zona arancione è caratterizzata da un livello di attenzione medio e gli impianti dovranno essere progettati e realizzati seguendo specifiche linee guida in relazione alle specificità del contesto di attenzione riconosciuto (uno o più) e in cui ricade l'impianto.

La zona rossa è caratterizzata da un livello di attenzione elevato: in questa zona non sarà possibile realizzare impianti della tipologia indicata.

Nel caso in cui si sovrappongano più contesti di attenzione a cui corrispondano zone di diversa colorazione, sarà rappresentata comunque e unicamente la zona che comporta maggior tutela. Nel caso in cui si sovrappongano più criteri di attenzione che comportino una zona del medesimo colore, comunque sarà rappresentato soltanto il colore previsto. In altre parole, la rappresentazione cromatica esemplifica la presenza di condizioni di attenzione o meno ma non è di per sé esaustiva qualora sia rappresentato il colore celeste o arancione: in questi casi, la conoscenza esaustiva della situazione complessiva di attenzione richiede il ricorso alla consultazione della rappresentazioni cartografiche di ciascuna tipologia di criterio di attenzione, in modo da individuare in modo esaustivo se la colorazione richieda il rispetto di uno o più criteri di attenzione.

3.6.1 La mappa dei modelli stratigrafici della Regione Puglia: metodologia di elaborazione e finalità

Il panorama cartografico nazionale ed internazionale offre una ricca gamma di mappe tematiche applicative, di natura geologico-tecnica o applicativa, con forti ricadute su aspetti di ingegneria civile e ambientale. Partendo da conoscenze geologiche, tali mappe approfondiscono aspetti di rilievo applicativo sintetizzandoli graficamente con riferimento alle peculiarità territorio analizzato. Risultano così ampiamente diffuse mappe tematiche di tipo geotecnico, idrogeologico, litologico, sedimentologico, sismico, ecc., che stanno acquisendo un ruolo sempre più strategico nell'ambito della pianificazione territoriale, della ricerca industriale, delle energie rinnovabili e dello sviluppo sostenibile.

Caratteristica comune della gran parte di questa tipologia di mappe è quella di rappresentare il dato della zona più "superficiale" dell'area rappresentata, relegando le informazioni riguardanti il sottosuolo e quindi la porzione "nascosta" del territorio analizzato al più alla limitata copertura areale di sezioni bidimensionali a corredo delle mappe.

In letteratura sono presenti pochi esempi di carte tematiche che rappresentano oltre al dato più francamente "superficiale", anche informazioni riguardanti la modalità con cui le varie unità presenti si susseguono ed organizzano nel sottosuolo oltre che in superficie. Un esempio applicativo di

questa modalità di rappresentazione del dato è possibile osservarlo nelle recenti carte di microzonazione sismica, dove vengono individuate microzone omogenee in prospettiva sismica basate sulla modalità di organizzazione verticale delle unità litotecniche.

Volendo offrire il massimo supporto applicativo per il settore delle tecnologie geotermiche ed un efficace strumento conoscitivo a disposizione di ricercatori e decisori per supportare le politiche regionali di raggiungimento degli obiettivi di sostenibilità, ci si è posto l'obiettivo di applicare una nuova metodologia di analisi e rappresentazione delle conoscenze, per certi versi innovativa per quel che concerne la modalità di rappresentazione spaziale, coniugando le informazioni di natura geologica e litologica di superficie con quelle presenti nella zona "nascosta" del sottosuolo fino alla profondità di interesse per le applicazioni geotermiche più diffuse.

Sono stati così ricostruiti 21 modelli lito-stratigrafici che rappresentano tutte le possibili combinazioni delle unità litologiche individuate nell'intero territorio pugliese, analizzate e ricostruite fino ad una profondità dal piano campagna di 150 metri.

La fase propedeutica relativa alla ricostruzione dei modelli stratigrafici per il territorio pugliese è stata quella di raggruppare in unità litologiche omogenee le unità formazionali presenti nei Fogli della Carta Geologica Ufficiale in scala 1:100.000 e di quella 1:50.000 (Progetto CARG), e revisionare le classi litologiche individuate per la redazione della Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia realizzata dall'ex Autorità di Bacino della Puglia, ora Autorità di Distretto dell'Appennino Meridionale. In subordine al criterio puramente litologico, le unità litologiche individuate sono state classificate o aggregate con un criterio di tipo "genetico", evidenziando un collegamento tra litologia e ambienti deposizionali e/o periodo deposizionale.

L'analisi compiuta ha condotto all'individuazione di 6 unità litologiche.

1. L'Unità Silico-clastica (USC) è costituita da sabbie, limi, ghiaie e brecce calcaree, sciolte o mediamente addensate, diffuse in tutto il contesto regionale pugliese. E' riferibile a depositi alluvionali recenti e terrazzati, coperture detritiche, depositi lacustri, unità deposizionali marine post-calabrianne, depositi colluviali, dune e spiagge costiere e depositi di fondovalle.

2. L'Unità Argillosa (UAG) è costituita da argille, argille marnose e argille limoso-sabbiose di colore grigio-azzurro plio-pleistoceniche, talora giallastre per alterazione, riferibili alle argille del ciclo sedimentario della fossa bradanica.
3. L'Unità Calcarenitica (UCL) è costituita da calcareniti bioclastiche con grado di cementazione medio-elevato, calcisiltiti e calcareniti a tessitura fine con grado di cementazione medio basso, a luoghi porose e permeabili.
4. L'Unità Flyschoide (UFL) è costituita da un'alternanza di calcari marnosi, calcareniti, calciruditi, argille ed arenarie presenti in corrispondenza del subappennino dauno.
5. L'Unità Caotica Argillosa (UCA) è costituita da un'alternanza di argille scagliose con tonalità cromatiche variabile dal rosso al verde a cui si intercalano strati e blocchi di calciruditi, breccie ed arenarie quarzose ad assetto generalmente caotico presenti in corrispondenza del subappennino dauno.
6. L'Unità Calcareao-dolomitica (UCD) è costituita da Calcari, calcari dolomitici e dolomie in strati (dal centimetro a qualche decimetro) e banchi (fino al metro), massici o irregolarmente stratificati, a cui si intercalano livelli di "terra rossa". Il grado di fratturazione e carsificazione risulta molto variabile.

Le unità litologiche individuate, in alcuni casi, risultano costituite da formazioni geologiche differenti riferibili a periodi deposizionali diversi. Il quadro cronologico relativo ai periodi deposizionali delle singole unità individuate è rappresentato nella seguente Figura 11. L'unità silico-clastica include unità formazionali dal Pleistocene medio all'Olocene; l'unità argillosa risulta costituita quasi esclusivamente dalla Formazione della Argille subappennine del Pleistocene inferiore; l'unità calcarenitica è costituita da litologie di formazioni riferibili al Miocene (Pietra Leccese) ed al Pleistocene inferiore (Calcareniti di Gravina e Calcareniti del Salento); l'unità flyschoide include formazioni mioceniche; l'unità caotica argillosa include terre riferibili ad un periodo ampio, dal Cretaceo al Miocene; l'unità Calcareao-dolomitica, costituita dal raggruppamento delle formazioni carbonatiche che formano la cosiddetta ossatura geologica della Puglia, copre l'intervallo cronologico Giurassico-Cretaceo.

	Olocene	Pleistocene sup. e medio	Pleistocene inferiore	Miocene	Cretaceo - Miocene	Giurassico - Cretaceo
USC - Unità Silico-clastica						
UAG - Unità Argillosa						
UCL - Unità Calcarenitica						
UFL - Unità Flyschoide						
UCA - Unità Caotica Argillosa						
UCD - Unità Calcareo-dolomitica						

Figura 11 Suddivisione schematica per la Puglia in unità litologiche.

In seguito alla definizione delle 6 unità litologiche di riferimento, si è passati ad analizzare la modalità con cui dette unità litologiche si organizzano e si sussungono verticalmente nel sottosuolo. Come detto, la profondità massima rappresentata è stata di 150 metri a partire dal piano campagna (quella analizzata è stata maggiore, con differenze da zona a zona, funzione della complessità stratigrafica e delle conoscenze disponibili). L'analisi interpretativa di dettaglio è stata coadiuvata dalla ricognizione delle informazioni presenti nelle pubblicazioni scientifiche e nelle relative cartografie, nelle stratigrafie dei pozzi della Legge 464/84 fruibili liberamente nel database ISPRA (circa 7800 pozzi), dall'analisi delle stratigrafie dei pozzi dell'Ente Irrigazione e dei Consorzi di Bonifica, dai database e/o fonti storiche disponibili presso CNR-IRPI, ed infine dalle informazioni relative ad indagini private realizzate nel territorio pugliese. Tutti i dati così consultati, per quanto molto numerosi e dislocati in tutto il territorio regionale, non hanno ovunque idonea densità, profondità o accuratezza. Si è quindi

proceduto ad una attenta validazione delle conoscenze, alla loro accurata interpretazione, avendo sempre come riferimento da una parte le conoscenze geologiche consolidate (cartografie ufficiali e pubblicazioni chiave) e dall'altra la vasta esperienza e conoscenza del territorio del Gruppo di Lavoro. Al termine di questo percorso, i modelli stratigrafici sono stati determinati così come nel seguito rappresentati.

In Puglia si distinguono 21 modelli litostratigrafici; le loro specifiche modalità di organizzazione verticale, oltre che alla distribuzione areale nel territorio pugliese, sono illustrati nelle rappresentazioni grafiche di Figura 12 e Figura 13.

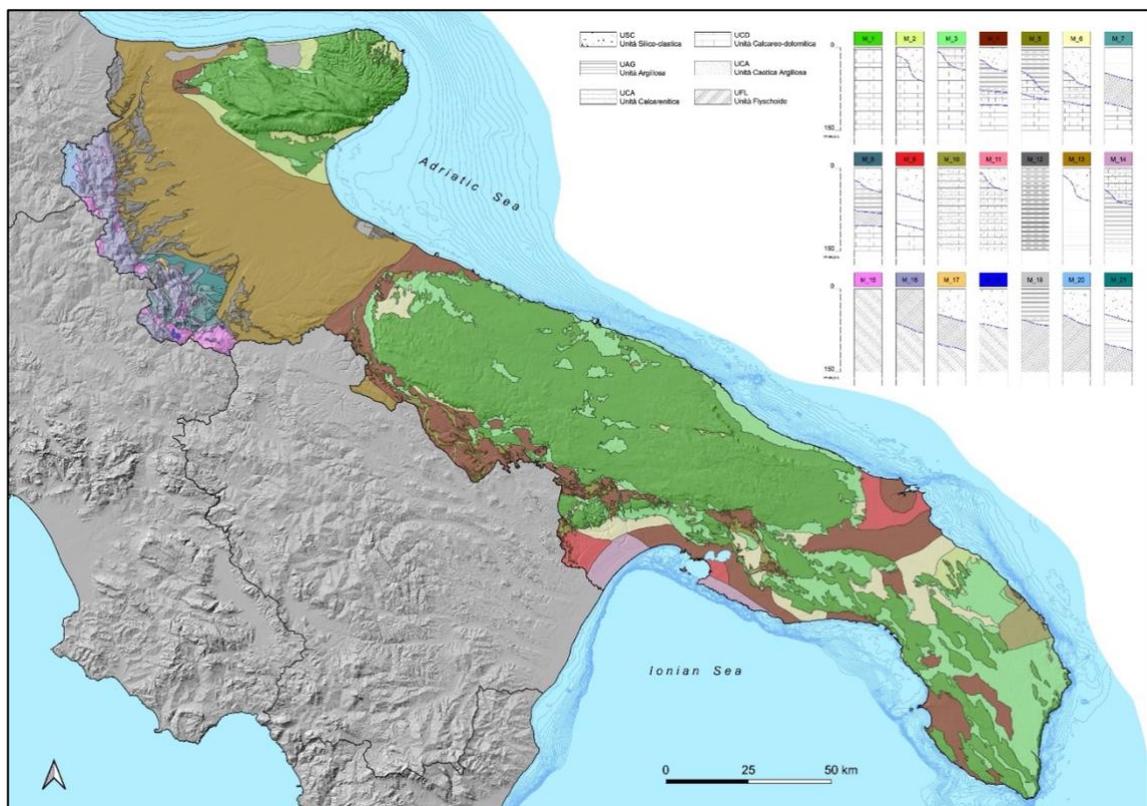


Figura 12 - Mappa dei modelli stratigrafici della Regione Puglia. Carta delle unità litologiche in affioramento e ubicazione dei modelli litostratigrafici (si confronti, per un maggiore dettaglio sui modelli, la Figura 11).

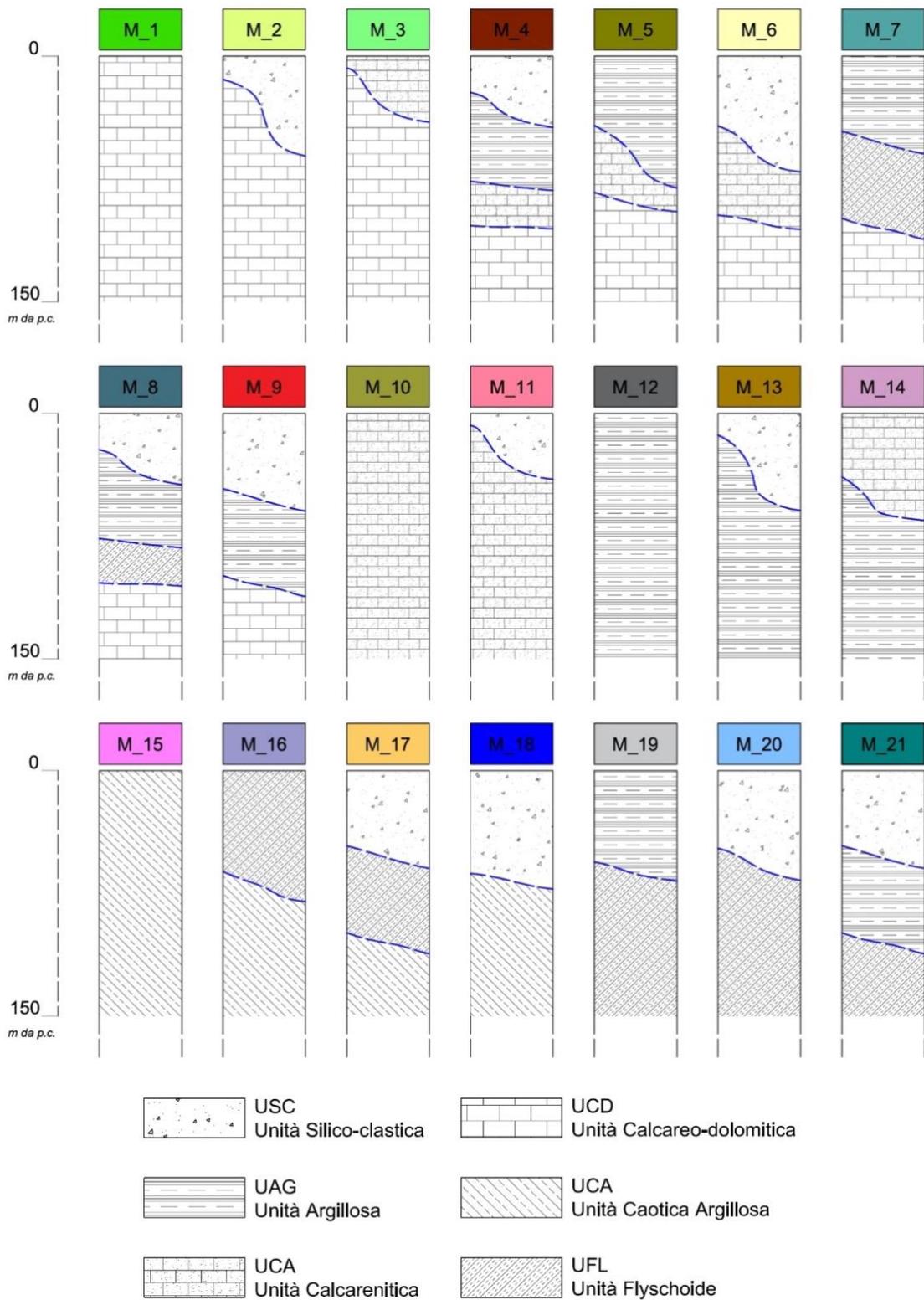


Figura 13 - I 21 modelli litostратigrafici della Puglia e le 6 unità litologiche schematiche che li compongono (per l'ubicazione dei modelli si consideri la Figura 12).

3.6.2 Delimitazioni di aree e ottimali procedure di realizzazione

Le politiche verso il raggiungimento degli SDGs e, nello specifico, quelle per l'utilizzo di uno scambio termico sostenibile con il sottosuolo, devono viaggiare sul doppio binario della semplificazione e del monitoraggio. Va assicurato un quadro di regole chiaro e basato sull'evidenza scientifica che consenta, in uno, la salvaguardia dell'ambiente, la salvaguardia della possibilità dell'utilizzo per le prossime generazioni della risorsa, un mantenimento di adeguati standard di comfort termo-igrometrico anche in presenza di sempre più frequenti ondate di freddo o caldo anomalo. Visti gli obiettivi, si ritiene che la redazione di una mappa che potremmo definire di sintesi (Figura 12), unita alla predisposizione di opportuni strumenti legislativi e linee guida, possa veicolare positivamente un potenziale fruitore verso l'utilizzo di questa tecnologia ambientalmente sostenibile, in quanto rappresenta un'efficace ed immediato strumento di visualizzazione territoriale. Gli elementi territoriali inseriti infatti, elaborati ed analizzati nel loro complesso, permettono di effettuare valutazioni qualitative e quantitative inerenti l'attitudine allo scambio termico di una determinata zona di interesse, ed in estrema sintesi finale, di valutare le aree dove la realizzazione di questi impianti è consentita senza alcuna prescrizione, dove è consentita con restrizioni risolvibili mediante l'utilizzo di opportune precauzioni di tipo progettuale ed esecutivo e zone dove tale sistema è del tutto incompatibile con la specificità territoriale.

La metodologia di elaborazione della mappa è stata articolata in fasi consequenziali che hanno avuto inizio con la valutazione e l'analisi delle criticità ambientali legate al peculiare contesto territoriale e geologico regionale.

Gli elementi di criticità selezionati sono stati successivamente mappati cartograficamente. Per alcuni tematismi inseriti è stata utilizzata come fonte dati primaria la cartografia tematica ufficiale della Regione Puglia, presente all'interno degli strumenti di pianificazione e governo del territorio, mentre altri tematismi hanno richiesto specifiche elaborazioni; infine, per alcuni tematismi come ad esempio la suscettibilità a subsidenza, è emerso che si richiedano ancora approfondimenti e codifiche in cartografie da consolidare a livello pianificatorio regionale per essere poi assunte quale base per le prescrizioni realizzative.

Il quadro sinottico delle criticità ambientali analizzate e per le quali sono stati elaborati specifici shapefile sono sintetizzati nella Tab. 2 del Deliverable 4.1 “Criteri di realizzazione in contesti di attenzione e cartografia guida”.

Ad ognuna delle criticità analizzate ed elencate dalla suddetta tabella è stato attribuito uno specifico indice ambientale di attenzione relativo alla realizzazione di impianti di geotermia a bassa entalpia, distinti per il ciclo aperto e per il ciclo chiuso.

La successiva analisi d'insieme delle criticità ha condotto alla delimitazione di quattro macrozone a differente grado di attenzione, identificate con quattro colorazioni differenti e caratterizzate da criteri di tutela crescente. Queste zone sono inoltre differenti in base alla tipologia di impianto geotermico, ossia se del tipo a ciclo chiuso o aperto, in quanto differenti sono le problematiche ambientali ad essi connessi.

Le quattro zone individuate sono le seguenti: verde, celeste, arancione e rossa.

La zona verde è caratterizzata da un livello di attenzione molto basso o assente: gli impianti possono essere progettati e realizzati senza alcuna restrizione specifica, seguendo gli iter autorizzativi esplicitati nei regolamenti legislativi attualmente vigenti e comunque con l'obbligo di comunicazione dell'impianto nel Registro sonde geotermiche presenti in Puglia.

La zona celeste è caratterizzata da un livello di attenzione da verificare. In questa zona vi sono delle configurazioni per cui si possa ricadere in situazioni analoghe a quelle della zona verde o, in alternativa in condizioni da cui alla successiva zona arancione. L'operatore è quindi motivato ad approfondire il caso di interesse e le scelte progettuali, mettendole in relazione alle peculiarità del sito in cui si andrà ad operare.

La zona arancione invece, è caratterizzata da un livello di attenzione medio: gli impianti potranno essere progettati e realizzati seguendo specifiche indicazioni, in relazione allo specifico contesto di attenzione in cui ricadono. Qualora ricadano in più di un contesto di attenzione, in ogni caso, le prescrizioni da applicarsi saranno sempre le più cautelative risultanti da quelle desumibili dall'unione dei criteri previsti (Tabella 17).

La zona rossa infine, è caratterizzata dal massimo livello di attenzione, tale che in essa non sarà possibile realizzare impianti geotermia della tipologia indicata (Tabella 17).

Definiti i contesti di attenzione e i relativi criteri, nonché il significato delle zone policrome, la Tabella 17 riassume schematicamente come questi si relazionino.

Tabella 17 – Indici cromatici dei livelli di attenzione, crescente dal celeste, all’arancione e al rosso, e relativi contesti di attenzione.

Id.	Contesto	Shapefile	CIRCUITO CHIUSO		CIRCUITO APERTO	
			Zona codificata		Zona codificata	
			Divieto	Prescrizioni	Divieto	Prescrizioni
01	Carsismo e cavità sotterranee naturali e antropiche	1.1 Elementi carsici naturali 1.2 Buffer_20m_Elementi carsici naturali				
		1.3 Ingressi grotte naturali 1.4 Buffer_ingressi grotte naturali				
		1.5 Cavità sotterranee di origine antropiche 1.6 Buffer_Cavità sotterranee di origine antropiche				
02	Rischio Idrogeologico	2.1 Zona PAI_AP 2.2 Zona PAI_MP 2.3 Zona PAI_BP				
		2.4 Zona PAI_PG3				
		2.5 Zona PAI_PG2-PG1				
03	Acque sotterranee	3.1 Zone ZPSI				
		3.2 Acquiferi pugliesi				
		3.3 Zone acquiferi multilivello				
04	Pozzi ad uso potabile e sorgenti	4.1 Pozzi ad uso potabile e sorgenti				
05	Chimico	4.1 Aree interessate da fenomeni di dissoluzione chimica				
06	Biochimico, Microbiologico ed ecologico	6.1 Aree umide costiere di interesse comunitario 6.2 Buffer_ Aree umide costiere di interesse comunitario				
07	Subsidenza	7.1 Aree suscettibili a subsidenza locale dovuta ad estrazione di fluidi del sottosuolo	-	-		

4 Attività di gestione amministrativa e tecnica del progetto

La Convenzione Operativa oggetto del presente Report è stata stipulata in data 26.10.2019. Per quanto riguarda le attività di coordinamento, sono state svolte sedute di Comitato di Indirizzo in data 12/03/2020, 25/06/2020 e 14/09/2021 e si è mantenuta con continuità l'interlocuzione per le vie brevi (mail, telefono, incontri informali, ecc.) con gli altri sottoscrittori.

Per quanto attiene ai criteri di gestione del CNR, la parte in capo al CNR-IRPI è stata registrata con codice DTA.AD003.363. La durata complessiva per lo svolgimento delle attività era inizialmente prevista di 2 anni.

A causa dell'emergenza COVID, alcune attività sono state sospese o rallentate; ad esempio, le attività di sito sono state sospese per l'impossibilità di effettuare missioni nei periodi di *lockdown*.

Si sono così determinate condizioni che hanno suggerito di posticipare il termine delle attività, decisione assunta in Comitato di indirizzo a giugno 2020. I termini della proroga della Convenzione Operativa sono descritti dal Resoconto del citato Comitato di Indirizzo del 25 giugno 2020.

Tra i "prodotti" delle attività di ricerca svolte, oltre ai *deliverable* previsti dalla Convenzione Operativa, tutti completati, si ricorda la pubblicazione sulla rivista internazionale WATER della MDPI del seguente articolo: *Improving Regulation and the Role of Natural Risk Knowledge to Promote Sustainable Low Enthalpy Geothermal Energy Utilization*.

Le attività di divulgazione delle attività di ricerca, infine, sono state realizzate mediante la partecipazione, con relazioni orali, ai seguenti eventi:

- "La costruzione della rete di collaborazione con Università, Enti di ricerca e Centri di competenza per le attività di Studio, Supporto alla Legislazione e alle Politiche di Garanzia. Prime esperienze applicative", organizzato dal Consiglio Regionale della Puglia in data 18.09.2021;
- Meeting "Partnership istituzionale per lo sviluppo sostenibile del territorio", nell'ambito del Festival dello sviluppo sostenibile 2020, tenutosi on-line, 06/10/2020;
- Convegno Nazionale dell'Associazione Italiana di Geologia Applicata, tenutosi a Matera il 20.09.2021;

-
- 48° Convegno Internazionale della IAH (*International Association of Hydrogeologists*), svoltosi dal 6 al 10/9/2021 (Bruxelles).

E' infine prevista la presentazione orale nell'ambito del prossimo Convegno "Flowpath 2021- National Meeting on Hydrogeology", previsto dal 1 al 3/12/2021 (Napoli), e il cui contributo è candidato per la stampa sulla rivista *Italian Journal of Groundwater*.

5 Considerazioni conclusive

Le complesse, innovative e intense attività svolte hanno permesso di sviluppare una metodologia al contempo originale e versatile per sostenere il pieno sviluppo dell'utilizzo delle tecnologie di geoscambio a bassa entalpia nel pieno rispetto delle peculiarità del territorio regionale pugliese e dei delicati equilibri che caratterizzano alcuni contesti territoriali inquadrandoli nel più ampio contesto delle politiche di sviluppo sostenibile.

I risultati costituiscono una base di discussione pronta per il confronto con gli interlocutori interessati agli sviluppi normativi di cui questa esperienza si confida sia incubatrice, interlocutori che siano all'interno dell'Istituzione regionale come nel contesto delle professionalità e delle imprese, fino ai singoli soggetti della società civile interessati alla tematica. L'ambito indagato è da considerarsi di grande importanza per il raggiungimento alla scala regionale degli obiettivi di sostenibilità ambientale previsti dall'Agenda 2030 e dalle strategie europee più recenti per la transizione giusta, ecologica e digitale nonché per le esigenze di indipendenza energetica, come di tutti i settori strategici, tenendo tra l'altro conto della non trascurabile circostanza che il settore vede filiere complete di produzione, installazione e gestione in Italia e ragguardevoli competenze maturate in Puglia anche grazie al ruolo esemplare degli impianti su immobili regionali.

La rilevanza dei risultati conseguiti ha beneficiato appieno del proficuo approccio collaborativo tra i diversi attori della Convenzione Operativa consentendo il miglioramento della capacità istituzionale necessaria a soddisfare il pubblico interesse nei diversi ambiti in cui gli enti operano. Il metodo si è quindi dimostrato efficace e perciò meritevole di ulteriori applicazioni in funzione degli scopi di interesse, comune e pubblico, del Consiglio Regionale della Puglia e del CNR.