



UNIVERSITÀ DI PARMA

Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale

HydrogeoCentre

Studio idrogeologico finalizzato all'affinamento del modello idrogeologico concettuale nell'area interessata dalla realizzazione dell'Area Cluster di Eni S.p.A. denominata "Sant'Elia 1 – Cerro Falcone 7", sita in località La Civita del Comune di Marsicovetere (PZ)

Responsabile Scientifico

Prof. Fulvio Celico

7 maggio 2024

1. Premessa

La presente Relazione riporta la sintesi dei risultati acquisiti nel corso dello *Studio idrogeologico finalizzato all'affinamento del modello idrogeologico concettuale nell'area interessata dalla realizzazione dell'Area Cluster di Eni S.p.A. denominata "Sant'Elia 1 – Cerro Falcone 7", sita in località La Civita del Comune di Marsicovetere (PZ)*, con particolare riferimento alle attività sviluppate o supervisionate dall'Università degli Studi di Parma fino al mese di maggio 2024, ai sensi di quanto previsto nell'apposito contratto stipulato con Proger S.p.A.

Il presente Studio è stato sviluppato sulla base di attività di indagine progettate in modo da restituire risultati attendibili nel lasso di tempo intercorrente tra il conferimento dell'incarico all'Università degli Studi di Parma e la scadenza entro la quale ENI S.p.A. è tenuta a rispondere alla richiesta di integrazioni all'Istanza di proroga dei termini di validità del decreto di compatibilità ambientale rilasciato dalla Regione Basilicata con DGR n. 461 del 10.04.2015, relativa al "*Progetto per la realizzazione dell'Area Cluster Sant'Elia 1 – Cerro Falcone 7 in località La Civita del Comune di Marsicovetere (PZ)*", formulata dal Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica (MASE), con Nota del 26.06.2023. In particolare, l'HydrogeoCentre dell'Università degli Studi di Parma è stato coinvolto al fine di rispondere alle Criticità n. 6 (par. 3.4.3.1.6) e n. 7 (par. 3.4.3.1.7).

Il presente documento viene pertanto impostato in modo tale da fornire gli elementi di conoscenza integrativi richiesti nei paragrafi citati in precedenza.

2. Integrazioni di natura idrogeologica relative alla “Criticità n. 6”

Nel par. 3.4.3.1.6, la “Criticità n. 6” — Componente “Acque sotterranee” — si riferisce a: “*Non sufficiente garanzia dell’opera dal rischio idraulico, assenza di realizzazione di opportuni accorgimenti. L’opera stessa non risulta inoltre sufficientemente presidiata in caso di eventi di piena e di sversamenti accidentali*”. Di seguito, vengono richiamati i passaggi di natura idrogeologica e, per ciascuno di essi, vengono schematizzati gli ulteriori elementi di conoscenza richiesti dalla Commissione del MASE (il corsivo virgolettato è tratto dalla richiesta del Ministero). In paragrafi successivi e dedicati, si procederà alla descrizione dettagliata dei nuovi elaborati citati nel presente paragrafo.

1. “*Non vi è una conoscenza puntuale delle falde idriche, non se ne conoscono quote di rinvenimento e stabilizzazione, non si conosce lo spessore dell’acquifero, né per quale spessore esso è attraversato dalle perforazioni e fino a quale quota*”.
 - Tenendo conto di quanto affermato dalla Commissione Tecnica del MASE si è ritenuto importante approfondire ulteriormente quanto già riportato nello Studio idrogeologico effettuato nel 2018 (Nota SIME_AMB-06_276 del mese di agosto 2018), anche attraverso la redazione di una Carta idrogeologica di dettaglio (Allegato n. 2.1), arricchita con due sezioni idrogeologiche, di cui una longitudinale ed un’altra ortogonale al verso di flusso della falda all’interno dell’acquifero detritico su cui insiste l’Area cluster SE1-CF7; in particolare:
 - **le quote di rinvenimento e stabilizzazione della falda idrica nell’acquifero detritico** (al netto delle usuali fluttuazioni piezometriche stagionali) sono state **misurate sperimentalmente**, mediante freatimetro metrato e centimetrato, in tutti i piezometri ad oggi disponibili;
 - la successiva elaborazione e spazializzazione dei dati piezometrici ha consentito la ricostruzione del reticolo di flusso della medesima falda, con conseguente **quantificazione dello spessore di acquifero insaturo**;
 - lo **spessore di acquifero saturo è stato ricostruito e visualizzato**, per quanto desumibile dai dati ad oggi disponibili (stratigrafie di sondaggi meccanici e carta geologica);
 - **le quote alle quali si attestano le perforazioni** ad oggi esistenti nell’acquifero detritico sono state **ricostruite e visualizzate** nelle su citate sezioni idrogeologiche, riportando anche, per ciascuna di esse, il dettaglio stratigrafico ricostruito in fase di perforazione;
 - a tal proposito, non ci si è limitati ad affinare le conoscenze relative alle quote ed agli spessori, ma è stata anche **ricostruita l’eterogeneità idraulica dell’acquifero detritico**, evidenziando le porzioni di acquifero a minore e a maggiore permeabilità (in funzione della granulometria dei sedimenti e degli esiti delle prove di caratterizzazione idraulica del mezzo geologico effettuate nel corso dello studio idrogeologico del 2018);
 - per quanto concerne gli **acquiferi carbonatici limitrofi**, solo molto parzialmente interessati da sondaggi meccanici, si è proceduto ad una stima delle quote piezometriche utilizzando (i) la falda dell’acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri come quota iniziale di riferimento e (ii) i gradienti idraulici caratteristici degli acquiferi carbonatici dell’Appennino centro-meridionale, tratti dalla Letteratura scientifica;
2. *Non è previsto un sistema di monitoraggio in continuo dei parametri idrochimici delle falde.*
 - Al termine della fase di affinamento del modello idrogeologico concettuale si è proceduto alla **progettazione di una rete di monitoraggio integrativa** a quella già esistente (cfr. Carta idrogeologica di dettaglio; Allegato n. 2.1);

- Una volta realizzati i nuovi piezometri in progetto, la nuova rete di monitoraggio verrà utilizzata per: (i) **monitorare in continuo la temperatura e la conducibilità elettrica della falda**, insieme con il **carico idraulico**, mediante l'installazione di sonde multiparametriche con data-logger; (ii) **monitorare i caratteri idrochimici**, inclusi **potenziali contaminanti** riconducibili all'attività industriale, con **cadenza trimestrale**;
3. *Per quanto concerne la vulnerabilità degli acquiferi, non è presente un'analisi della vulnerabilità idrogeologica dei terreni in cui insiste l'opera.*
- Sulla base di quanto emerso dall'affinamento e dall'aggiornamento del modello idrogeologico concettuale, è stata effettuata una **valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi, non solo per i terreni in cui insiste l'opera** (parte dell'acquifero detritico), ma **anche per gli acquiferi carbonatici e per l'acquifero alluvionale** che, alla luce del modello idrogeologico aggiornato, sono **idraulicamente interconnessi** con la porzione di acquifero detritico in cui insiste l'Area cluster SE1-CF7 (Allegato n. 2.2).
4. *Nel Comune di Marsico per avere un quadro più completo per la fase di costruzione, si ritiene opportuno effettuare uno studio approfondito della zona che sarà interessata dall'opera, in quanto la possibile presenza di falde discontinue, in orizzonti sovrapposti, può determinare problemi di venute d'acqua oltre che comportare modifiche significative dal punto di vista idrogeologico. Il Proponente riferisce che l'opera determina scarse modificazioni al deflusso sotterraneo ed interessa depositi alluvionali che danno apporto secondario all'alimentazione della sorgente, si reputa invece assolutamente necessario un approfondimento in merito alla possibile presenza di lineazioni tettoniche distensive nell'area che possono collegare le conche vallive con le falde più profonde ospitate entro calcari di piattaforma, spesso carsificati.*
- Per quanto concerne **l'acquifero detritico**, l'affinamento del modello idrogeologico concettuale ha consentito di ricostruire l'eterogeneità idraulica del mezzo geologico, ma anche l'esistenza di interconnessioni idrauliche a scala di bacino tra gli orizzonti più grossolani e permeabili; pertanto, è stata esclusa l'esistenza di falde discontinue, ma si è più propriamente accertata una **circolazione idrica sotterranea continua**, a scala di bacino, sia pure all'interno di un **acquifero molto eterogeneo** dal punto di vista idraulico; in questo scenario idrogeologico, le sorgenti (ad esempio, quella oggetto di monitoraggio nel corso del presente studio) rappresentano solo uno sfioro parziale e stagionale della falda all'esterno, laddove la superficie piezometrica intercetta quella topografica;
 - Per quanto concerne **gli acquiferi carbonatici limitrofi**, è stata accertata una parziale interconnessione idraulica con l'acquifero detritico, ma le discontinuità tettoniche non mostrano nessuna influenza sulle dinamiche di travaso idrico sotterraneo tra acquifero detritico ed acquiferi carbonatici; più in dettaglio: (i) la porzione occidentale della falda dell'acquifero detritico su cui insiste l'Area cluster SE1-CF7 defluisce verso l'idrostruttura carbonatica di "Monte Corno", la cui falda basale defluisce a sua volta verso Sud, con recapito (per travaso idrico sotterraneo) nel limitrofo **acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri**; (ii) la porzione orientale della falda dell'acquifero detritico su cui insiste l'Area cluster SE1-CF7 defluisce verso un asse di drenaggio preferenziale che migra verso il margine sud-occidentale dell'idrostruttura de "La Civita", laddove può almeno parzialmente alimentare la rispettiva falda basale, che trova a sua volta recapito (per travaso idrico sotterraneo) nel limitrofo **acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri**;
5. *Per quanto riguarda la fase di costruzione dell'opera il Proponente dovrebbe fornire approfondimento su come intenda agire sugli sversamenti accidentali di sostanze inquinanti su acque (superficiali e di falda). Si richiedono infatti adeguate misure di sicurezza e*

controllo, per l'esecuzione delle opere in progetto soprattutto affinché l'inquinamento accidentale della falda sia scongiurato. Si ritiene quindi indispensabile e necessario stilare un piano d'intervento dettagliato, sia per quanto riguarda le fasi di costruzione che quelle di esercizio, in caso di sversamento accidentale di sostanze pericolose, al fine di poter valutare l'efficacia dell'intervento proposto nello scongiurare qualsiasi evento di inquinamento a carico della componente idrica.

- Alla luce dell'affinamento del modello idrogeologico concettuale, ivi inclusa la ricostruzione del reticolo di flusso della falda dell'acquifero detritico nell'area in cui insiste l'Area cluster SE1-CF7, è possibile affermare che la **rete piezometrica già esistente** potrebbe essere utilizzata per **intercettare eventuali sostanze contaminanti sversate accidentalmente** nell'Area stessa; i piezometri esistenti sono infatti dislocati in modo tale da intercettare eventuali *plumes* di contaminazione a ridosso dell'Area cluster, nelle more di integrarli con eventuali ulteriori opere di contenimento, progettabili solo in funzione delle caratteristiche dell'eventuale sversamento accidentale;
 - Ai suddetti piezometri si aggiungono gli **ulteriori cinque progettati in questa sede** lungo il fronte di travaso idrico sotterraneo tra gli acquiferi carbonatici e l'acquifero detritico (acquiferi "alimentatori") ed acquifero alluvionale (acquifero "recettore").
6. *Si chiede al Proponente di fornire, per le aree a maggior criticità idrogeologica, la carta idrogeologica.*
- Come detto in precedenza, è stata predisposta una nuova Carta idrogeologica *ad hoc* (Allegato n. 2.1).
7. *Verificare l'effettivo stato delle falde idriche, la profondità a cui esse sono collocate rispetto alle verticali di perforazione e lo spessore di acquifero attraversato.*
- Come detto in precedenza, la quota a cui si collocano le falde negli acquiferi direttamente o indirettamente coinvolti è stata sperimentalmente misurata (acquifero detritico) o stimata sulla base di dati di Letteratura, laddove non esistono piezometri (acquiferi carbonatici).
8. *Ipotizzare possibili scenari di rischio a seguito di disastri naturali (terremoto) rispetto alla tenuta delle cementazioni e delle tubazioni che nel corso della loro lunghezza attraversano anche lineamenti tettonici passibili di spostamento.*
- I possibili scenari di rischio vengono in questa sede ricondotti a possibili sversamenti accidentali di sostanze contaminanti nei corpi idrici sotterranei; a tal proposito, l'affinamento del modello idrogeologico concettuale e la ricostruzione delle dinamiche di interconnessione idraulica tra acquiferi limitrofi, hanno consentito di riconoscere come potenzialmente a rischio (i) l'acquifero detritico, (ii) la porzione orientale dell'acquifero carbonatico del monte Corno, (iii) la porzione meridionale dell'acquifero carbonatico de La Civita e (iv) la porzione dell'acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri posta a valle idrogeologica degli acquiferi sopra richiamati; al contempo, come detto nei punti precedenti, la rete di monitoraggio e controllo esistente, integrata con gli ulteriori piezometri progettati in questa sede, sarebbe in grado di identificare eventuali *plumes* di contaminazione in falda e di minimizzare il rischio di propagazione degli stessi verso opere di captazione a scopo antropico.
9. *Verificare, da attuare precedentemente l'avvio delle attività di perforazione e produzione, la qualità delle acque dei gruppi sorgivi interessati dall'impatto e delle acque di falde all'interno dell'acquifero.*
- Ulteriori analisi chimiche sono state effettuate nel corso del presente studio integrativo e sono state confermate le già note non conformità per Ferro e Manganese (ai sensi del D.Lgs. 152/06 Parta IV Titolo V All. 5 Tab. 2) nelle acque di falda campionate all'interno di quasi tutti i piezometri fenestrati nell'acquifero detritico; a tal proposito,

si ricorda che il medesimo superamento di CSC era stato accertato anche nel corso dello studio idrogeologico precedente ed era stato attribuito a fenomeni naturali.

3. Integrazioni di natura idrogeologica relative alla “Criticità n. 7”

Nel par. 3.4.3.1.7, la Criticità n. 7 — Componente “suolo e sottosuolo” — si riferisce a: “*Inquadramento idrogeologico dell’acquifero superficiale e mancante*”. Di seguito, vengono richiamati i passaggi di natura idrogeologica e, per ciascuno di essi, vengono schematizzati gli ulteriori elementi di conoscenza richiesti dalla Commissione del MASE (il corsivo virgolettato è tratto dalla richiesta del Ministero). In paragrafi successivi e dedicati, si procederà alla descrizione dettagliata dei nuovi elaborati citati nel presente paragrafo.

1. *La stratigrafia nell’area CLUSTER del pozzo è stata ricostruita utilizzando sondaggi che non superano i 15 metri di profondità. Pertanto, il Proponente ha potuto individuare solo la falda acquifera più superficiale senza neanche descriverne dettagliatamente le caratteristiche. Si ritiene, pertanto, opportuno un approfondimento dell’inquadramento idrogeologico dell’acquifero superficiale consistente in particolar modo in una ricostruzione della morfologia della piezometria utilizzando dati recenti al fine di individuare direzioni di deflusso ed eventuali interazioni con corsi d’acqua superficiali.*
 - Gli approfondimenti effettuati in questa sede hanno preso origine da una dettagliata disamina di stratigrafie relative a **sondaggi profondi anche oltre 100 metri** ed hanno consentito di ricostruire in dettaglio le **geometrie delle porzioni più e meno permeabili dell’acquifero detritico eterogeneo**;
 - I medesimi sondaggi, attrezzati a piezometri, hanno consentito (come detto nel precedente par. 2) di ricostruire la **morfologia piezometrica della falda** e, di conseguenza, i **versi di flusso della stessa**;
 - Il reticolo di flusso ha consentito a sua volta di identificare le aree in cui la **falda dell’acquifero detritico travasa** (per via sotterranea) nei **limitrofi acquiferi carbonatici**;
 - La superficie piezometrica ricostruita nell’acquifero detritico è stata attribuita a quella che è stata identificata come **un’unica falda** che defluisce all’interno di un **acquifero saturo eterogeneo**;
 - In merito ai rapporti di interazione con corpi idrici superficiali, **non sono stati identificati fenomeni di alimentazione diffusa di corsi d’acqua**, ma solo **l’affioramento puntuale** della falda in corrispondenza della **sorgente stagionale** denominata “**P01**”;
 - Come ovvio, laddove le incisioni vallive dovessero risultare sede di **ruscellamento superficiale** nel corso di episodi pluviometrici, le acque di ruscellamento potrebbero **percolare** (in toto o in parte) **verso la falda sottostante**;
2. *Nella documentazione, inoltre, non viene menzionata l’esistenza di ulteriori acquiferi più profondi, sicuramente esistenti.*
 - Nella documentazione cartografica elaborata in questa sede, gli **ulteriori acquiferi più profondi**, oltre che **limitrofi**, sono stati adeguatamente **ricostruiti e visualizzati**, sulla base dei dati e degli elementi di conoscenza ad oggi disponibili.
3. *Pertanto, è necessario integrare lo studio geologico/idrogeologico in profondità al fine di individuare ulteriore presenza di falde acquifere e di identificare i corrispettivi bacini di alimentazione e di recapito.*
 - Come detto al punto precedente, lo **studio geologico/idrogeologico è stato integrato** per approfondire le **porzioni più profonde** dell’area di interesse; inoltre, come sintetizzato nella Carta idrogeologica di dettaglio (Allegato n. 2.1) ed in quella di Area vasta (Allegato n. 3.1), sono stati **ricostruiti anche i bacini di alimentazione e le aree di recapito**.

4. *E necessaria un'analisi idrogeologica approfondita ed estesa anche a livello regionale.*
 - Come detto al punto precedente, è stata ricostruita anche una **Carta idrogeologica di area vasta** (Allegato n. 3.1), in modo da inquadrare l'area di maggiore interesse del presente studio all'interno del più ampio contenuto idrogeologico della Val d'Agri.
5. *Lo studio deve essere correlato dalle carte tematiche in una adeguata scala.*
 - Richiamando quanto detto in precedenza, sono state messe a punto (i) la **Carta idrogeologica dell'Area cluster Sant'Elia 1 – Cerro Falcone 7** (Allegato n. 2.1), (ii) la **Carta della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nell'Area cluster Sant'Elia 1 – Cerro Falcone 7** (Allegato n. 2.2) e (iii) la **Carta idrogeologica di area vasta** (Allegato n. 3.1).
6. *Il Proponente dovrebbe fornire un ulteriore contributo alla conoscenza delle caratteristiche dei complessi idrogeologici direttamente interferiti, mediante delle schede sintetiche di caratterizzazione, dal punto di vista idrogeologico, delle diverse litologie intercettate dall'opera fornendo indicazione circa il valore di infiltrazione efficace attribuibile alle diverse litologie, valore desunto dalla bibliografia citata. L'infiltrazione efficace può essere calcolata o mediante il calcolo del bilancio idrogeologico o più semplicemente come il rapporto tra la quantità media annua delle acque che fuoriescono da una data struttura idrogeologica e l'estensione areale della struttura stessa.*
 - La conoscenza delle **caratteristiche dei complessi idrogeologici direttamente interferiti** è stata ampliata indicando direttamente nelle **sezioni idrogeologiche** le **peculiarità granulometriche** ed i **valori di conducibilità idraulica** dei diversi orizzonti di acquifero detritico intercettati durante le perforazioni ed indagati mediante l'esecuzione di prove di caratterizzazione idraulica *ad hoc*; in tal modo, si è ritenuto di dar seguito compiutamente alla richiesta della Commissione del MASE, adottando una soluzione ancor più efficace dal punto di vista grafico e cartografico;
 - La **stima dell'infiltrazione efficace** per i diversi litotipi affioranti è stata effettuata, in accordo con quanto suggerito dalla Commissione del MASE, attraverso (i) l'utilizzo della **produttività per unità di superficie** dei diversi complessi idrogeologici riportata (come campo di variazione) in De Vita et al., 2018, (ii) l'utilizzo dei valori di **conducibilità idraulica** stimati in loco per la scelta del valore di produttività da selezionare per le diverse porzioni dell'acquifero eterogeneo di interesse del presente studio; i medesimi valori sono stati utilizzati per quantificare l'indice di vulnerabilità all'inquinamento relativo al parametro "Ricarica" nel corso della già citata valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi (Allegato n. 2.2).

4. Modello idrogeologico concettuale aggiornato

In coerenza con quanto richiesto dal MASE con Nota del 26.06.2023 e come sintetizzato nei precedenti parr. 2 e 3, si è proceduto ad un aggiornamento e ad un affinamento del modello idrogeologico concettuale dell'Area Cluster SE1-CF7, nonché all'inquadramento di quest'ultimo in un'area più vasta.

L'affinamento è stato innanzitutto basato sull'utilizzo della Carta geologico-strutturale della Val d'Agri recentemente pubblicata da Palladino et al. (2023). Inoltre, con particolare riferimento all'Alta Val d'Agri, ha beneficiato di uno studio idrogeologico recentemente condotto dal medesimo Gruppo di ricerca dell'Università degli Studi di Parma, sempre per conto di ENI S.p.A., in sinergia con Proger S.p.A. Nello specifico dell'Area Cluster SE1-CF7, gli ulteriori affinamenti sono stati incentrati sull'utilizzo (i) di dati stratigrafici e idraulici, per la ricostruzione di dettaglio delle caratteristiche dell'acquifero detritico, (ii) dei dati piezometrici più recenti, per la ricostruzione del reticolo di flusso della falda nell'acquifero detritico e per l'approfondimento dei rapporti di interazione tra quest'ultimo e gli acquiferi carbonatici ed alluvionale limitrofi, (iii) dei dati idrochimici ed isotopici aggiornati, per la disamina dello stato qualitativo delle acque sotterranee e per l'affinamento ulteriore dello schema di circolazione idrica sotterranea. Gli aspetti qualitativi sono stati per coerenza acquisiti nella medesima rete di monitoraggio utilizzata nel corso del precedente Studio idrogeologico del 2018 ed hanno pertanto coinvolto anche un pozzo e diverse sorgenti ubicato/e al contorno dell'area di maggiore interesse del presente Studio.

Per quanto riguarda le analisi isotopiche, vengono in questa sede utilizzati i dati relativi ai soli isotopi stabili di ossigeno e deuterio. Infatti, per quanto concerne il trizio, il tempo finora trascorso dal primo campionamento non è stato sufficiente per acquisire gli esiti definitivi, attraverso l'applicazione delle procedure previste da *Water & Environment News n. 3 (1998), IAEA Sub-programme on water resources – Tritium measurements*, che prevedono un preventivo arricchimento elettrolitico.

Il contenuto isotopico di ossigeno e deuterio è stato innanzitutto esaminato nel più ampio contesto idrogeologico “*superficiale*” e “*profondo*” della Val d'Agri, ri-utilizzando anche gli esiti di analisi isotopiche recentemente eseguite in alta Val d'Agri dall'HydrogeoCentre dell'Università di Parma e da Proger S.p.A. o disponibili in Letteratura scientifica per la bassa Val d'Agri (Rizzo et al., 2020, 2022 e 2023; Fig. 4.1), e riconducibili a: (i) piogge, (ii) acque sorgive e sotterranee, (iii) acque di giacimento. Da questa prima disamina emerge che:

- Tutte le acque sotterranee e sorgive campionate in Val d'Agri, anche nell'ambito del presente Studio, hanno un contenuto isotopico del tutto coerente con quello delle piogge locali e non mostrano nessuna traccia isotopica di miscela con fluidi profondi;
- Di conseguenza, ad oggi non sussistono evidenze isotopiche di risalite di fluidi profondi nell'area di interesse del presente Studio, né per motivi naturali (attraverso possibili *damage zones* di zone di faglia, caratterizzate, quando presenti, da permeabilità maggiore del protolite circostante), né per cause antropiche (attraverso pozzi profondi).

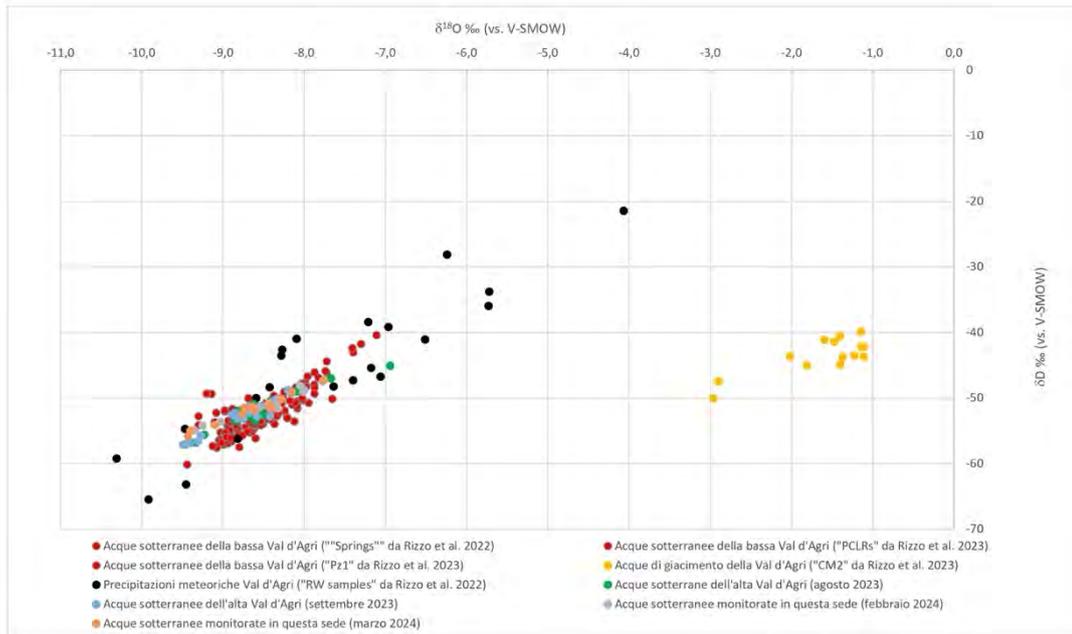


Figura 4.1 - $\delta^{18}\text{O}$ vs. δD nelle acque sotterranee (sorgenti e piezometri) campionate in febbraio (pallini grigi) e marzo 2024 (pallini arancioni), in relazione al contenuto isotopico delle acque di pioggia, delle acque sotterranee e delle acque di giacimento della Val d'Agri. I dati di confronto sono stati tratti da Rizzo et al., 2020, 2022 e 2023, e da uno studio idrogeologico condotto dall'HydrogeoCentre dell'Università di Parma e da Proger S.p.A. nell'alta Val d'Agri.

Una volta acclarata l'origine (interamente riconducibile all'infiltrazione efficace delle piogge locali) delle acque sotterranee e sorgive, si è proceduto all'utilizzo del medesimo contenuto isotopico (con particolare riferimento a due piezometri attestati in acquiferi alluvionali e ad alcune sorgenti d'alta quota dell'alta Val d'Agri, di modesta entità [Sorgente FT3, Fontanile, Fontana Cimitero, Sorgente FT2, Sorgente FT5, PPAB02, PPAB08]) per ricavare, sia pure in prima approssimazione, la complessiva relazione inversa attesa tra il contenuto isotopico delle piogge e l'altitudine di precipitazione al suolo (in virtù del cosiddetto *altitude effect*; ad esempio, in Gonfiantini et al., 2001). Tale relazione ha poi consentito di utilizzare il contenuto isotopico delle acque sotterranee e sorgive (con particolare riferimento al $\delta^{18}\text{O}$) quale indicatore naturale della quota media di infiltrazione delle piogge che alimentano i singoli bacini idrogeologici. Più in dettaglio, nel corso dello Studio idrogeologico recentemente condotto in alta Val d'Agri si è operato come segue:

- Nella rete di monitoraggio isotopico sono state inserite anche sorgenti caratterizzate da portate estremamente basse (anche inferiori a 0.1 L/s) e, quindi, alimentate da bacini idrogeologici di ridotta estensione areale e ridotta escursione altitudinale;
- Le condizioni di alimentazione sopra esposte consentono pertanto di attribuire alle acque di queste sorgenti un contenuto isotopico molto prossimo a quello delle piogge che sono

precipitate al suolo a quote assolute non molto dissimili da quelle a cui si attestano le singole sorgenti;

- Nella stessa rete di monitoraggio è presente anche un piezometro (PP-A-B-08) attestato e fenestrato nell'acquifero alluvionale dell'alta Val d'Agri, ubicato poche centinaia di metri a valle idrogeologica di rocce a bassa permeabilità e, quindi, alimentato esclusivamente (per quanto ad oggi noto) dalle acque di infiltrazione efficace nel locale acquifero alluvionale;
- Concordemente con quanto asserito in precedenza per le sorgenti, anche alle acque sotterranee prelevate nel piezometro PP-A-B-08 è pertanto possibile attribuire un contenuto isotopico non molto dissimile da quello che caratterizza le piogge che cadono al suolo nella circostante pianura alluvionale;
- Tutto ciò detto, in questa procedura sarebbe ovviamente più rigoroso utilizzare un contenuto isotopico medio di un anno idrologico, per ciascun punto d'acqua; tuttavia, poiché le uniche analisi ad oggi disponibili per i punti d'acqua sopra citati si riferiscono ad un periodo dell'anno in cui il regime di falde e sorgenti è "indisturbato" da eventi di ricarica che possono indurre variazioni a breve termine del contenuto isotopico, si è ritenuto (in prima approssimazione) che gli unici valori ad oggi disponibili siano equiparabili a quelli di una "miscela stabile" all'interno degli acquiferi di interesse;
- Di conseguenza, si è ritenuto comunque affidabile un approccio la cui validità è stata già verificata sperimentalmente in altri contesti idrogeologici (ad esempio, in Italia, Tazioli et al., 2019);
- In ultima analisi, la relazione tra $\delta^{18}\text{O}$ e quota di sfioro delle sorgenti analizzate e/o quota a cui si attesta il livello piezometrico misurato nei piezometri ha consentito di stimare, sia pure in prima approssimazione, la quota media di infiltrazione efficace delle piogge che ricaricano i bacini o sottobacini di alimentazione delle acque sotterranee e sorgive analizzate in questa sede (Fig. 4.2);
- Tale stima è stata successivamente utilizzata per affinare la delimitazione dei suddetti bacini o sottobacini che alimentano le acque sotterranee oggetto di caratterizzazione isotopica, minimizzando il grado di incertezza legato all'utilizzo della sola base geologico-strutturale;
- Si ricorda, infatti, che le idrostrutture carbonatiche o prevalentemente tali hanno limiti idrogeologici che non coincidono con gli spartiacque superficiali, ma sono riconducibili a discontinuità strutturali (in presenza di *fault cores* a bassa permeabilità, in zone di faglia) e/o a contatti stratigrafici/tettonici con corpi geologici a bassa permeabilità.

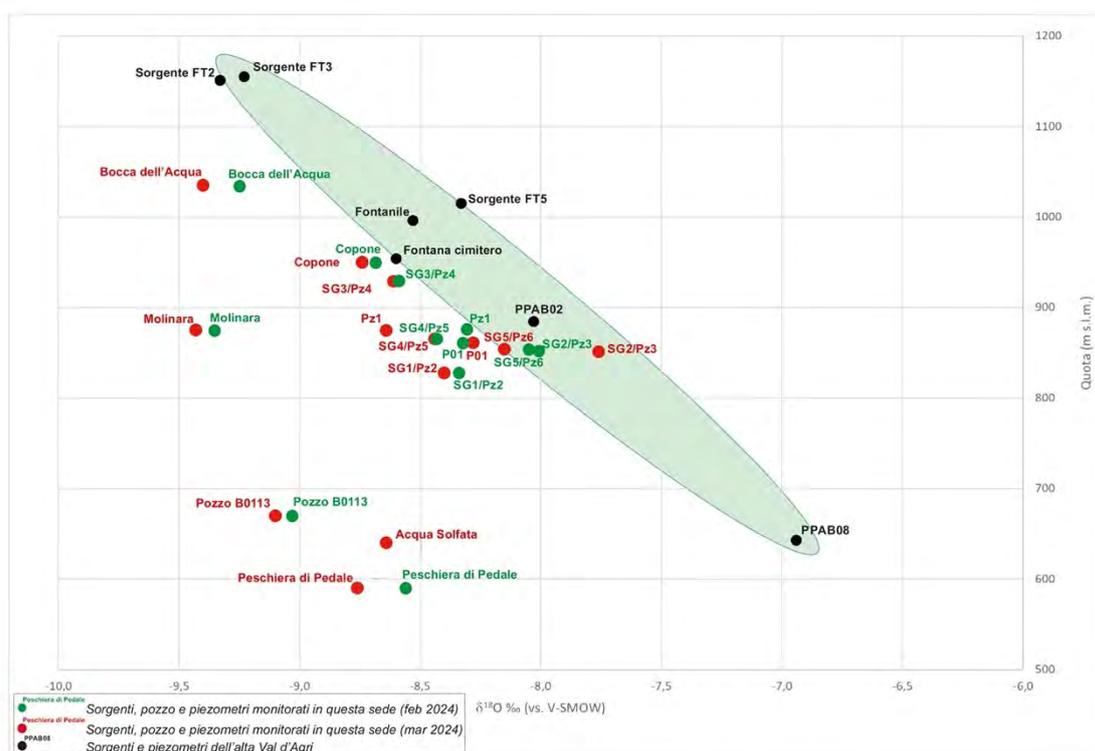


Figura 4.2 - $\delta^{18}\text{O}$ vs. quota di sfioro delle sorgenti analizzate e/o quota a cui si attesta il livello piezometrico misurato nei piezometri in febbraio (pallini verdi) e marzo 2024 (pallini rossi). L'ovale verde mostra la complessiva relazione inversa attesa tra la variazione del contenuto isotopico nelle piogge e la quota di precipitazione al suolo [altitude effect], desunta attraverso lo studio effettuato in agosto 2023 in alta Val d'Agri (pallini neri).

Per quanto concerne la Carta idrogeologica messa a punto in questa sede, il primo passaggio è stato ovviamente quello di accorpare le Formazioni geologiche in complessi idrogeologici, andando nello specifico a distinguere tre macro-tipologie: (i) complessi idrogeologici prevalentemente carbonatici a permeabilità medio-alta, (ii) complessi idrogeologici prevalentemente detritico-alluvionali a permeabilità medio-alta, (iii) complessi idrogeologici a permeabilità bassa. Il processo di accorpamento e di classificazione è stato effettuato sulla base della descrizione litostratigrafica riportata in Palladino et al. (2023) ed in coerenza con i caratteri idraulici attribuiti alle diverse Formazioni nella Carta Idrogeologica dell'Italia Meridionale (De Vita et al., 2018).

L'esito finale di questo processo di ricostruzione della Cartografia Idrogeologica viene di seguito descritto, con dettagli minori o maggiori a seconda della quantità e della qualità dei dati ad oggi disponibili. I principali acquiferi ricadenti nelle vicinanze dell'Area cluster SE1-CF7 vengono maggiormente dettagliati nella Carta idrogeologica di dettaglio (che include la ricostruzione del reticolo di flusso della falda dell'acquifero detritico e le sezioni idrogeologiche; Allegato n. 2.1), mentre l'idrodinamica sotterranea negli altri acquiferi esaminati viene sintetizzata nella Carta idrogeologica di Area vasta (Allegato 3.1).

4.1 Principali acquiferi ricadenti nelle vicinanze dell'Area Cluster SE1-CF7 e oggetto di monitoraggio quali-quantitativo nel corso del presente Studio

4.1.1 Acquifero detritico

L'acquifero detritico su cui si imposta l'Area cluster SE1-CF7 (Allegato 2.1) risulta caratterizzato da spessori (documentati dai sondaggi meccanici) di oltre 100 metri e molto eterogeneo dal punto di vista idraulico. La disamina di tutte le stratigrafie utilizzate in questa sede ha consentito di ricostruire una zonazione verticale piuttosto continua, con l'alternanza di orizzonti a prevalenza di sedimenti a granulometria medio-grossolana (con conducibilità idraulica, stimata da Prove Lefranc eseguite nel corso del precedente Studio idrogeologico, che raggiunge valori massimi di 4.0×10^{-5} m/s) e di orizzonti a prevalenza di sedimenti a granulometria fine o molto fine (con conducibilità idraulica, stimata da Prove Lefranc eseguite nel corso del precedente Studio idrogeologico, che si colloca nell'intervallo 10^{-8} - 10^{-7} m/s).

All'interno di questo sistema eterogeneo si notano in ogni caso interconnessioni idrauliche tra gli orizzonti più permeabili, lungo il verso di flusso della falda a scala di bacino (cfr. sezione n. 1 in Allegato n. 2.1) Di conseguenza, la circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da un'unica falda a scala di bacino, benché il flusso più attivo si manifesti prevalentemente all'interno dei su citati orizzonti a maggiore permeabilità.

Riguardo al reticolo di flusso, la ricostruzione della morfologia piezometrica (Allegato n. 2.1) ha consentito di accertare che:

- Nella porzione settentrionale, l'acquifero detritico è alimentato (per travaso idrico sotterraneo, dalla porzione orientale dell'idrostruttura carbonatica di "Monte Volturino – Serritello"; tale travaso è in accordo con il contenuto isotopico delle acque sotterranee campionate nei piezometri fenestrati nell'acquifero detritico che (Fig. 4.2) risulta attribuibile ad una quota media di infiltrazione delle piogge pari anche a 1000-1050 m s.l.m.;
- Nella porzione occidentale, la falda dell'acquifero detritico defluisce verso il limitrofo acquifero carbonatico di "Monte Corno" e ne alimenta la falda (per travaso idrico sotterraneo);
- Nella porzione nord-orientale, la falda dell'acquifero detritico mostra un evidente asse di drenaggio preferenziale che si sviluppa sub-parallelamente al contatto con la porzione dolomitica dell'idrostruttura de "La Civita". Tale configurazione piezometrica è compatibile con un'alimentazione dell'acquifero detritico ad opera della falda dell'acquifero dolomitico;
- Nella porzione sud-orientale, i rapporti di interazione tra i medesimi acquiferi di cui al punto precedente si invertono, in quanto un asse di drenaggio preferenziale della falda dell'acquifero detritico converge verso il contatto della porzione meridionale dell'idrostruttura de "La Civita"; in tale porzione dell'area di studio risulta pertanto l'acquifero carbonatico alimentato da quello detritico;
- In ultimo, nella porzione meridionale, la falda dell'acquifero detritico travasa diffusamente per via sotterranea nel limitrofo acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri;
- Nel complesso, la falda defluisce con un gradiente idraulico variabile, certamente influenzato dai caratteri di eterogeneità idraulica del mezzo geologico, dalla variazione dell'ampiezza della superficie satura delle porzioni più permeabili e della dislocazione nello spazio dei recapiti della falda stessa;
- Il rapporto tra gradiente idraulico e gradiente topografico fa sì che la superficie piezometrica possa anche localmente intercettare la superficie topografica, generando l'attivazione di recapiti sorgivi (ad oggi, la sorgente stagionale P01) che rappresentano uno sfioro parziale della falda dell'acquifero detritico;

- non sono stati ad oggi accertati diffusi recapiti sorgivi lungo le incisioni vallive, per cui queste ultime sono caratterizzate da deflussi idrici superficiali attivati nel corso di piogge in grado di generare ruscellamento superficiale; quest'ultimo può percolare nel sottostante acquifero detritico, con entità dell'infiltrazione variabile al variare della permeabilità dei sedimenti affioranti al fondo alveo.

4.1.2 Idrostruttura di “Monte Corno”

L'idrostruttura carbonatica di “Monte Corno” (Allegato n. 3.1) si colloca ad ovest dell'Area cluster SE1-CF7. Alla luce dei dati disponibili, è possibile affermare quanto segue:

- l'idrostruttura è alimentata dall'infiltrazione efficace delle piogge locali e (cfr. par. 4.1.1) dal travaso idrico sotterraneo di una parte della falda dell'acquifero detritico su cui insiste l'Area cluster SE1-CF7;
- i margini settentrionale ed occidentale dell'idrostruttura sono costituiti, rispettivamente, da depositi a bassa permeabilità e da una discontinuità tettonica che funge da spartiacque sotterraneo rispetto alla propaggine sud-occidentale dell'idrostruttura carbonatica di “Monte Volturino”;
- la falda dell'acquifero di “Monte Corno” non alimenta sorgenti e travasa per via sotterranea nel limitrofo acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri.

4.1.3 Idrostruttura de “La Civita”

L'idrostruttura carbonatica de “La Civita” (Allegato n. 3.1) si colloca ad est dell'Area cluster SE1-CF7. Alla luce dei dati disponibili, è possibile affermare quanto segue:

- l'idrostruttura carbonatica de “La Civita” è delimitata (i) a nord da depositi a bassa permeabilità, (ii) ad est da una discontinuità tettonica che funge da spartiacque sotterraneo “chiuso” (come chiarito in De Vita et al., 2018), (iii) ad ovest dall'acquifero detritico su cui insiste l'Area cluster SE1-CF7 e (iv) a sud dall'acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri;
- l'idrostruttura è alimentata dall'infiltrazione efficace delle piogge locali e, nella sua propaggine meridionale, dalla falda dell'acquifero detritico (cfr. par. 4.1.1);
- i recapiti della falda basale dell'idrostruttura carbonatica sono rappresentati (i) dall'acquifero detritico, che riceve parte della falda che defluisce nella porzione dolomitica dell'idrostruttura, e (ii) dal già citato acquifero alluvionale.

4.1.4 Idrostruttura di “Monte Volturino - Serritello”

L'idrostruttura carbonatica di “Monte Volturino – Serritello” (Allegato n. 3.1) si colloca a nord dell'Area cluster SE1-CF7. Alla luce dei dati disponibili, è possibile affermare quanto segue:

- l'idrostruttura carbonatica di “Monte Volturino – Serritello” è delimitata a nord, est ed ovest da depositi a bassa permeabilità, e a sud da depositi prevalentemente detritici;
- la falda dell'acquifero carbonatico defluisce pertanto da nord verso sud, con recapito in corrispondenza di due sorgenti (Bocca dell'Acqua [1035 m s.l.m.] e Molinara [875 m s.l.m.]) e, per travaso idrico sotterraneo, nei citati depositi detritici, ivi inclusi quelli su cui gravita l'Area cluster SE1-CF7;
- l'alimentazione delle suddette sorgenti ad opera della falda basale della presente idrostruttura è coerente anche con il contenuto isotopico delle acque sorgive, che (Fig. 4.2) risulta attribuibile ad una quota media di infiltrazione delle piogge anche superiore ai 1200

m s.l.m. (cioè, diverse centinaia di metri maggiore della quota di sfioro delle sorgenti stesse).

4.1.5 Idrostruttura di “Monte di Viggiano – Monte La Croce – Costa del Signore”

L'idrostruttura carbonatica di “Monte di Viggiano – Monte La Croce – Costa del Signore” (Allegato n. 3.1) si colloca ad ovest dell'Area cluster SE1-CF7. Alla luce dei dati disponibili, è possibile affermare quanto segue:

- l'idrostruttura carbonatica di “Monte di Viggiano – Monte La Croce – Costa del Signore” è delimitata a nord, est ed ovest da depositi a bassa permeabilità (in parte sottoposti a depositi detritici), e a sud da depositi prevalentemente alluvionali;
- la falda dell'acquifero carbonatico defluisce pertanto da nord-est verso sud-ovest, con recapito principale in corrispondenza della sorgente Peschiera del Pedale [590 m s.l.m.];
- alla luce degli elementi di conoscenza ad oggi disponibili, non è possibile escludere che vi siano anche parziali travasi idrici sotterranei verso l'acquifero alluvionale della Piana del Fiume Agri;
- l'alimentazione delle suddette sorgenti ad opera della falda basale della presente idrostruttura è coerente anche con il contenuto isotopico delle acque sorgive (e di quelle prelevate nel pozzo BO113), che (Fig. 4.2) risulta attribuibile ad una quota media di infiltrazione delle piogge compresa tra i 1100 ed i 1200 m s.l.m. (cioè, svariate centinaia di metri maggiore della quota di sfioro della sorgente stessa).

4.2 Principali acquiferi dell'alta Val d'Agri, oggetto di approfondimento nel corso del 2023

4.2.1 Idrostruttura “Zaccaniello”

L'idrostruttura “Zaccaniello” (Allegato n. 3.1) si colloca nella porzione più settentrionale dell'area di interesse ed è costituita da rocce prevalentemente carbonatiche. Al suo contorno non sono state censite sorgenti e si ritiene, allo stato, che il recapito della rispettiva falda sia costituito dal corso d'acqua che lambisce il margine occidentale dell'idrostruttura stessa. L'idrostruttura “Zaccaniello” si mostra idraulicamente indipendente, rispetto alla limitrofa idrostruttura di “Petrara - Coste i Monti”, in virtù di quanto di seguito esposto:

- Le due idrostrutture sopra citate sono separate da un contatto tettonico e da un assetto del substrato a bassa permeabilità tali da ritenere le idrostrutture stesse non in continuità (cfr. spartiacque sotterraneo “chiuso”);
- L'idrostruttura “Zaccaniello” ha un potenziale recapito ubicato alla base occidentale del versante carbonatico (in corrispondenza del suddetto corso d'acqua), posto ad una quota di circa 820-830 metri s.l.m.;
- Partendo da questo potenziale punto di recapito ed utilizzando un gradiente idraulico usuale per gli acquiferi prevalentemente carbonatici dell'Appennino centro-meridionale ($4.0 \cdot 10^{-3} \div 4.0 \cdot 10^{-2}$ in Celico, 1983, 1986), la massima quota piezometrica attesa all'interno della presente idrostruttura è inferiore ai 900 metri s.l.m.;
- Di contro, nella porzione nord-occidentale dell'idrostruttura “Petrara-Coste i Monti” la superficie piezometrica deve necessariamente collocarsi ad una quota maggiore rispetto a

quella (996 metri s.l.m.) del primo recapito sorgivo (Sorgente “Fontanile”) alimentato dall’idrostruttura stessa;

- Di conseguenza, non sono possibili travasi idrici sotterranei dall’idrostruttura “Zaccaniello” verso l’idrostruttura “Petrara – Coste i Monti”, tenendo conto anche dell’assenza di discontinuità tettoniche sub-ortogonali al verso di flusso a scala di bacino.

4.2.2 Idrostruttura “Petrara - Coste i Monti”

L’idrostruttura “Petrara - Coste i Monti” (Allegato n. 3.1) si sviluppa prevalentemente in direzione appenninica, è anch’essa costituita da rocce prevalentemente carbonatiche ed è caratterizzata da due recapiti sorgivi, collocati a quote significativamente differenti: (i) la Sorgente “Fontanile” (996 metri s.l.m.) e (ii) la Sorgente “Occhio” (817 metri s.l.m.). In merito a questa idrostruttura è possibile evidenziare quanto segue:

- Sussiste una evidente compartimentazione in due sottobacini (“Petrara” e “Coste i Monti”), ciascuno dei quali con un proprio recapito sorgivo principale (“Fontanile” ed “Occhio”, rispettivamente);
- I due sottobacini sono a contatto lungo il sistema di discontinuità tettoniche che pongono anche a contatto le rocce carbonatiche con successioni a bassa permeabilità, generando un parziale ostacolo al deflusso della falda, da nord-ovest verso sud-est, a causa dell’insieme di due possibili concause: (i) la diminuzione della sezione satura di acquifero utile al travaso e la presenza di un *fault core* a bassa permeabilità;
- L’esistenza di uno spartiacque sotterraneo “aperto” (con travasi idrici sotterranei significativi), e non “chiuso”, tra questi sottobacini è comprovata dai seguenti elementi:
 - La Sorgente “Fontanile” ha una portata (0.90 L/s il 18.08.2023 e 0.82 L/s il 12.09.2023) inferiore a quella stimata tenendo conto dell’estensione areale (circa 0.26 km²) del sottobacino “Petrara” e della produttività usuale (0.009 ÷ 0.015 m³/s/km²; De Vita et al., 2018) per acquiferi dell’Appennino centro-meridionale assimilabili a quello in esame;
 - La medesima sorgente ha invece un contenuto isotopico compatibile con quote medie di ricarica prossime ai 1000 metri s.l.m., coerenti con la quota media del sottobacino “Petrara”;
 - Diversamente, la Sorgente “Occhio” ha una portata misurabile (al netto di quella captata) di circa 25 L/s nei mesi di agosto e settembre 2023 (da 14.0 a 32.6 L/s in documenti storici); pertanto, tenendo conto del fatto che parte delle acque sorgive è immessa in acquedotto, il totale è certamente maggiore della portata attesa tenendo conto dell’estensione areale (circa 1.5 km²) del solo sottobacino “Coste i Monti”;
 - La medesima Sorgente “Occhio” ha un contenuto isotopico compatibile con quote medie di ricarica prossime ai 1000 metri s.l.m., coerenti con la quota media dei sottobacini “Petrara” e “Coste i Monti”;
 - In prossimità della Sorgente “Occhio” non si può escludere anche l’esistenza di travasi idrici sotterranei verso il limitrofo acquifero alluvionale dell’Alta Val d’Agri, vista l’assenza di depositi a bassa permeabilità lungo il fronte meridionale dell’idrostruttura carbonatica;
- D’altro canto, è noto in Letteratura che tali idrostrutture, interessate da fagliazione, possono essere più o meno compartimentate dal punto di vista idraulico (Celico, 1986), inclusi scenari in cui il *fault core* delle zone di faglia svolge un ruolo da setto semi-permeabile, tale da causare (Celico et al., 2006; Petrella et al., 2009; Bucci et al., 2014; Petrella et al., 2015; Fig. 4.2.2.1):
 - Elevate perdite di carico idraulico concentrate nel *fault core*, con gradienti idraulici fino al 70% circa (Celico et al., 2006);

- Un profilo “a gradinata” della superficie piezometrica, con travasi idrici sotterranei ed, in alcuni casi, lo sfioro di sorgenti d’alta quota (nel caso in esame, la Sorgente “Fontanile”) al bordo di sottobacini di monte idrogeologico;
- Un complessivo sistema idrogeologico “a bacini in serie”, all’interno dell’idrostruttura compartimentata.

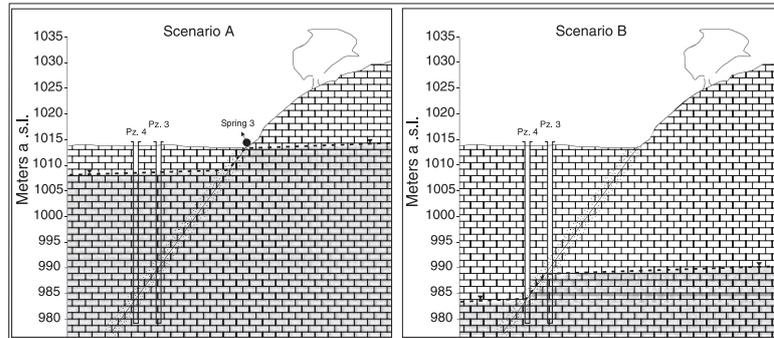


Fig. 8 Evolution of the hydrogeological setting in the fault zone over time (Scenario ‘A’ – hydraulic gradient monitored in the protolith; Scenario ‘B’ – hydraulic gradient monitored in the fault core).

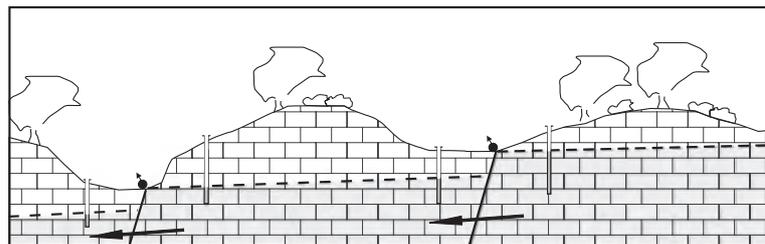


Fig. 9 Schematic representation of a basins-in-series aquifer system (the arrows represent the groundwater flowthrough in fault zones).

Figura 4.2.2.1 – Schematizzazione del ruolo semi-tamponante di alcune zone di faglia in Appennino centro-meridionale (da Celico et al., 2006).

4.2.3 Idrostruttura di “Monte Cognone”

L’idrostruttura di “Monte Cognone” (Allegato n. 3.1) si sviluppa prevalentemente in direzione nord-sud, è anch’essa costituita da rocce prevalentemente carbonatiche ed è caratterizzata da un recapito sorgivo principale, la Sorgente “San Giovanni”. In merito a questa idrostruttura è possibile evidenziare quanto segue:

- Come nel precedente caso dell’idrostruttura di “Coste i Monti”, è ragionevole attendersi l’esistenza di travasi idrici sotterranei più o meno diffusi verso il limitrofo acquifero alluvionale dell’Alta Val d’Agri (margine occidentale dell’idrostruttura), anche in virtù dell’esistenza di diverse zone di faglia sub-ortogonali al verso di flusso della falda a scala di bacino, che possono ostacolare in parte il flusso della falda verso la sorgente “San Giovanni”, generare un profilo “a gradinata” della superficie piezometrica ed enfatizzare, quindi, il campo di oscillazione complessivo delle quote piezometriche nell’insieme compartimentato;

- L'esistenza di travasi e, quindi, di recapiti alternativi alla sola sorgente "San Giovanni" è in accordo con le portate ad oggi disponibili (circa 6 L/s in agosto ed in settembre 2023; da 4 a 19 L/s in documenti storici), che risultano inferiori a quelle attese in funzione dell'estensione areale dell'idrostruttura (circa 1.4 km²) e della già citata produttività dei complessi idrogeologici affioranti;
- La complessiva delimitazione dell'idrostruttura effettuata in questa sede è anche in buon accordo con le quote medie di infiltrazione ricavabili dal contenuto isotopico delle acque sorgive.

4.2.4 Idrostruttura di "Monte Malagrina – Monte Fontana Lunga"

L'idrostruttura di "Monte Malagrina – Monte Fontana Lunga" (Allegato n. 3.1) è anch'essa costituita da rocce prevalentemente carbonatiche ed è caratterizzata da quattro recapiti sorgivi principali, collocati a quote differenti: (i) la Sorgente "Capo d'Acqua" (694 metri s.l.m.), (ii) la Sorgente "Peschiera Santino" (665 metri s.l.m.), (iii) la Sorgente "Monaco Santino" (681 metri s.l.m.) e (iv) (ii) la Sorgente "Pagliarella Santino" (660 metri s.l.m.). In merito a questa idrostruttura è possibile evidenziare quanto segue:

- Sussiste una evidente compartimentazione in almeno due sottobacini ("Monte Malagrina" e "Monte Fontana Lunga"), ciascuno dei quali con propri recapiti sorgivi principali ("Capo d'Acqua" e fronte sorgivo "Santino", rispettivamente);
- I due sottobacini sono a contatto lungo il sistema di discontinuità tettoniche che pongono anche a contatto le rocce carbonatiche con successioni a bassa permeabilità, generando un parziale ostacolo al deflusso della falda, da nord-est verso sud-ovest, a causa dell'insieme di due possibili concause: (i) la diminuzione della sezione satura di acquifero utile al travaso e la presenza di un *fault core* a bassa permeabilità;
- L'esistenza di uno spartiacque sotterraneo "aperto" (con travasi idrici sotterranei significativi), e non "chiuso", tra questi sottobacini è comprovata dai seguenti elementi:
 - La Sorgente "Capo d'Acqua" ha una portata (circa 16 L/s in agosto e settembre 2023, al netto del captato; da 1.0 a 11.0 L/s nei primi anni 2000; qualche decina di litri/secondo stimati come portata media annua a cavallo della metà del '900) molto inferiore a quella stimata tenendo conto dell'estensione areale (circa 3 km²) del sottobacino "Monte Malagrina" e della produttività usuale (De Vita et al., 2018) per acquiferi carbonatici dell'Appennino centro-meridionale;
 - Al contempo, la medesima sorgente ha un contenuto isotopico compatibile con quote medie di ricarica leggermente superiori ai 900 metri s.l.m., coerenti con la quota media del sottobacino "Monte Malagrina";
 - Inoltre, al netto del citato spartiacque sotterraneo "aperto", il suddetto sottobacino è bordato da depositi a bassa permeabilità, ivi incluso nella zona di affioramento della Sorgente "Capo d'Acqua", per cui non possono manifestarsi travasi idrici sotterranei significativi verso l'acquifero alluvionale dell'Alta Val d'Agri, né verso quello della Piana di San Vito (a nord);
 - Diversamente, il gruppo sorgivo "Santine", non solo è caratterizzato da portate molte elevate, ma ha anche un contenuto isotopico più depleto di quello riscontrato in "Capo d'Acqua", in coerenza con l'alimentazione anche ad opera del sottobacino di "Monte Fontana Lunga", caratterizzato da quote medie maggiori di quelle del sottobacino di "Monte Malagrina";
 - A differenza di quanto sopra detto per il sottobacino di "Monte Malagrina", il sottobacino di "Monte Fontana Lunga" è in parte a diretto contatto con l'acquifero alluvionale dell'Alta Val d'Agri, per cui sono attesi non trascurabili travasi idrici sotterranei dal primo verso il secondo.

4.2.5 Acquiferi alluvionali della Piana di San Vito e del Fiume Agri

Gli acquiferi alluvionali della Piana di San Vito e del Fiume Agri sono caratterizzati da un numero molto esiguo di punti d'acqua utilizzabili a fini idrogeologici. Non è stato pertanto possibile ricostruire un reticolo di flusso sulla base di dati originali, né sono state rinvenute in Letteratura delle piezometrie sperimentalmente basate. Si è scelto pertanto di valorizzare (per quanto possibile) le conoscenze ad oggi disponibili sul funzionamento idrogeologico di questi acquiferi ed i risultati della prima tornata di analisi isotopiche dei campioni di falda prelevate nei citati piezometri. Nel complesso, è possibile ad oggi affermare che:

- La falda degli acquiferi alluvionali defluisce complessivamente in accordo con il digradare del gradiente topografico ed è alimentata:
 - Come ovvio, dall'infiltrazione efficace delle piogge locali dirette;
 - Almeno in parte, da travasi idrici sotterranei da limitrofi acquiferi carbonatici;
- In particolare, sulla base del contenuto isotopico di ossigeno e deuterio emerge che:
 - Le acque sotterranee campionate nel piezometro PP-A-B02, attestato nell'acquifero alluvionale della Piana di San Vito, hanno un contenuto isotopico coerente con la quota topografica locale, a testimonianza del fatto che:
 - La ricarica è legata esclusivamente all'infiltrazione efficace delle piogge che cadono al suolo in pianura;
 - Non sussistono travasi idrici sotterranei dalle limitrofe idrostrutture carbonatiche, ad ulteriore conferma della veridicità di quanto detto nei paragrafi precedenti;
 - Le acque sotterranee campionate nel piezometro PP-A-B05, attestato nella porzione settentrionale dell'acquifero alluvionale del Fiume Agri, hanno un contenuto isotopico non coerente con la quota topografica locale, ma con una quota media di circa 900 metri s.l.m., a testimonianza del fatto che:
 - La ricarica non è legata esclusivamente all'infiltrazione efficace delle piogge che cadono al suolo in pianura;
 - Sussistono travasi idrici sotterranei dalle limitrofe idrostrutture carbonatiche, ad ulteriore conferma della veridicità di quanto detto nei paragrafi precedenti in merito alle idrostrutture di "Monte Cognone" e di "Petrara – Coste i Monti";
 - Il contenuto isotopico di queste acque è pertanto il risultato della miscela tra acque di infiltrazione locale ed acque travasate per via sotterranea dagli acquiferi carbonatici di bordo;
 - Le acque sotterranee campionate nel piezometro PP-A-B08, attestato nella porzione meridionale dell'acquifero alluvionale del Fiume Agri, hanno un contenuto isotopico coerente con la quota topografica locale, a testimonianza del fatto che:
 - La ricarica è legata esclusivamente all'infiltrazione efficace delle piogge che cadono al suolo in pianura;
 - Non sussistono travasi idrici sotterranei dalle limitrofe idrostrutture carbonatiche, ad ulteriore conferma della veridicità di quanto detto nei paragrafi precedenti;

- Le acque sotterranee campionate nel piezometro SAI3, attestato anch'esso nella porzione meridionale dell'acquifero alluvionale del Fiume Agri, hanno un contenuto isotopico non interamente coerente con la quota topografica locale, a testimonianza del fatto che:
 - La ricarica non è legata esclusivamente all'infiltrazione efficace delle piogge che cadono al suolo in pianura;
 - Vista l'assenza di idrostrutture carbonatiche a monte idrogeologico dell'area in cui è attestato il SAI3, il contenuto isotopico porta ragionevolmente traccia di miscela con acque di ruscellamento superficiale, provenienti dalle aree collinari limitrofe (in cui affiorano rocce a bassa permeabilità) e infiltrate nel sottosuolo lungo le incisioni vallive poste a monte idrogeologico del piezometro in esame.

4.3 Idrostruttura carbonatica di “Monte Lama – Monte Calvelluzzo – Monte Tumolo – Monte Ausineto”

L'idrostruttura carbonatica di “Monte Lama – Monte Calvelluzzo – Monte Tumolo – Monte Ausineto” (Allegato n. 3.1) si colloca in posizione intermedia tra l'area oggetto di approfondimento nell'ambito del presente Studio idrogeologico (Area cluster SE1-CF7) e quella oggetto dello Studio idrogeologico effettuato nel 2023 sempre dall'HydrogeoCentre dell'Università di Parma e da Proger S.p.A. Per questa idrostruttura, pertanto, si riportano gli elementi esistenti in Letteratura scientifica, con particolare riferimento a quanto desumibile da De Vita et al. (2018):

- L'idrostruttura appare compartimentata dal punto di vista idraulico, con almeno una zona di spartiacque sotterraneo “chiuso” identificata in De Vita et al. (2018) in corrispondenza della discontinuità tettonica ad andamento est-ovest che separa un sotto-bacino settentrionale da uno meridionale;
- Il sotto-bacino settentrionale (“Monte Lama – Monte Calvelluzzo”) è sede di una falda basale che defluisce da est verso ovest, con recapito in diverse sorgenti o gruppi sorgivi; tale sotto-bacino è verosimilmente compartimentato al proprio interno, dal punto di vista idraulico, ma le conoscenze ad oggi disponibili non consentono di definire in modo accurato i limiti di ciascun compartimento; tuttavia, essendo questa idrostruttura non coinvolta nelle attività che ruotano intorno all'Area cluster SE1-CF7, si ritiene che il livello di conoscenza ad oggi disponibile sia più che soddisfacente nell'economia del presente Studio;
- Il sotto-bacino meridionale (“Monte Tumolo – Monte Ausineto”) è sede di una falda basale che defluisce da nord verso sud, con recapito in diverse sorgenti o gruppi sorgivi; tale sotto-bacino è verosimilmente compartimentato al proprio interno, dal punto di vista idraulico, ma le conoscenze ad oggi disponibili non consentono di definire in modo accurato i limiti di ciascun compartimento; tuttavia, essendo questa idrostruttura non coinvolta nelle attività che ruotano intorno all'Area cluster SE1-CF7, si ritiene che il livello di conoscenza ad oggi disponibile sia più che soddisfacente nell'economia del presente Studio.

5. Valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi nell'Area cluster SE1-CF7

Sulla base di quanto emerso dall'affinamento e dall'aggiornamento del modello idrogeologico concettuale, è stata effettuata una valutazione della vulnerabilità all'inquinamento degli acquiferi, non solo per i terreni in cui insiste l'opera (parte dell'acquifero detritico), ma anche per gli acquiferi carbonatici e per l'acquifero alluvionale che, alla luce del modello idrogeologico aggiornato, sono idraulicamente interconnessi con la porzione di acquifero detritico in cui insiste l'Area cluster SE1-CF7 (Allegato n. 2.2).

Nello specifico, la vulnerabilità all'inquinamento è stata valutata (in ambiente GIS) mediante l'applicazione del metodo DAC (Celico, 1996), che contempla n. 7 parametri (soggiacenza della falda, entità della ricarica media annua, caratteristiche litologiche e idrauliche delle componenti insatura e satura dell'acquifero, conducibilità idraulica dell'acquifero saturo, caratteristiche tessiturali del suolo, pendenza dei versanti), due stringhe di pesi moltiplicatori (ereditati dal DRASTIC; Aller et al., 1987) ed una tabella di classificazione.

Ciò premesso, nel caso in esame si è proceduto come di seguito sintetizzato (gli esiti del calcolo degli indici di vulnerabilità associati a ciascun parametro sono riportati nelle figure da 5.1 a 5.7):

- per quanto concerne la soggiacenza della falda:
 - nell'acquifero detritico è stata ricostruita sulla base della differenza tra quote topografiche (ricavate dal DTM della Regione Basilicata) e quote piezometriche (utilizzando la morfologia piezometrica di cui si è detto nel precedente paragrafo 4.1.1);
 - nelle porzioni di acquifero detritico caratterizzate dall'assenza di piezometri, si è proceduto ad un'estrapolazione della morfologia piezometrica sopra richiamata, mantenendo inalterato il gradiente idraulico sperimentalmente ricostruito nell'immediato monte idrogeologico;
 - negli acquiferi carbonatici (o porzioni di essi) che sono risultati recapito della falda dell'acquifero detritico, la soggiacenza è stata ricavata utilizzando un gradiente idraulico di poche unità per cento (ad esempio, Celico et al., 2006), a partire da una quota di recapito fissata nell'acquifero alluvionale del Fiume Agri a pochi metri di profondità dal piano campagna; tale collocazione è in coerenza con quanto sperimentalmente accertato nel medesimo acquifero alluvionale, in piezometri collocati a nord dell'area di stretto interesse del presente Studio (cfr. par. 4.2.5);
- per quanto concerne la ricarica:
 - per ciascuno dei complessi idrogeologici affioranti nell'acquifero detritico e nelle idrostrutture carbonatiche limitrofe, la stima della ricarica è stata effettuata sulla base della produttività per unità di superficie riportata in De Vita et al. (2018); in particolare, per ciascun campo di variazione fornito dal citato articolo scientifico, è stato utilizzato il valore maggiore, a favore di sicurezza;
 - poiché tutti i valori di infiltrazione efficace stimati sono risultati maggiori del valore massimo contemplato nel DAC, è stato attribuito un indice di vulnerabilità massimo (per questo parametro pari a 9) nell'intera area oggetto di valutazione;
- per quanto concerne il suolo:

- sono state utilizzate le classi tessiturali riportate nella Carta pedologica della Regione Basilicata in scala 1:250.000 (Cassi & Viviano, 2006);
- per quanto concerne la pendenza dei versanti:
 - come detto in precedenza, si è fatto uso del DTM della Regione Basilicata, applicando la funzione “pendenza” di QGIS;
- per quanto concerne le caratteristiche litologiche e idrauliche dell’acquifero insaturo:
 - in accordo con quanto contemplato nel DAC, laddove l’insaturo è risultato caratterizzato da litotipi con caratteristiche (e conseguenti indici di vulnerabilità) diverse, l’indice di vulnerabilità è stato calcolato effettuando una media ponderata (sullo spessore insaturo complessivo) delle singole componenti;
 - ad esempio, in alcune porzioni dell’acquifero detritico, si è tenuto conto del diverso indice di vulnerabilità associabile agli orizzonti a maggiore e a minore permeabilità, coesistenti tra la superficie topografica e quella piezometrica;
- per quanto concerne le caratteristiche litologiche e idrauliche dell’acquifero saturo:
 - l’indice di vulnerabilità è stato definito in funzione delle caratteristiche dei complessi idrogeologici che, anche sulla base della ricostruzione delle sezioni idrogeologiche, sono risultati coinvolti nel flusso delle falde oggetto di interesse;
- per quanto concerne la conducibilità idraulica dell’acquifero saturo:
 - per l’acquifero detritico e per la quota parte di acquifero alluvionale coinvolto nella valutazione di vulnerabilità all’inquinamento, è stato utilizzato il valore massimo (4.0×10^{-5} m/s) calcolato *in loco* mediante Prove Lefranc;
 - per gli acquiferi carbonatici, è stato utilizzato il valore massimo (1.0×10^{-3} m/s) riportato in De Vita et al. (2018).

Al termine delle valutazioni di cui ai punti precedenti, si è proceduto ad effettuare il prodotto degli indici di vulnerabilità per i pesi attribuiti dal DAC a ciascun parametro, con particolare riferimento alla stringa relativa ai contesti non agricoli. Conclusa questa fase, è stata ottenuta la distribuzione spaziale del valore di vulnerabilità raffigurata in Fig. 5.8. L’accorpamento definitivo dei valori per “classi” ha dato quindi vita alla Carta della vulnerabilità riportata nell’Allegato n. 2.2.

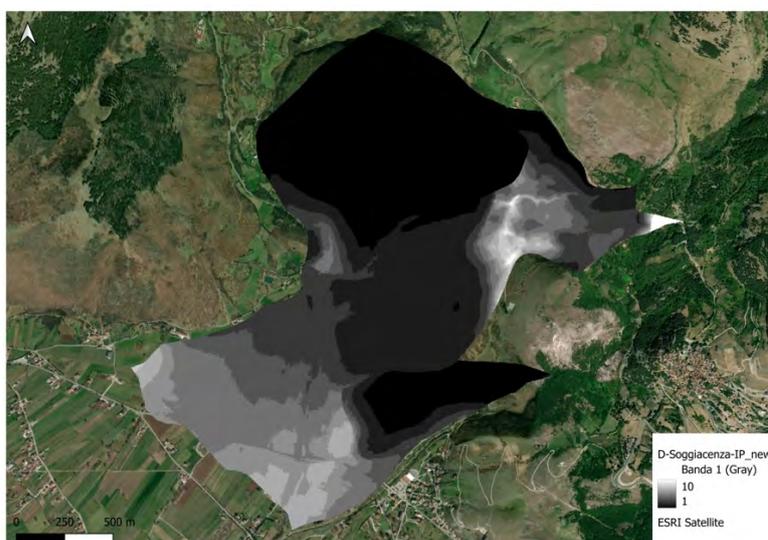


Figura 5.1. Carta dell’indice di vulnerabilità relativo al parametro soggiacenza.



Figura 5.2. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro ricarica.



Figura 5.3. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro suolo.

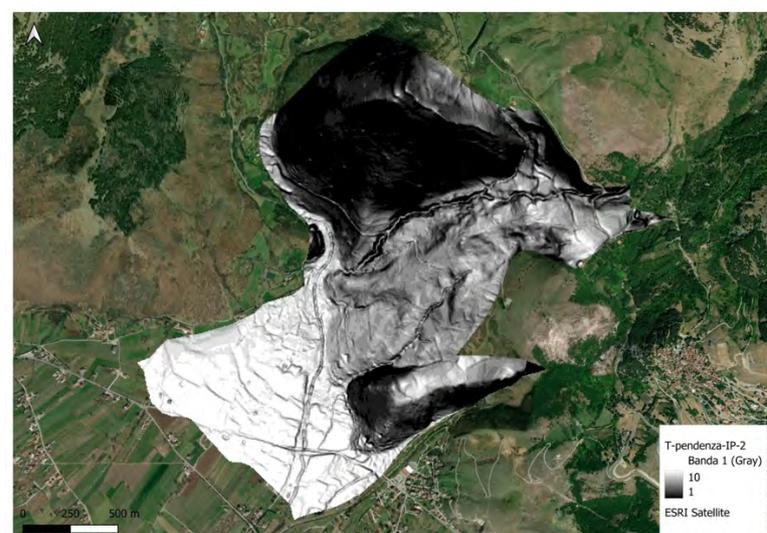


Figura 5.4. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro pendenza.



Figura 5.5. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro acquifero insaturo.

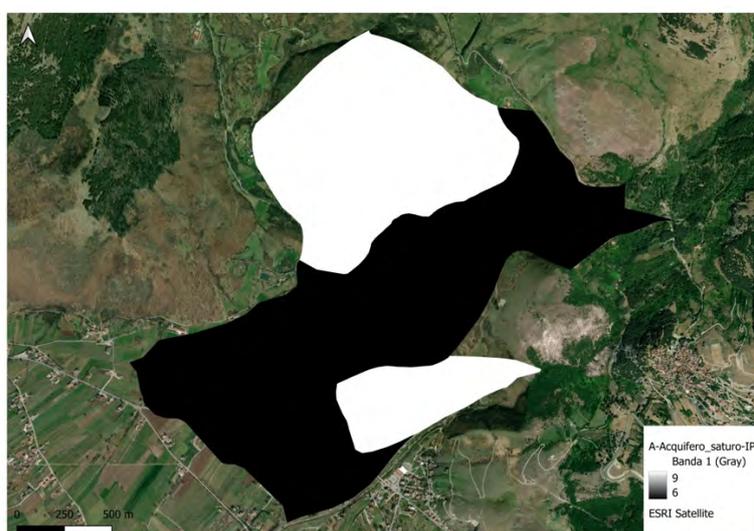


Figura 5.6. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro acquifero saturo.

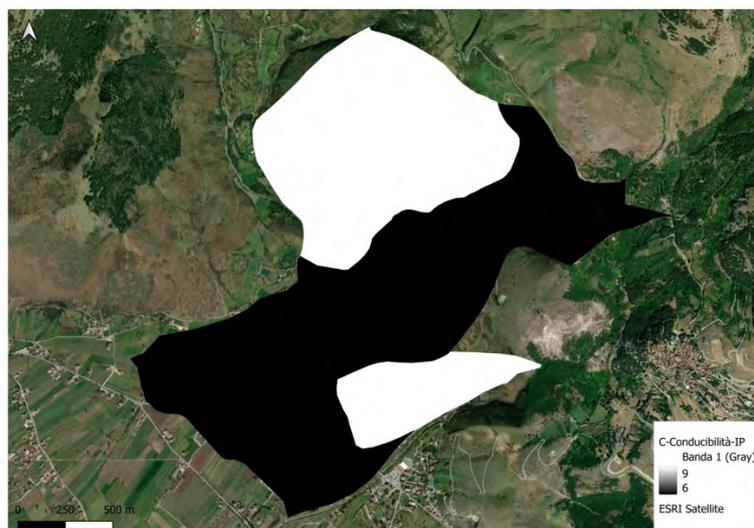


Figura 5.7. Carta dell'indice di vulnerabilità relativo al parametro conducibilità idraulica dell'acquifero saturo.

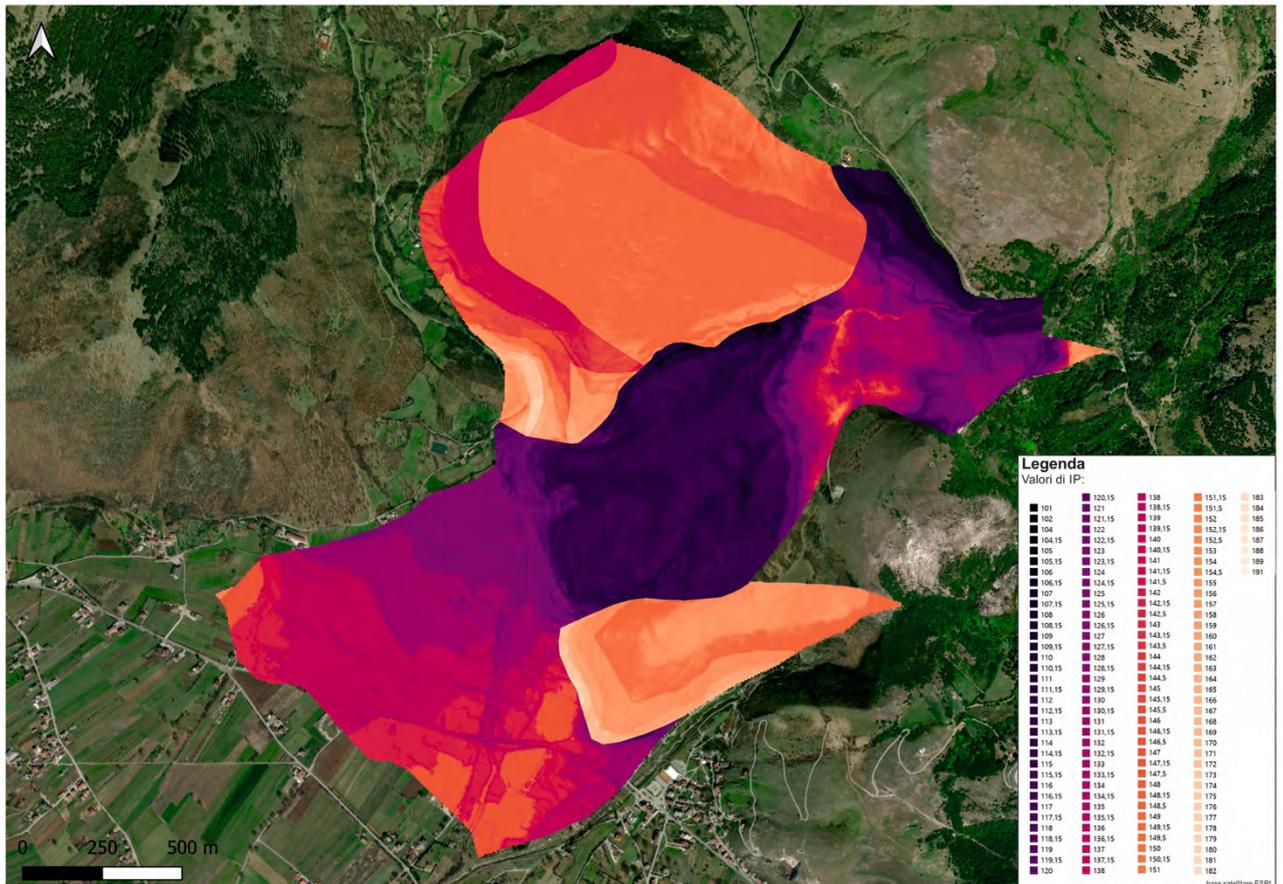


Figura 5.8. Carta dei valori di vulnerabilità non ancora accorpati in base alle classi previste dal metodo DAC.

6. Nuova rete piezometrica e relativi utilizzi

Alla luce degli approfondimenti effettuati in questa sede, si è proceduto alla progettazione di una nuova rete di monitoraggio quali-quantitativo, che contempla i piezometri esistenti e n. 5 ulteriori piezometri (la cui ubicazione è riportata nell'Allegato n. 2.1). Più in dettaglio:

- Una volta realizzati i nuovi piezometri in progetto, la nuova rete di monitoraggio verrà utilizzata per:
 - monitorare in continuo la temperatura e la conducibilità elettrica della falda, insieme con il carico idraulico, mediante l'installazione di sonde multiparametriche con data-logger;
 - monitorare con cadenza trimestrale i caratteri idrochimici, inclusi i potenziali contaminanti riconducibili all'attività industriale;
- Alla luce dell'affinamento del modello idrogeologico concettuale, ivi inclusa la ricostruzione del reticolo di flusso della falda dell'acquifero detritico nell'Area cluster SE1-CF7, è possibile affermare che la rete piezometrica già esistente potrebbe essere utilizzata anche per intercettare eventuali sostanze contaminanti sversate accidentalmente nell'Area cluster;
- I piezometri esistenti sono infatti dislocati in modo tale da intercettare eventuali *plumes* di contaminazione a ridosso dell'Area cluster, nelle more di integrarli con eventuali ulteriori opere di contenimento, progettabili solo in funzione delle caratteristiche dell'eventuale sversamento accidentale;
- Ai piezometri esistenti si aggiungono gli ulteriori cinque ubicati lungo il fronte di travaso idrico sotterraneo tra gli acquiferi carbonatici e l'acquifero detritico (acquiferi "alimentatori") e l'acquifero alluvionale (acquifero "recettore").
- In tal modo, tenendo conto dei possibili scenari di rischio, che vengono in questa sede ricondotti a possibili sversamenti accidentali di sostanze contaminanti nei corpi idrici sotterranei, la suddetta rete piezometrica sarebbe in grado, non solo di identificare eventuali *plumes* di contaminazione in falda, ma anche di minimizzare il rischio di propagazione degli stessi verso opere di captazione a scopo antropico, attrezzando eventualmente i piezometri con idonei sistemi di pompaggio.

7. Bibliografia

- Aller, L., Bennet, T., Leher, J.H., Petty, R.J., & Hackett, G., 1987. DRASTIC: A Standardized System for Evaluating Ground Water Pollution Potential Using Hydrogeological Setting. EPA/600/2-85/018, Washington D.C.
- Bucci, A., Petrella, E., Naclerio, G., Gambatese, S., Celico, F., 2014. Bacterial migration through low-permeability fault zones in compartmentalised aquifer systems: a case study in Southern Italy. *International Journal of Speleology*, 43, 273-281.
- Cassi, F., & Viviano, L., 2006. Suoli della Basilicata—Carta pedologica della Regione Basilicata in scala 1: 250.000. Regione Basilicata—Dip. Agricoltura e Sviluppo Rurale. Direzione Generale; Reg. Basilicata-Dip. Agric. Svilup. Rurale. Dir. Gen.: Potenza, Italy.
- Celico, P., 1983. Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro- meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania) – Quad. CASMEZ, 4/2, 225.
- Celico, P., 1986. Prospezioni idrogeologiche. Vol. 1. Liguori Editore, Napoli, ISBN 9788820713317, p. 736.
- Celico, F., 1996. Vulnerabilità all'inquinamento degli Acquiferi e delle Risorse Idriche Sotterranee in Realtà Idrogeologiche Complesse: i metodi DAC e VIR. Quaderni di Geologia Applicata, 1, 93-116.
- Celico, F., Petrella, E., Celico, P., 2006. Hydrogeological behaviour of some fault zones in a carbonate aquifer of Southern Italy: an experimentally based model. *Terra Nova*, 18, 308-313.
- De Vita, P., Allocca, V., Celico, F., Fabbrocino, S., Mattia, C., Monacelli, G., Musilli, I., Piscopo, V., Scalise, A.R., Summa, G., Tranfaglia, G., Celico, P. 2018. Hydrogeology of continental Southern Italy. *Journal of Maps*, DOI: 10.1080/17445647.2018.1454352.
- Gonfiantini, R., Roche, M.-A., Olivry, J.-C., Fontes, J.-C., Zuppi, G.M., 2001. The altitude effect on the isotopic composition of tropical rains. *Chemical Geology*, 181, 147-167.
- Palladino, G., Prosser, G., Olita, F., Avagliano, D., Dello Iacovo, B., Ivo Giano, S., Bentivenga, M., Agosta, F., Grimaldi, S., 2023. Reconstruction of the structural setting of the north-eastern side of the high Agri Valley (Southern Apennines, Italy) based on detailed field mapping, *Journal of Maps*, 19:1, 2257729, DOI: 10.1080/17445647.2023.2257729
- Petrella, E., Capuano, P., Carcione, M., Celico, F., 2009. A high-altitude temporary spring in a compartmentalized carbonate aquifer: the role of low-permeability faults and karst conduits. *Hydrological Processes*, 23, 3354-3364.
- Petrella, E., Aquino, D., Fiorillo, F., Celico, F., 2015. The effect of low-permeability fault zones on groundwater flow in a compartmentalized system. Experimental evidence from a carbonate aquifer (Southern Italy). *Hydrological Processes*, 29, 1577-1587.

Rizzo, P., Bucci, A., Sanangelantoni, A.M., Iacumin, P., Celico, F., 2020. Coupled microbiological-isotopic approach for studying hydrodynamics in deep reservoirs: the case of the Val d'Agri oilfield (Southern Italy). *Water*, doi: 10.3390/w12051483.

Rizzo, P., Severini, E., Bucci, A., Bocchia, F., Palladino, G., Riboni, N., Sanangelatoni A.M., Francese, R., Giorgi, M., Iacumin, P., Bianchi, F., Mucchino, C., Prosser, G., Mazzone, D., Avagliano, D., Coraggio, F., Caputi, A., Celico, F., 2022. How do turbidite systems behave from the hydrogeological point of view? New insights and open questions coming from an interdisciplinary work in Southern Italy. *PlosOne*, doi.org/10.1371/journal.pone.0268252.

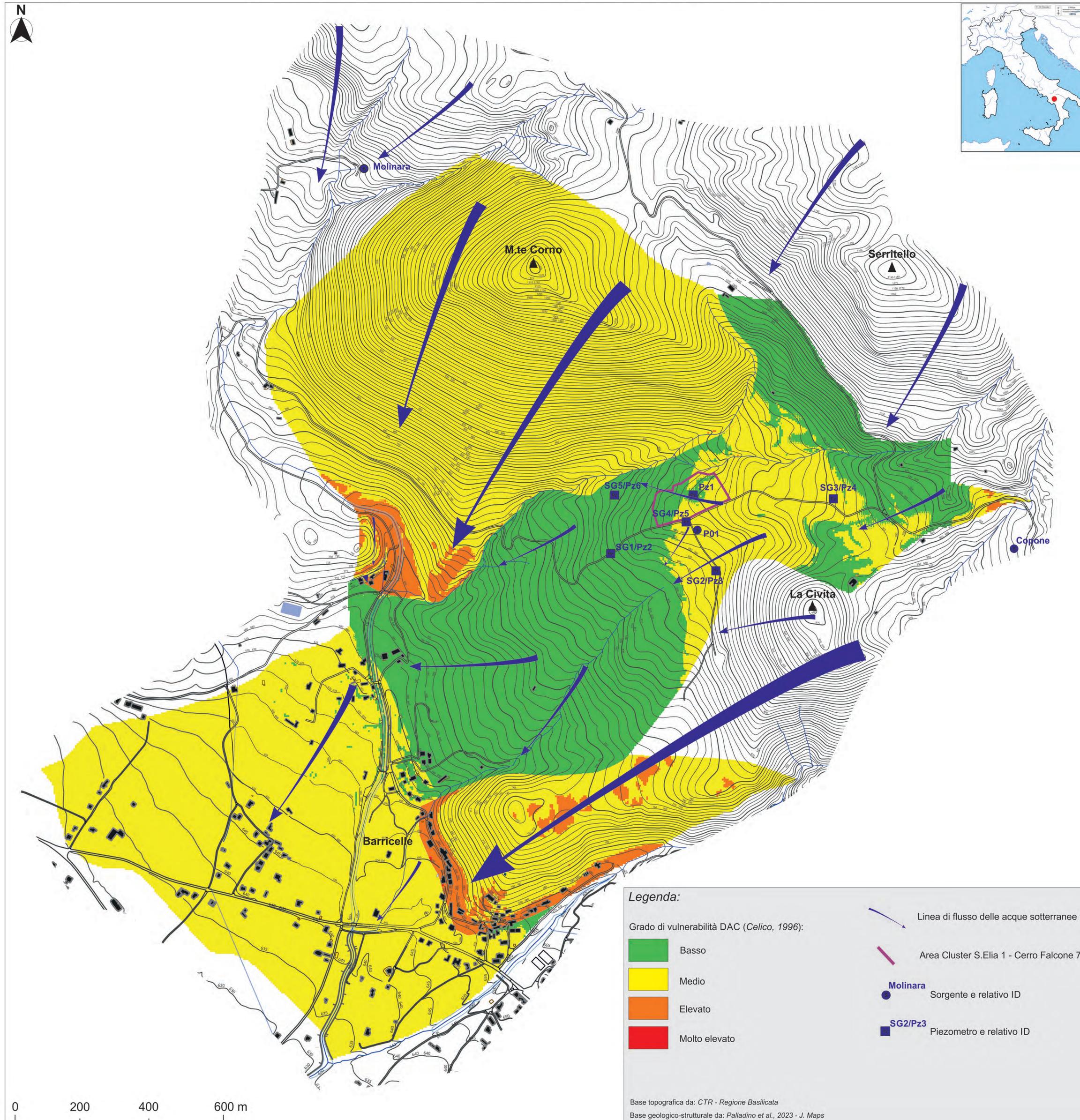
Rizzo, P., Bucci, A., Monaco, P., Sanangelatoni A.M., Naclerio, G., Rossi, M., Iacumin, P., Bianchi, F., Mucchino, C., Riboni, N., Avagliano, D., Coraggio, F., Caputi, A., Celico, F., 2023. Investigating the potential impact on shallow groundwater quality of oily wastewater injection in deep petroleum reservoirs: A multidisciplinary evaluation at the Val d'Agri oilfield (Southern Italy). *Sustainability*, doi: 10.3390/su15129161.

Tazioli, A., Cervi, F., Doveri, M., Mussi, M., Deiana, M., Ronchetti, F., 2019. Estimating the isotopic altitude gradient for hydrogeological studies in mountainous areas: Are the low-yield springs suitable? Insights from the Northern Apennines of Italy. *Water*, 11(9), 1764.

Carta della vulnerabilità all'inquinamento dell'Area Cluster Sant'Elia 1 - Cerro Falcone 7 (Marsicovetere, PZ)

Riccardo Pinardi⁽¹⁾, Domenico Mazzone⁽²⁾, Marco Di Chio⁽³⁾ e Fulvio Celico⁽¹⁾

¹Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Università degli Studi di Parma, 43124 Parma, Italy; ²PROGER Spa; ³Libero Professionista



Legenda:

Grado di vulnerabilità DAC (Celico, 1996):

- Basso
- Medio
- Elevato
- Molto elevato

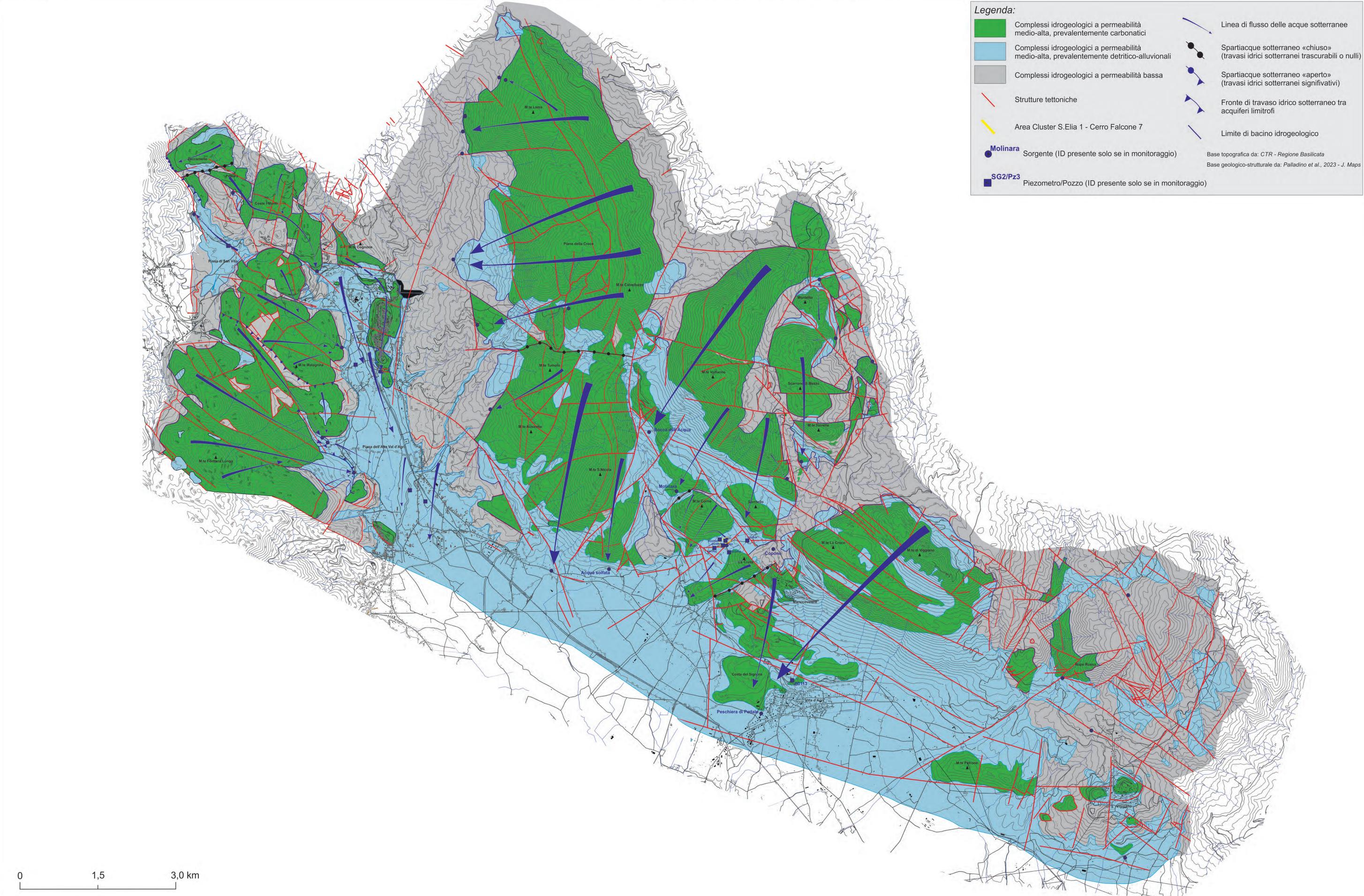
- Linea di flusso delle acque sotterranee
- Area Cluster S. Elia 1 - Cerro Falcone 7
- Molinara**
Sorgente e relativo ID
- SG2/Pz3**
Piezometro e relativo ID



Base topografica da: CTR - Regione Basilicata
Base geologico-strutturale da: Palladino et al., 2023 - J. Maps

Carta Idrogeologica di area vasta

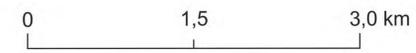
Riccardo Pinardi⁽¹⁾, Domenico Mazzone⁽²⁾, Marco Di Chio⁽³⁾ e Fulvio Celico⁽¹⁾
⁽¹⁾Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Università degli Studi di Parma, 43124 Parma, Italy; ⁽²⁾PROGER Spa; ⁽³⁾Libero Professionista



Legenda:

	Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente carbonatici		Linea di flusso delle acque sotterranee
	Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente detritico-alluvionali		Spartiacque sotterraneo «chiuso» (travasi idrici sotterranei trascurabili o nulli)
	Complessi idrogeologici a permeabilità bassa		Spartiacque sotterraneo «aperto» (travasi idrici sotterranei significativi)
	Strutture tettoniche		Fronte di travaso idrico sotterraneo tra acquiferi limitrofi
	Area Cluster S.Elia 1 - Cerro Falcone 7		Limite di bacino idrogeologico
	Molinara Sorgente (ID presente solo se in monitoraggio)		
	SG2/Pz3 Piezometro/Pozzo (ID presente solo se in monitoraggio)		

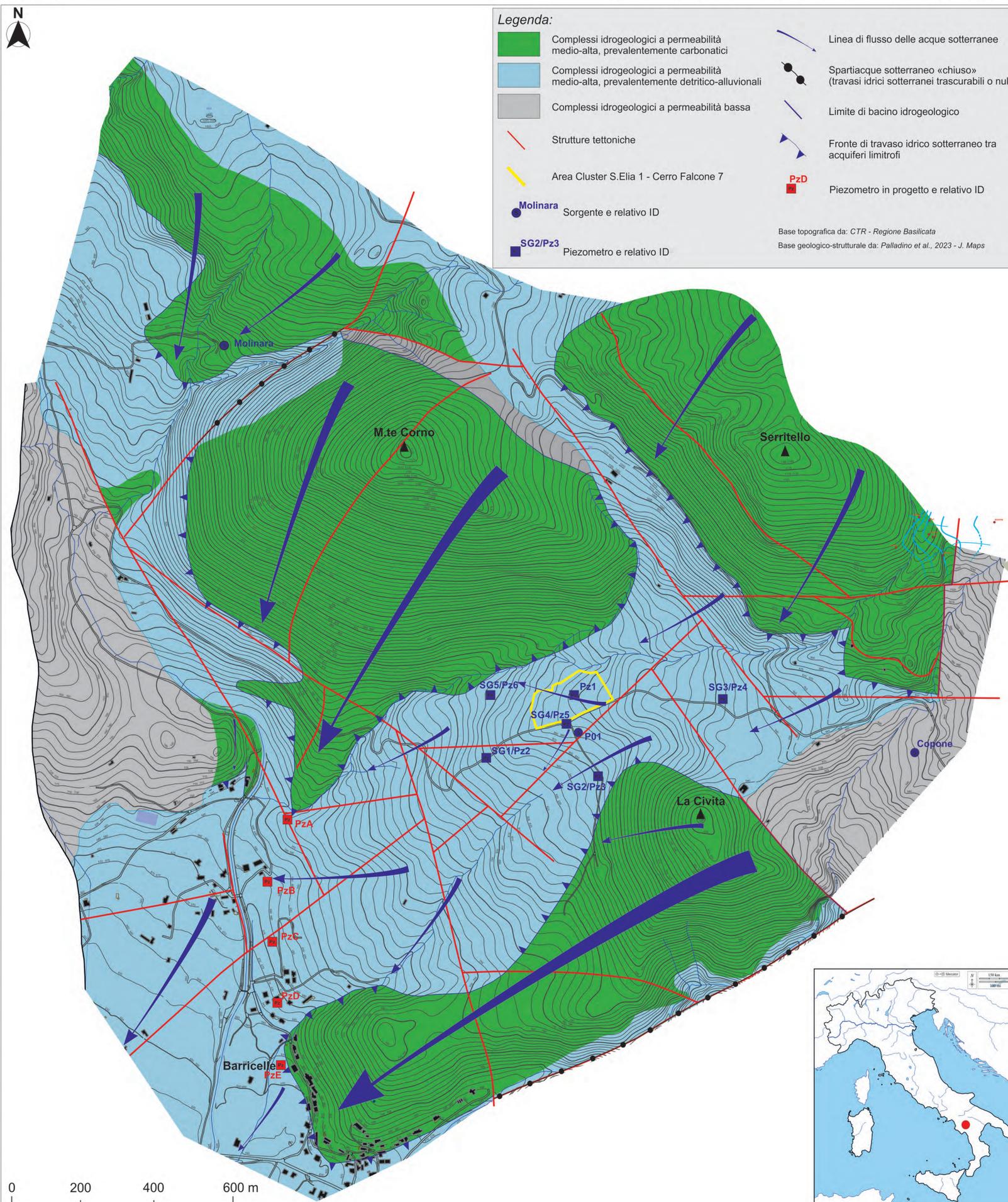
Base topografica da: CTR - Regione Basilicata
Base geologico-strutturale da: Palladino et al., 2023 - J. Maps



Riccardo Pinardi⁽¹⁾, Domenico Mazzone⁽²⁾, Marco Di Chio⁽³⁾ e Fulvio Celico⁽¹⁾

¹Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale, Università degli Studi di Parma, 43124 Parma, Italy; ²PROGER Spa; ³Libero Professionista

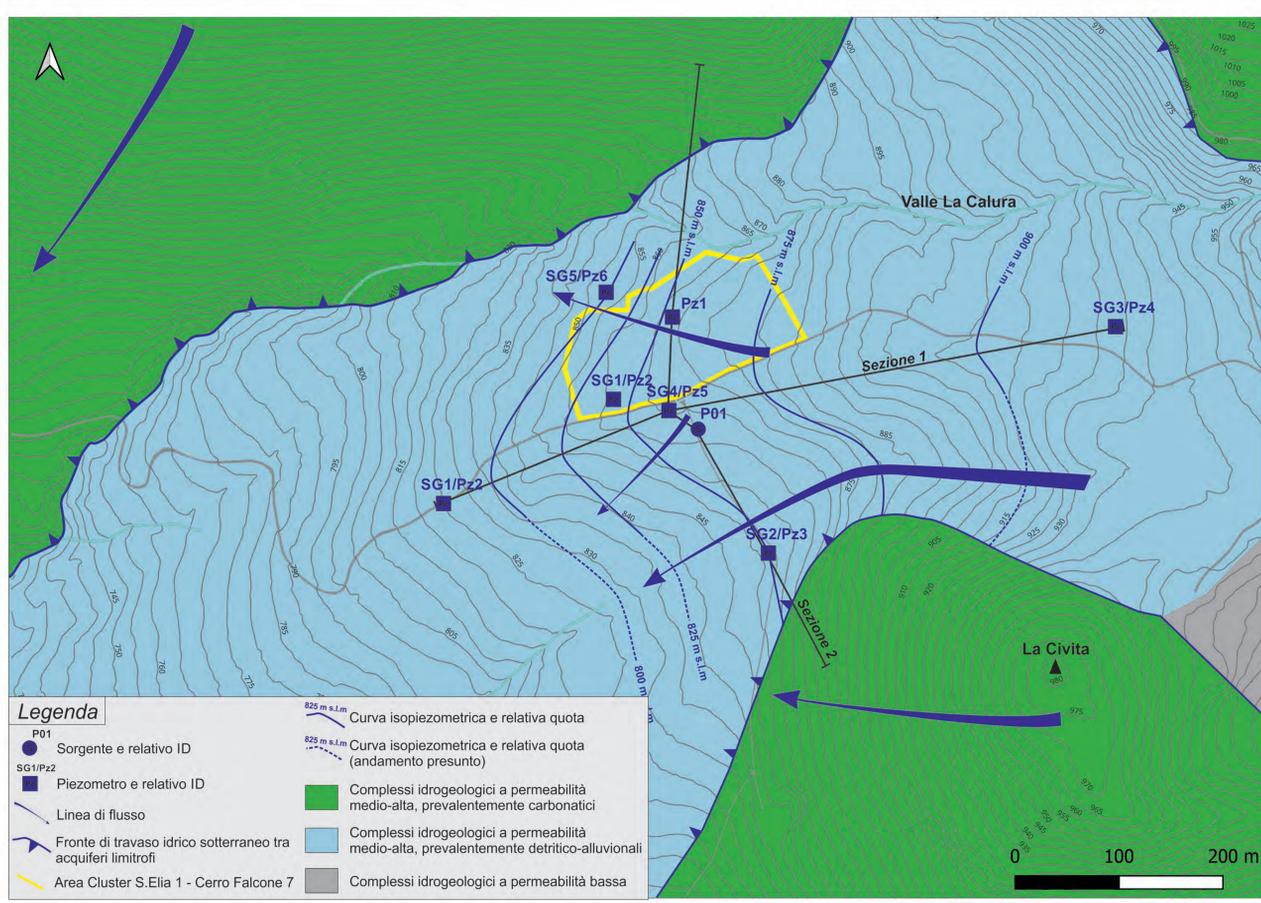
HydrogeoCentre



Legenda:

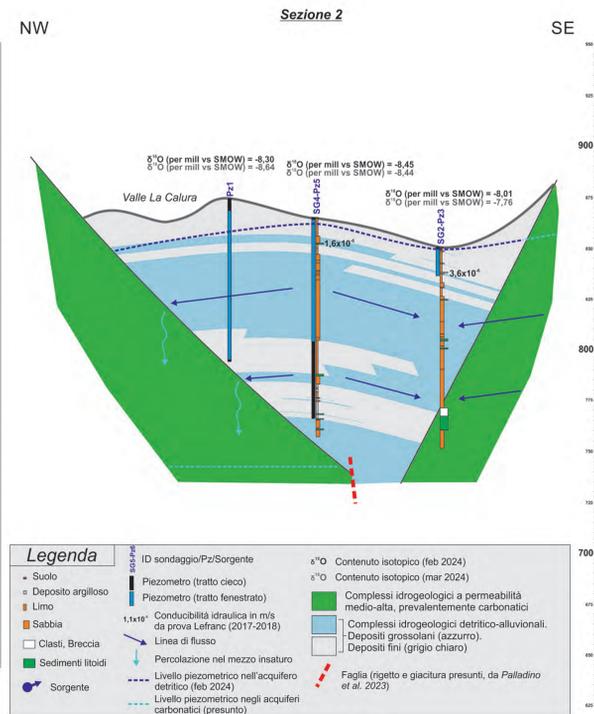
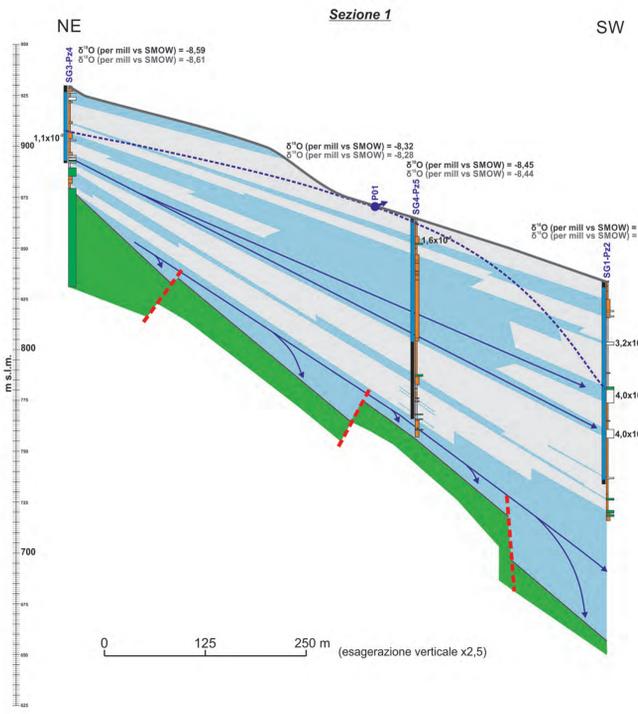
- Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente carbonatici
- Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente detritico-alluvionali
- Complessi idrogeologici a permeabilità bassa
- Strutture tettoniche
- Area Cluster S.Elia 1 - Cerro Falcone 7
- Molinara Sorgente e relativo ID
- SG2/Pz3 Piezometro e relativo ID
- Linea di flusso delle acque sotterranee
- Spatiacque sotterraneo «chiuso» (travasi idrici sotterranei trascurabili o nulli)
- Limite di bacino idrogeologico
- Fronte di travaso idrico sotterraneo tra acquiferi limitrofi
- PzD Piezometro in progetto e relativo ID

Base topografica da: CTR - Regione Basilicata
 Base geologico-strutturale da: Palladino et al., 2023 - J. Maps



Legenda

- P01 Sorgente e relativo ID
- SG1/Pz2 Piezometro e relativo ID
- Linea di flusso
- Fronte di travaso idrico sotterraneo tra acquiferi limitrofi
- Area Cluster S.Elia 1 - Cerro Falcone 7
- Curva isopiezometrica e relativa quota (andamento presunto)
- Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente carbonatici
- Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente detritico-alluvionali
- Complessi idrogeologici a permeabilità bassa



Legenda

- ID sondaggio/Pz/Sorgente
- Piezometro (tratto cieco)
- Piezometro (tratto fenestrato)
- Conduttività idraulica in m/s da prova Lefranc (2017-2018)
- Linea di flusso
- Percolazione nel mezzo insaturato
- Livello piezometrico nell'acquifero detritico (feb 2024)
- Livello piezometrico negli acquiferi carbonatici (presunto)
- Contenuto isotopico (feb 2024)
- Contenuto isotopico (mar 2024)
- Complessi idrogeologici a permeabilità medio-alta, prevalentemente carbonatici
- Complessi idrogeologici detritico-alluvionali
- Depositi grossolani (azzurro)
- Depositi fini (grigio chiaro)
- Faglia (ripetto e giacitura presunti, da Palladino et al. 2023)



0 200 400 600 m

0 125 250 m (esagerazione verticale x2,5)