



PRESIDENZA DEL CONSIGLIO DEI MINISTRI
 MESSA IN SICUREZZA DEL SISTEMA ACQUEDOTTISTICO
 DEL PESCHIERA PER L'APPROVVIGIONAMENTO IDRICO
 DI ROMA CAPITALE E DELL'AREA METROPOLITANA

IL COMMISSARIO STRAORDINARIO ING. PhD MASSIMO SESSA

SUB COMMISSARIO ING. MASSIMO PATERNOSTRO

aceq
 acqua
 ACEA ATO 2 SPA



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. PhD Alessia Delle Site

SUPPORTO AL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Dott. Avv. Vittorio Gennari
 Sig.ra Claudia Iacobelli
 Ing. Barnaba Paglia

aceq
 Ingegneria
 e servizi



CONSULENTE

Ing. Biagio Eramo

ELABORATO

A194PD R002 8

COD. ATO2 APE10116

DATA OTTOBRE 2019

SCALA

Progetto di sicurezza e ammodernamento
 dell'approvvigionamento della città
 metropolitana di Roma

"Messa in sicurezza e ammodernamento del sistema
 idrico del Peschiera",
 L.n.108/2021, ex DL n.77/2021 art. 44 Allegato IV

AGG. N.	DATA	NOTE	FIRMA
1	DIC-19	AGGIORNAMENTO PER SIA	
2	MAR-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
3	LUG-20	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
4	GEN-21	AGGIORNAMENTO PARERE CSLLPP VOTO DEL 14/10/2020	
5	SETT-21	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
6	GIU-22	AGGIORNAMENTO ELABORATI	
7	OTT-22	AGGIORNAMENTO UVP	
8	APR-23	INTEGRAZIONI ED AGGIORNAMENTI IN AMBITO AUTORIZZATIVO	
9			
10			

**NUOVO TRONCO SUPERIORE ACQUEDOTTO
 DEL PESCHIERA
 dalle Sorgenti alla Centrale di Salisano**

CUP G33E17000400006

PROGETTO DEFINITIVO

TEAM DI PROGETTAZIONE

CAPO PROGETTO

Ing. Angelo Marchetti

IDRAULICA

Ing. Eugenio Benedini

GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA

Geol. Stefano Tosti

GEOTECNICA E STRUTTURE

Ing. Angelo Marchetti

ASPETTI AMBIENTALI

Ing. Nicoletta Stracqualursi

ATTIVITA' TECNICHE DI SUPPORTO

Geom. Stefano Francisci

ATTIVITA' PATRIMONIALI

Geom. Fabio Pompei

Hanno collaborato:

Ing. Geol. Eliseo Paolini

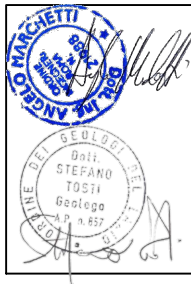
Geol. Yousef Abu Sabha

Geol. PhD Paolo Caporossi

Geol. Simone Febo

Geol. Filippo Arsie

Geol. Marco Marrocco



RELAZIONE GEOLOGICA

ALLEGATO 1

CONSULENTI

CERI - Centro di Ricerca Previsione, Prevenzione e Controllo dei Rischi Geologici



GENNAIO 2021

Prof. Ing. Giuseppe Sappa

"Integrazioni al modello geologico-tecnico ed
idrogeologico dell'area di interesse per il progetto
definitivo del nuovo tronco superiore dell'Acquedotto
Peschiera in relazione alle osservazioni pervenute dal
Consiglio Superiore Lavori Pubblici"

Dott. Ing. Francesca Andrei

Dott. Ing. Francesco Maria De Filippi



INDICE

1. Premessa	4
2. Stralcio del Voto 46/2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici	5
3. Principali interazioni fra acquiferi carbonatici carsici e lo scavo di gallerie .	6
4. Inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area di progetto	11
4.1 Inquadramento idrogeologico della sorgente Le Capore	11
5. Tecniche di analisi geochimica ed isotopica applicate agli acquiferi carsici	15
6. Programma di indagini integrative	17
7. Elaborazioni	20
7.1 Analisi Geochimiche.....	20
7.2 Analisi Isotopiche.....	40
8. Conclusioni.....	47
Appendice	50
a. Le note illustrative alla Carta geologica di Italia 1:100 000 (fogli 138 - Terni e 144 - Palombara Sabina).....	50
b. La cartografia geologica 1:100 000	52
c. Cartografia geologica 1:50 000 (foglio 357 - Cittaducale).....	59
d. Schema tettonico dell'area dei Monti Sabini	65
e. Inquadramento idrogeologico e Risorse idriche sotterranee	69
f. Acquifero delle Capore/S. Angelo.....	73
f.1 Inquadramento geologico regionale.....	73
f.2 Schema Idrogeologico e limiti dell'area di alimentazione delle sorgenti delle Capore - S.Angelo	78
Allegato 1 – Certificati Analisi Isotopi	

INDICE DELLE FIGURE

Figura 4.1.1 - Stralcio della Carta dei Complessi Idrogeologici della Regione Lazio, foglio 1 (scala 1:100.000) (Capelli et al., 2012). In rosso il tracciato della nuova condotta del Peschiera.	13
Figura 4.1.2 – Inquadramento Geologico area di interesse con ubicazione Sorgente delle Capore.....	13
Figura 4.1.3 - Inquadramento complessi idrogeologici area di interesse con ubicazione Sorgente delle Capore. In tratteggio rosso le vie preferenziali di deflusso delle acque sotterranee verso la sorgente, per effetto dei lineamenti tettonici.	15
Figura 6.1- Localizzazione punti di monitoraggio campagna di novembre 2020.....	19
Figura 7.1 – Diagramma di Chebotarev (a) e zoom diagramma di Chebotarev (b)	22
Figura 7.2 – Diagramma di Schoeller.....	23
Figura 7.3 – Diagramma di Schoeller - Sottofacies 1	24



Figura 7.4 – Diagramma di Schoeller - Sottofacies 2	25
Figura 7.5 – Diagramma di Schoeller – Sottofacies 3.....	26
Figura 7.6 – Diagramma di Schoeller monitoraggi a confronto: Mompeo (a), S4(b), S6(c), S9 (d), Collelungo (e), San Giovanni Reatino (f), Laghetto (g).....	28
Figura 7.7 - Diagramma di Schoeller punti di monitoraggio vicino la sorgente delle Capore.....	30
Figura 7.8 – Diagramma Chebotarev punti di monitoraggio campagna novembre 2020 con aggiunta dei punti vicino la sorgente delle Capore: (a) Diagramma di Chebotarev e (b) zoom diagramma di Chebotarev.....	31
Figura 7.9 - Diagramma Schoeller punti di monitoraggio campagna novembre 2020 con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore	32
Figura 7.10 – Diagramma Schoeller – Sottofacies 1, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore	33
Figura 7.11 - Diagramma Schoeller – Sottofacies 2, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore	34
Figura 7.12 - Diagramma Schoeller – Famiglia 3, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore	34
Figura 7.13 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto.....	35
Figura 7.14 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto - primo trend.....	36
Figura 7.15 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto - secondo trend.....	36
Figura 7.16 – Diagramma di Schoeller monitoraggi a confronto con l’andamento medio rappresentativo della Sorgente delle Capore: Mompeo (a), S4(b), S6(c), S9 (d), Collelungo (e), San Giovanni Reatino (f), Laghetto (g).....	38
Figura 7.17 - Localizzazione punti di monitoraggio campagna di novembre 2020	41
Figura 7.18 - Diagramma isotopico punti di monitoraggio novembre 2020	43
Figura 7.19 - Connotato del $\delta^{18}O$ in funzione della quota media di infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano i diversi punti campionati.....	45
Figura 7.20 - Quota media di infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano i diversi punti campionati correlata con la quota del punto di prelievo. Punti di prelievo: C=Sorgente Le Capore; NC1=Pozzo Capore NC1; NC3=Pozzo Capore NC3; PM= Poggio Moiano; SGR1= pozzo S. Giovanni Reatino (vecchio); SGR2=Pozzo S. Giovanni Reatino (nuovo); SGR_F=Fontanile S. Giovanni Reatino; SM=Sorgente Mompeo; S4=pozzo S4; S6=pozzo S6; S9=pozzo S9; S9(2)=pozzo S9(2); MA=Magliano Alto; S16(2)=pozzo S16(2); PA=Pantane Alveo; PE=Pantane emergenza; Cf=Casale fontanile; Ca=Casale alveo; S11(2)=pozzo S11(2); Coll.=Collelungo; Orn.=Ornaro; SL=sorgente Laghetto; Cott.=Cottorella.	46
Figura b.1 - Descrizione litologie Carta Geologica d'Italia 1: 100.000: (a) Bisciario (M^3-E^1 – foglio 138) e (b) Marne, calcari detritici e marne arenacee (M^2 - foglio 144) e Calcari detritici e marne (M^3 – foglio 144).....	53
Figura b.2 -Descrizione litologie Carta Geologica d'Italia 1: 100.000: (a) Scaglia Cinerea (M^1-E^3 – foglio 138) e (b) Marne e brecciole (M^1-E^3 - foglio 144).....	54
Figura b.3 - Descrizione formazione Scaglia (E^2-C^6) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (formazione comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina).....	56
Figura b.4 - Descrizione formazione Marne a Fucoidi (C^5-4) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (litologia comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina).....	56
Figura b.5 - Descrizione formazione Maiolica (C^3-G^{11}) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (litologia comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina).....	57
Figura b.6 - Stralcio del foglio 144 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100 000) nell’area di interesse per l’opera in progetto. In rosso il nuovo tracciato della condotta del Peschiera. Il cerchio rosso in basso rappresenta la Sorgente Le Capore. La sezione è la II-II, la cui traccia è riportata in alto nella carta geologica.....	58



Figura b.7 - Schema dei rapporti stratigrafici: (a) stralcio del foglio 138 e (b) del foglio 144 della Carta geologica d'Italia (scala 1:100 000).....	58
Figura b.8 - Stralcio della legenda del foglio 144 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100 000) nell'area di interesse. La sezione è la III-III, la cui traccia è riportata nello stralcio della Carta Geologica.	59
Figura c.1 - Stralcio del foglio 357 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50. 000) nell'area di interesse. Il cerchio rosso rappresenta la Sorgente Le Capore. La sezione è la I-I, la cui traccia è riportata in carta geologica.....	64
Figura c.2 - Stralcio della legenda del foglio 357 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50 000) nell'area di interesse.	65
Figura d.1 - Stralcio dello schema tettonico dalla carta geologica d'Italia (scala 1:50 000) nell'area di interesse.	66
Figura d.2 - Stralcio della sezione geologica dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 50.000). La sezione geologica geometricamente corretta attraverso la porzione settentrionale del Foglio 357 – Cittaducale, dalla struttura del M. Tancia (UT2) fino alla Valle del Salto (UT6) e relativa sezione retrodeformata in basso (Corrado et al., 1995). Le formazioni della sezione geologica A-A' sono: 1) successione terrigene altomioceniche; 2) a: Marne a Orbulina, b: Calcari a briozoi a Litotamni, c): Unità Spongolitica; 3) a: Scaglia cinerea e Scaglia cinerea detritica, b: Scaglia rossa; 4) a: Marne a Fucoidi, b): Maiolica, Calcari diasprigni, Calcari detritici con Posidonia; 5) a: Marne di Monte Serrone, b): Corniola; 6) Calcare massiccio; 7) Calcari di piattaforma carbonatica; 8): Calcari e dolomie di piattaforma carbonatica; 9) Calcari e dolomie di piattaforma carbonatica ristretta.	68
Figura e.1 - Stralcio dello schema idrogeologico dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50 000)	70
Figura f.1 - Stralcio dello schema idrogeologico (Capelli et al., 1987) dell'area meridionale sabina (in alto la Sorgente Le Capore)	77
Figura f.2 - Stralcio della sezione idrogeologica (Capelli et al., 1987) ricostruita per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili).....	78
Figura f.3 - Stralcio della carta idrogeologica (Capelli et al., 1987) ricostruita per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili).....	81
Figura f.4 - Stralcio dei profili idrogeologici (Capelli et al., 1987) ricostruiti per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili).....	82

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6.1 - Punti di monitoraggio campagna novembre 2020.....	18
Tabella 7.1 - Risultati Elementi Maggiori punti di monitoraggio campagna novembre 2020.....	21
Tabella 7.2 - Concentrazioni degli elementi maggiori espresse in meq/l.....	21
Tabella 7.3 - Concentrazioni degli elementi maggiori per alcuni punti di monitoraggio vicino la sorgente delle Capore espresse in mg/l e meq/l.....	30
Tabella 7.4 - Risultati Analisi Isotopiche punti di monitoraggio campagna novembre 2020.....	42



1. Premessa

Il presente documento è stato redatto dallo scrivente prof. Giuseppe Sappa, Ordinario di Idrogeologia Applicata, presso la Facoltà di Ingegneria Civile ed Industriale della Sapienza Università di Roma, nell'ambito della convenzione *"Integrazioni al modello geologico-tecnico ed idrogeologico dell'area di interesse per il progetto definitivo del nuovo tronco superiore dell'Acquedotto Peschiera in relazione alle osservazioni pervenute dal Consiglio Superiore Lavori Pubblici* che il centro di ricerca interdipartimentale CERI della medesima università ha con ACEA Elabari. Questa convenzione riguarda la medesima area sulla quale il CERI ha già operato per conto di ACEA Elabari nell'ambito del precedente step di progettazione (progetto di fattibilità tecnico ed economica), con una convenzione, oggi conclusa, avente per titolo *"Supporto alla definizione del modello geologico-tecnico dell'area di interesse per il progetto di fattibilità tecnico ed economica del nuovo tronco superiore dell'acquedotto Peschiera"*, nella quale l'attività condotta si concentrò unicamente sugli aspetti geologici e geomeccanici.

In particolare, in questa relazione, sono riportate le integrazioni, rese necessarie dal rilascio del Voto 46 del 2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici. Pertanto, nel seguito, dopo aver richiamato, testualmente, quanto riportato nel suddetto Voto, in proposito, sarà fatto riferimento a quanto contenuto nello studio idrogeologico a corredo degli elaborati del progetto definitivo presentato da ACEA per quanto riguarda la caratterizzazione dell'assetto idrogeologico regionale e di dettaglio dell'area di progetto, introducendo esclusivamente aspetti integrativi utili alla definizione delle incertezze, evidenziate nel contenuto del suddetto Voto, in merito agli aspetti idrogeologici. Successivamente, dopo aver brevemente richiamato, in termini generali, gli aspetti critici, relativi alla esecuzione di gallerie in acquiferi carsici, sarà fatto cenno alle tecniche di analisi geochimica ed isotopica, applicate alla caratterizzazione degli acquiferi. Sarà quindi illustrata la campagna di campionamenti delle acque sotterranee eseguite nel novembre 2020, al fine di completare la caratterizzazione geochimica e isotopica delle acque sotterranee, interessate potenzialmente dell'opera in progetto. Si procederà all'elaborazione dei



dati relativi alle analisi geochimiche, utilizzati nella redazione dello studio idrogeologico a corredo del progetto definitivo ed alla loro interpretazione, per quanto ritenuto utile, ai fini della presente nota integrativa. Tali risultati saranno posti a confronto con i risultati emersi in questa ultima campagna investigativa, in modo da giungere allo svolgimento delle considerazioni, utili ai fini delle valutazioni in merito alle potenziali interferenze dello scavo della galleria acquedottistica con gli acquiferi emergenti nell'area. Queste potenziali interferenze saranno prese in esame, non solo in fase di cantiere, ma anche in termini di impatti, a lungo termine, sulla conservazione quantitativa e qualitativa di queste risorse idriche sotterranee data l'importanza strategica per l'intera popolazione della Regione Lazio.

2. Stralcio del Voto 46/2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

A pagina 38 il voto 46 2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici riporta quanto segue: *"Anche dal punto di vista idrogeologico sussistono incertezze e non complete previsioni delle possibili interferenze. Come evidenziato nella Relazione geologica "l'assetto idrogeologico ricostruito è tale da non evidenziare interferenze tra l'opera in progetto e circolazione idrica più profonda, mentre non si esclude il possibile intercettamento di falde libere sospese al di sopra delle Marne a Fucoidi, di limitato potenziale". In effetti, le ricostruzioni, anche grafiche, relative all'andamento delle falde riportate negli allegati alla relazione, che devono essere considerati per buona parte orientativi, non definiscono in modo completo e nelle situazioni più gravose le possibili interferenze. Ciò è di fatto confermato a pag. 138 ove viene infatti affermato che "... non si possedevano dati misurati diretti di quote piezometriche, tant'è che nella carta idrogeologica la piezometrica è stata ricostruita ipotizzandone quote e gradienti. Lo stesso dicasi per l'andamento plano altimetrico della falda contenuta nella Maiolica, presente unicamente nella dorsale di Montenero e riportata nella sola sezione idrogeologica". La presenza di falde idriche e delle conseguenti interferenze, vengono viste solo nell'ambito delle problematiche di scavo, generalmente in termini di battente idraulico, senza definire e modellare eventuali effetti di modifica sulla circolazione idrica e sugli acquiferi presenti quale il richiamato acquifero in pressione delle Capore, che viene definito quale criticità. Si*



evidenzia che proprio questo aspetto previsionale è fondamentale per valutare gli impatti delle opere in sotterraneo, tanto che viene esplicitamente indicato nelle norme costruttive quale determinante nelle scelte progettuali. In particolare, per le tratte di galleria naturale caratterizzate da battenti idraulici elevati (> di 10 m) devono essere studiati e/o esplicitati gli accorgimenti costruttivi tesi a minimizzare il rischio di venute d'acqua durante lo scavo e gli eventuali conseguenti risentimenti sulla falda."

3. Principali interazioni fra acquiferi carbonatici carsici e lo scavo di gallerie

Gli acquiferi carsici rappresentano, nel mondo, una delle principali sedi delle risorse idriche sotterranee destinate ad uso antropico, essendo stimato che il 25% della popolazione mondiale trae alimentazione idropotabile da acquiferi carsici¹. In Italia, oltre la maggior parte dell'approvvigionamento idropotabile proviene da acquiferi carsici². Per questo motivo la tutela di queste risorse idriche sotterranee è di importanza strategica per garantire il mantenimento della possibilità di soddisfare la domanda idrica civile nel nostro paese. Sono numerosi i casi di opere in sotterraneo, la cui interazione ha creato più di un problema alla tutela quantitativa e qualitativa delle acque sotterranee, residenti e circolanti all'interno di acquiferi carsici. Fra queste opere può essere utile menzionarne due, che hanno interessato l'Appennino centro meridionale italiano, destando qualche problema alla conservazione di grandi serbatoi idrici sotterranei in acquiferi carbonatici carsici, e ponendo seriamente a rischio l'approvvigionamento idropotabile di comunità ampie ed importanti. Prima di entrare nello specifico di questi due casi, può essere utile richiamare alcuni principi di funzionamento degli acquiferi carsici, ma soprattutto sull'assetto idrogeologico del sottosuolo, troppo spesso trascurato, nella progettazione di grandi opere in sotterraneo, generalmente lineari, quali le gallerie in ammassi rocciosi carbonatici carsici. In primo luogo, occorre ricordare che all'interno degli ammassi rocciosi la circolazione idrica

¹ H. Fatchurohman, T. N. Adji, E. Haryono, and P. Wijayanti, "Baseflow index assessment and master recession curve analysis for karst water management in Kakap Spring, Gunung Sewu," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 148, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/148/1/012029.

² G. Sappa, S. Iacurto, F. Ferranti, and F. M. De Filippi, "Groundwater quality assessment in a karst coastal region of the West Aurunci Mountains (Central Italy)," *Geofluids*, vol. 2019, 2019, doi: 10.1155/2019/3261713.



sotterranea, avviene con un moto, avente tre componenti, di cui due, orizzontali, prevalenti generalmente rispetto alla terza, che è verticale. Si tratta, quindi, di un moto tridimensionale, la cui schematizzazione bidimensionale, attraverso la rappresentazione nel piano, quale è quella generalmente riportata nel profilo longitudinale di una galleria, introduce, troppo spesso, delle semplificazioni, che possono condurre a sottovalutare l'interazione fra lo scavo di un'opera lineare e la circolazione idrica sotterranea, che talvolta è ben più complessa, rispetto alla simmetria piana, cui la riconduce il profilo longitudinale.

In altre parole, la rappresentazione dell'assetto idrogeologico del sottosuolo, attraverso il profilo longitudinale di un'opera in sotterraneo, rischia molto spesso di trascurare gli effetti indotti dalla esecuzione dello scavo sul naturale moto di filtrazione nel sottosuolo, soprattutto nella componente ortogonale alla direzione di scavo. Infatti, l'esecuzione dello scavo comporta, inevitabilmente, un richiamo delle acque sotterranee verso la sezione di scavo, rappresentando questa un orizzonte a permeabilità infinita, che modifica il reticolo idrodinamico sotterraneo, preesistente allo scavo stesso. Risulta, per questo, necessario investigare, preliminarmente, anche quale sia l'assetto idrogeologico del sottosuolo in sezioni trasversali rispetto al tracciato dell'opera da scavare, al fine di configurare un modello idrogeologico tridimensionale dell'ammasso roccioso, interessato dell'opera stessa. Questo aspetto assume ancora maggiore importanza nella modellazione idrogeologica degli acquiferi carsici, nei quali la circolazione idrica sotterranea avviene attraverso canali, fratture e, talvolta, porosità, che introducono, in qualunque tipo di schematizzazione, fattori di ulteriore complessità. È noto, infatti, che in questi acquiferi le principali portate transitino nei canali e nelle cavità sotterranee che i processi carsici hanno realizzato nei tempi geologici, ampliando progressivamente alcune delle fratture, precedentemente formate. Per questo motivo, questa articolata idrografia sotterranea determina condizioni idrogeologiche, tali per cui la circolazione idrica sotterranea, ed in particolare le potenziali interazioni con lo scavo di opere in sotterraneo possono essere governate anche semplicemente dalle portate, senza che si abbia la presenza di carichi piezometrici considerevoli. Allo stesso tempo, la rilevazione, puntuale, anche di carichi idraulici elevati può non corrispondere alla potenziale circolazione di portate cospicue. Perciò è di massima importanza, nello studio idrogeologico di queste formazioni, distinguere la natura delle acque sotterranee, che



circolano al loro interno, attraverso la loro caratterizzazione geochemica, più ancora che cercare di definire un campo piezometrico, rappresentativo di una continuità idraulica sotterranea che, talvolta, è ben difficile, se non impossibile ricostruire. Allo stesso tempo la letteratura tecnico scientifica è ricca di casi, anche recenti, nei quali le proprietà geologiche che caratterizzano, molto spesso, l'assetto idrogeologico degli acquiferi carsici, comporta elementi di complessità, anche notevole, del funzionamento idraulico di questi acquiferi. Infatti, non è da sottovalutare che, molto spesso, la successione di eventi tettonici, che hanno interessato determinate aree geografiche, sono state la premessa, o meglio, i processi geologici propedeutici allo sviluppo del carsismo e della rete di canali e cavità ipogee che favoriscono la circolazione preferenziale delle acque sotterranee. Tuttavia, l'intensa attività tettonica, che, come si vedrà, caratterizza anche l'area del presente progetto, comporta la presenza di numerose e complesse zone fagliate, interessate in alcuni casi da fenomeni compressivi, in altri casi da sollecitazioni di trazione, il cui risultato è che la distribuzione della conducibilità idraulica è tutt'altro che omogenea ma, soprattutto, difficile, talvolta impossibile, da ricostruire con ragionevole attendibilità. Talora, infatti, la dinamica compressiva può portare alla creazione di vere e proprie barriere che, tecnicamente, possono essere considerate impermeabili. In altri casi, invece, la stessa tettonica convergente può portare alla creazione di zone di ammasso roccioso, il cui accentuato stato di fratturazione può comportare la creazione di fasce ad elevata conducibilità idraulica, che favoriscono il rapido passaggio di portate cospicue di acqua sotterranea. Allo stesso tempo, fenomeni di tettonica divergente, che in prima approssimazione, sembrano costituire il processo geologico che, più frequentemente, determina la creazione di vie preferenziali di scorrimento delle acque in sotterraneo, ed anche il successivo sviluppo di processi carsici, non sempre svolgono solo questa funzione. Infatti, può accadere che, nei tempi geologici, la circolazione idrica sotterranea, e, ancora di più, la percolazione di acque meteoriche dalla superficie, comporti il progressivo riempimento delle fessure aperte, con materiale alloctono, che, progressivamente, le satura, determinando la costituzione di vere e proprie barriere impermeabili³. Nel tentativo di giungere a definire, nel modo

³ H.R. Zarej, A. Uromeihy, M. Sharifzadeh - Evaluation of high local groundwater inflow to a rock tunnel by characterization of geological features - Tunnelling and Underground Space Technology - 26 (2011) pg. 363-373



più compiuto possibile, l'assetto idrogeologico del sottosuolo al fine di valutare le potenziali interferenze con gli acquiferi, affioranti nell'area di progetto, può essere utile l'analisi della qualità delle acque sotterranee, intesa come composizione geochemica, ed anche isotopica, estesa ad un'area più vasta, rispetto alla semplice fascia di interesse geologico tecnico e geomeccanico, interessata dall'interazione fisica con l'esecuzione dello scavo. Infatti, la composizione chimica delle acque sotterranee, in termini di costituenti maggiori, ma anche di minori e in tracce, e soprattutto le diverse proporzioni fra le concentrazioni di questi, possono, in molti casi, essere dirimenti nella soluzione di alcune ambiguità lasciate, inevitabilmente, dalla ricostruzione della circolazione idrica sotterranea, su base puramente fisica. In uno specifico paragrafo del presente rapporto verranno richiamati alcuni principi di un approccio idro-geochemico per la caratterizzazione delle acque sotterranee. In questa sede, è apparso utile anticiparne il significato, prima di descrivere brevemente due casi di esecuzione di gallerie in acquiferi carsici nell'Italia centro meridionale, che possono aiutare a comprendere la complessità dello scenario idrogeologico, nel quale si opera in questi acquiferi, dove pure tali opere sono comunemente realizzate, pur con debiti accorgimenti.

Alla metà degli anni 80 del secolo scorso, a seguito del terremoto dell'Irpinia fu decisa la progettazione e realizzazione di un'importante galleria idraulica della lunghezza di circa 10 km che, attraversando il massiccio appenninico che divide l'Irpinia dalla Basilicata, avrebbe dovuto rappresentare il raddoppio della storica galleria idraulica Pavoncelli, realizzata negli anni 20 del secolo scorso, e che costituisce il primo tratto, in sotterraneo, del canale principale dell'Acquedotto Pugliese proveniente dalla captazione della sorgente Sanità a Caposele, in provincia di Avellino. Lo scavo della galleria fu abbandonato, precipitosamente, poco oltre la progressiva di circa 800 m, per eccessive venute d'acqua. Le infiltrazioni d'acqua cominciarono con dei piccoli stillicidi, per raggiungere una portata complessiva, in galleria, del valore di 700 l/s, il suo allagamento ed il rapido abbandono dello scavo. Parallelamente alla crescente infiltrazione delle acque nello scavo, si verificò il progressivo depauperamento della portata erogata dalla sorgente Sanità, già utilizzata per l'alimentazione del canale principale esistente dell'Acquedotto Pugliese. Senza entrare, in questa sede, nello specifico delle cause che hanno determinato l'insuccesso di questo scavo, rimasto poi abbandonato per circa 20 anni, prima di essere ripreso, con tecnologie e una



metodologia diversa rispetto al progetto originario, giova ricordare che a queste ingenti venute d'acqua, non corrispondeva un carico idraulico considerevole, che non superò mai i 6 m, rispetto al piano di calpestio dello scavo. In altre parole, lo scavo aveva intercettato un importante reticolo idrografico sotterraneo, che costituisce una caratteristica propria degli acquiferi carsici, peraltro segnalato, in una pubblicazione degli anni 20, redatta a seguito della originale Galleria Pavoncelli⁴. Ciò per dire che non è necessario avere dei battenti idrici significativi per avere dei problemi di scavo in acquiferi carsici, ove non adeguatamente caratterizzati e preventivati dal punto di vista idrogeologico. Allo stesso tempo può essere utile ricordare che negli anni 70 del secolo scorso lo scavo della galleria autostradale a doppia canna, che attraversando il Gran Sasso, importante acquifero carsico dell'Appennino Abruzzese, ha consentito il collegamento fra la costa tirrenica e quella adriatica, è potuto avvenire nonostante, in sede previsionale siano stati preventivati, e poi siano stati riscontrati in fase esecutiva battenti idrici di oltre 70 m. La lunghezza della galleria autostradale del Gran Sasso è 10.175 km in via destra e 10.121 km in via sinistra; la quota di imbocco sud-occidentale in agro di Assergi è di 958 m s.l.m., quella nord-orientale in località Casale San Nicola è di 889 m, la quota massima raggiunta dal traforo è 973 m (alla progressiva 5.333 km a partire dall'imbocco di Assergi). Il massimo spessore della roccia, presente in corrispondenza del monte Aquila, è pari 1.380 m.

Al termine di questi brevi cenni sulla complessità dell'interazione possibile fra acquiferi carsici e scavo di gallerie appare opportuno concludere che non sempre è possibile giungere alla definizione di un assetto idrogeologico punto per punto, anche nelle potenziali interferenze dello scavo con gli acquiferi presenti nell'area di progetto, mentre è sempre consigliabile, comunque, procedere con un monitoraggio in continuo dello scavo, in modo da prevenire, laddove non sia stato possibile in fase progettuale, interferenze che possano danneggiare in modo irrimediabile gli acquiferi attraversati. Al fine di fornire le integrazioni richieste si è pertanto ritenuto utile procedere da una visione di livello regionale distinguendo le unità idrogeologiche presenti nell'area interessata dal progetto per poi entrare nel dettaglio dell'articolazione dei sistemi

⁴ Engineering (1928)



idrogeologici e degli acquiferi potenzialmente interferenti con l'opera sotterraneo un progetto.

4. Inquadramento geologico ed idrogeologico dell'area di progetto

L'assetto geologico ed idrogeologico dell'area di interesse è particolarmente complesso, come è stato in generale accennato nei paragrafi precedenti, e come nel dettaglio è stato descritto nella Relazione Geologica del Progetto Definitivo⁵. Nel seguito, nel rinvia alla Appendice il dettaglio della descrizione di tale assetto, come emerge da alcuni documenti ufficiali, sono riportati alcune estratti di queste, ritenuti importanti ai fini delle considerazioni integrative esposte in questa sede.

4.1 Inquadramento idrogeologico della sorgente Le Capore

La sorgente le Capore⁶, della portata di 4-5 m³/s, sgorga a q. 248 m s.l.m. nell'alveo del T. Farfa, a valle della via Salaria, da un piccolo lembo di scaglia rossa ricoperto da pochi metri di scaglia cinerea; questi sedimenti affiorano al di sotto di un'estesa copertura costituita dal complesso pleistocenico limoso-argilloso con intercalazioni conglomeratiche indicato nella legenda con la sigla qc. La sorgente non rientra nei comuni schemi idrogeologici delle scaturigini di notevole portata, che generalmente sono classificabili come sorgenti di trabocco. Infatti, il bacino idrico sotterraneo della sorgente Le Capore è contenuto nella scaglia rossa; esso si estende verso N fin quasi alla piana di Rieti, mentre verso E giunge probabilmente fino alla valle del F. Salto, comprendendo il gruppo del M. Navegna - M. Cervia. Nella zona circostante la sorgente, la scaglia rossa permeabile è, ovunque ricoperta dalla scaglia cinerea impermeabile ed inoltre la linea di contatto tra scaglia rossa e scaglia cinerea si mantiene sempre al di sopra di q. 400-450; solo nel piccolo affioramento del T. Farfa la scaglia rossa affiora ad una quota inferiore, cioè a 248 m s.l.m. La sorgente può quindi considerarsi, in un certo senso, come una sorgente "artesiani", posta in corrispondenza di una

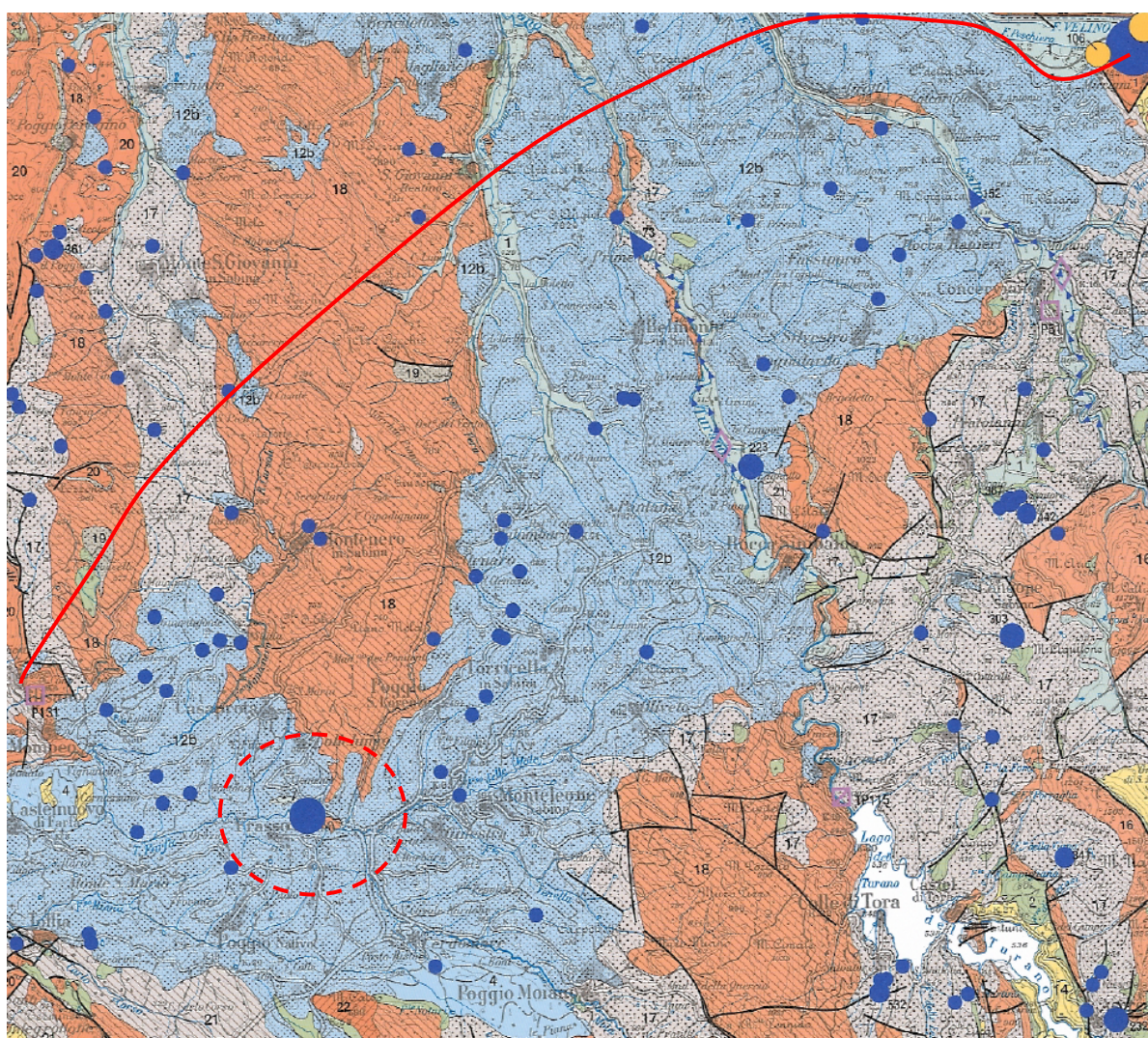
⁵ Relazione Geologica (A194PD R002 2)

⁶ Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100 000



discontinuità della copertura impermeabile sovrastante la formazione permeabile contenente l'acqua che alimenta la sorgente.

Allo stesso tempo un altro studio concludeva che "Essendo la permeabilità delle formazioni affioranti relativamente bassa, si ritiene che la circolazione profonda avvenga prevalentemente a livello della "Scaglia Rossa" come localmente è stato evidenziato dai sondaggi effettuati dall'ACEA nell'area di emergenza delle Capore."⁷



⁷ Capelli, G. et alii (1987) – Modalità di ricarica e assetto strutturale dell'acquifero delle sorgenti Capore-S. Angelo (Monti Lucretili-Sabina Meridionale), GEOLOGICA ROM., Vol. 26, pp. 419-447 – vedi Appendice



- 15

COMPLESSO DEI FLYSCH MARNOSO-ARGILLÒSI - potenzialità acquifera bassissima
 Successioni generalmente caotiche di argille e marne con intercalazioni di arenarie e calcari marnosi (*CRETACICO SUP. - OLIGOCENE*) affioranti prevalentemente nei Monti della Tolfa e nella Valle Latina. Spessori variabili fino ad oltre 1000 m. Il complesso non presenta una circolazione idrica sotterranea significativa.
- 16

COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO DI PIATTAFORMA - potenzialità acquifera medio alta
 Successione di calcari marnosi, marne e calcareniti (*CRETACICO SUP. - MIOCENE*) con spessore fino a centinaia di metri. Gli affioramenti dei litotipi calcarei contribuiscono alla ricarica degli acquiferi carbonatici regionali del dominio di piattaforma. I litotipi marnosi riducono la capacità di ricarica e sostengono falde di modesta entità di interesse locale.
- 17

COMPLESSO CALCAREO-MARNOSO DI BACINO - potenzialità acquifera medio bassa
 Successione di marne e calcari marnosi (*EOCENE - MIOCENE*). Il complesso comprende le formazioni calcareo-marnose che chiudono sia la successione umbro-marchigiana che la successione laziale abruzzese. Spessore massimo di alcune centinaia di metri. L'elavata componente marnosa attribuisce a questo complesso, dove circonda con continuità le strutture carbonatiche del dominio pelagico, il ruolo di chiusura idraulica nei confronti degli acquiferi regionali.
- 18

COMPLESSO DELLA SCAGLIA CALCAREA - potenzialità acquifera medio alta
 Calcari micritici e calcari marnosi bianchi e rosa stratificati con intercalazioni detritico-organogene (*CRETACICO - EOCENE*). Lo spessore totale è compreso fra 200 e 500 m. Gli affioramenti di questo complesso, dove intensamente fratturati e/o carsificati, contribuiscono alla ricarica degli acquiferi carbonatici del dominio pelagico e di transizione, dove prevale la componente marnosa e/o un'intensa laminazione, l'infiltrazione efficace si riduce notevolmente.
- 19

COMPLESSO DELLE MARNE A FUCOIDI - potenzialità acquifera bassa
 Calcari marnosi e marne calcaree con selce, nella parte superiore; marne e marne argillose nella parte inferiore (*CRETACICO INF. - MEDIO*). Spessore variabile da 50 a 100 m. Dove mantiene una sufficiente continuità stratigrafica, il complesso costituisce un acquiclud fra la circolazione idrica della Scaglia calcarea da quella della Maiolica.
- 20

COMPLESSO DELLA MAIOLICA - potenzialità acquifera alta
 Calcari micritici bianchi, selciferi, ben stratificati (*GIURASSICO - CRETACICO INF.*); spessore variabile da alcune decine di metri a 500 m. Gli affioramenti di questo complesso costituiscono l'area di alimentazione di acquiferi basali del dominio pelagico e di transizione, la cui circolazione idrica profonda coinvolge anche il Complesso della corniola e del calcare massiccio.

Figura 4.1.1 - Stralcio della Carta dei Complessi Idrogeologici della Regione Lazio, foglio 1 (scala 1:100.000) (Capelli et al., 2012). In rosso il tracciato della nuova condotta del Peschiera.

Alla luce degli stralci fin qui riportati, il cui dettaglio bibliografico è descritto in Appendice , e della ricostruzione geologica ed idrogeologica contenuta nell'elaborato di progetto citato⁵, sono state redatte le Figura 4.1.2 e Figura 4.1.3 con un inquadramento geologico ed idrogeologico, di sintesi dell'area di progetto.

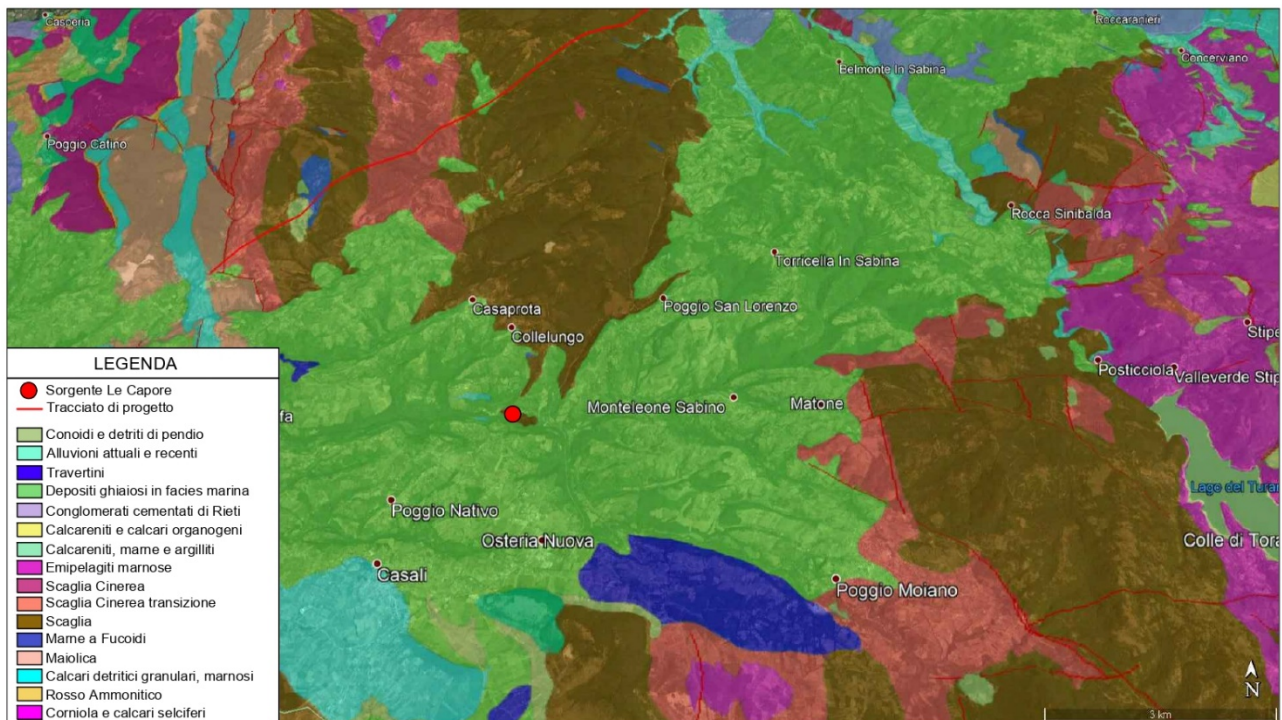
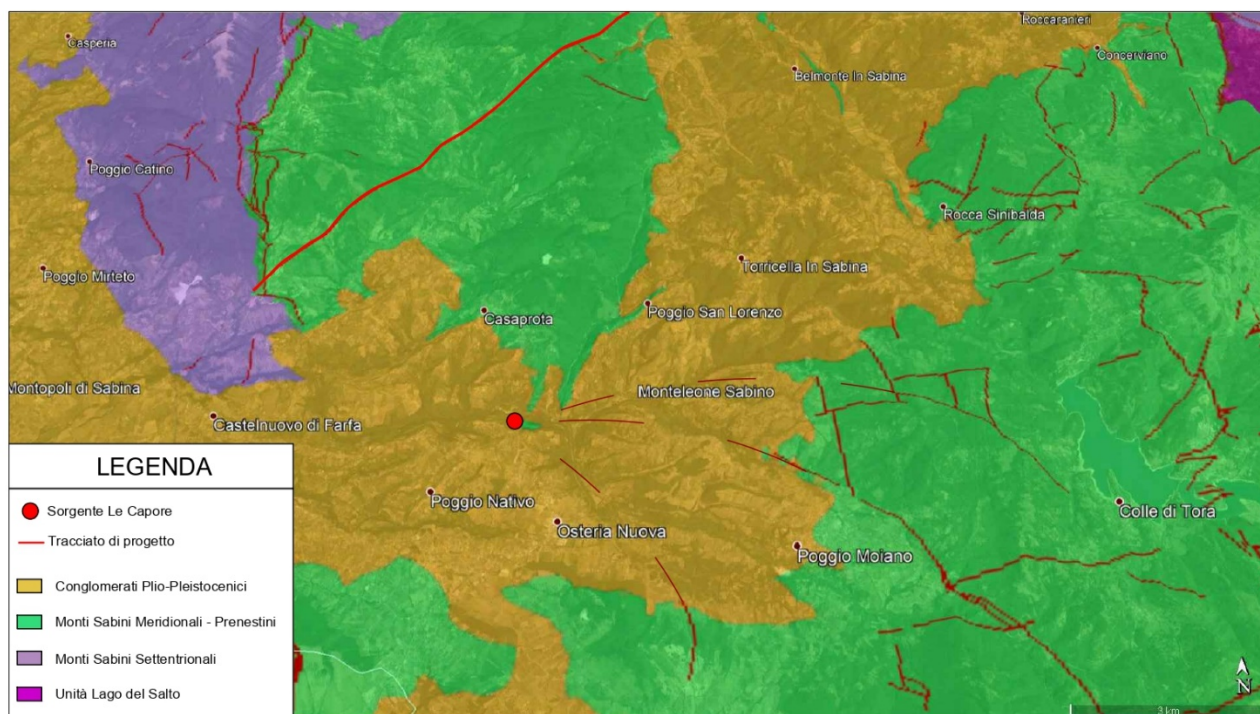


Figura 4.1.2 - Inquadramento Geologico area di interesse con ubicazione Sorgente delle Capore



In particolare, è opportuno evidenziare che rispetto a tutta la letteratura di riferimento, richiamata in Appendice, la ricostruzione di progetto colloca l'acquifero di alimentazione della Sorgente Le Capore nella formazione della Maiolica, separato dall'orizzonte delle Marne a Fucoidi, dalla circolazione idrica sotterranea, più superficiale che transita nella Scaglia Rossa. Diversamente, la letteratura citata aveva individuato in quest'ultima formazione la sede della falda di alimentazione della Sorgente Le Capore. Giova ricordare che l'assetto geologico che ha consentito ai redattori dello studio idrogeologico di progetto, tale scelta è supportata, oltre che dall'esame delle informazioni tratte dalle indagini puntuali, eseguite in fase di progetto, ed in precedenza⁸, anche dall'assetto geologico dell'area di studio, restituito dalla Carta Geologica di Italia, in scala 1:50.000⁹, alla cui redazione ha partecipato uno degli autori degli studi idrogeologici, precedenti, che individuava nella Formazione della Scaglia, la sede di circolazione delle acque sotterranee, alimentanti la Sorgente Le Capore. Sembra, quindi, di essere in presenza della evoluzione del modello idrogeologico di riferimento dell'area di interesse, cui le indagini descritte nel seguito hanno fornito una sostanziale conferma.



⁸ Tesi G. Faraglia "Progettazione ed analisi della realizzazione di un'opera di captazione in località S. Giovanni Reatino" (2003/2004)

⁹ Foglio 357 Cittaducale Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50 000



Figura 4.1.3 - Inquadramento complessi idrogeologici area di interesse con ubicazione Sorgente delle Capore. In tratteggio rosso le vie preferenziali di deflusso delle acque sotterranee verso la sorgente, per effetto dei lineamenti tettonici.

5. Tecniche di analisi geochimica ed isotopica applicate agli acquiferi carsici

L'esame della abbondante bibliografia geologica ed idrogeologica che ha integrato la vasta raccolta di dati, elaborati ed interpretati, relativamente all'area di progetto ha delineato un assetto geologico ed idrogeologico di riferimento decisamente complesso, che sembra non aver consentito di dirimere completamente, una serie di incertezze, relative alle modalità di circolazione delle acque sotterranee e di conseguenza alle possibili interferenze dello scavo in progetto con gli acquiferi, anche importanti, che affiorano nell'area di studio. Per questo motivo, al fine di contribuire all'affinamento delle conoscenze di natura idrogeologica dell'area di interesse è stato ritenuto necessario, per la redazione delle presenti integrazioni, l'applicazione di tecniche di analisi geochimica ed isotopica che, in molti casi, sono in grado di distinguere la natura ed il funzionamento degli acquiferi, consentendo di acquisire informazioni aggiuntive, che la semplice caratterizzazione fisica della circolazione idrica sotterranea non è in grado di fornire. Come è noto, infatti, la composizione chimica delle acque sotterranee riflette la natura delle formazioni rocciose attraversate, ed è anche condizionata dai tempi di residenza di queste nel sottosuolo: tempi di residenza che sono funzione, principalmente, della lunghezza dei percorsi, nonché della conducibilità idraulica. Nella zona satura, infatti, una serie di processi chimico-fisici intervengono a modificare la composizione chimica dell'acqua sotterranea: si può in generale parlare di effetti indotti dalla interazione acqua-roccia. Infatti, le caratteristiche chimiche assunte, di momento in momento, dall'acqua sotterranea dipendono essenzialmente dalla natura litologica delle formazioni attraversate dall'acqua. In generale, ancora, si può affermare che esiste una relazione tra intensità del fenomeno di interazione e tempi di permanenza dell'acqua nel sottosuolo. Occorre, comunque, precisare che si tratta di fenomeni molto complessi dal punto di vista chimico-fisico, che dipendono anche dalla capacità reattiva dell'acqua, che a sua volta dipende da una serie di caratteristiche chimiche e fisiche (composizione iniziale, temperatura, pH, potenziale di ossido-riduzione, ecc.)¹⁰. Come si vedrà nel seguito l'applicazione di queste tecniche di analisi, applicate a campioni di

¹⁰ L. Tulipano – G. Sappa – Lezioni di Idrogeologia Applicata (2010)



acqua sotterranea, prelevati a novembre 2020, ed eseguite presso i Laboratori di Elabori S.p.A., società del gruppo ACEA, ha condotto ad ottenere risultati che hanno contribuito ad una migliore definizione dell'assetto idrogeologico dell'area di progetto. Altrettanto può dirsi dell'applicazione di tecniche di analisi isotopica, che in questo caso hanno svolto un ruolo di riscontro. Infatti, la presenza degli isotopi stabili ^2H e ^{18}O nell'acqua è condizionata dai processi meteorologici che conferiscono ad essa un'impronta caratteristica della propria origine. Tale impronta risulta essere di fondamentale importanza per definire l'origine delle acque sotterranee. Infatti, l'analisi della composizione isotopica, in termini di contenuto in ^2H e ^{18}O , consente di avere informazioni circa l'origine delle acque naturali.

I fenomeni che concorrono a modificare la composizione isotopica di questi due elementi nell'acqua sono per la massima parte governati dalle variazioni di temperatura e di umidità relativa, che si verificano nell'atmosfera. Nel rinviare ad una bibliografia scientifica, aggiornata e di dettaglio¹¹, la prospettazione delle applicazioni delle analisi del connotato isotopico, in termini di ^2H e ^{18}O , alla caratterizzazione delle acque sotterranee, appare interessante richiamare in questa sede che ai fini del presente studio queste tecniche di analisi sono state finalizzate a distinguere l'origine, in termini di aree e quote di infiltrazione, delle diverse acque campionate, nonché come parte del più articolato *approccio multitracing*, che è stato adottato per distinguere la natura delle acque sotterranee investigate, e la loro potenziale interazione con lo scavo in progetto. L'*approccio multitracing*, prevede, come è noto, che vengano considerati una serie di traccianti ambientali¹², in questo caso i costituenti maggiori delle acque sotterranee (Ca, Mg, Na, K, Cl, SO_4 , HCO_3 e CO_3) ed anche gli isotopi stabili dell'acqua ^2H e ^{18}O , per valutarne, comparativamente, le modificazioni nello spazio e nel tempo e trarre indicazioni, coerenti, sulla natura delle acque sotterranee investigate e sulle modalità di circolazione di esse nel sottosuolo. In altre parole, l'impiego di più traccianti ambientali, geochimici ed isotopici, la cui presenza nelle acque naturali, in questo caso sotterranee, è sostanzialmente indipendente, per essere utile, deve fornire indicazioni funzionali alla

¹¹ S. Jasechko, "Global Isotope Hydrogeology—Review," *Rev. Geophys.*, vol. 57, no. 3, pp. 835–965, 2019, doi: 10.1029/2018RG000627.

¹² *Tracciante ambientale: qualunque parametro fisico chimico, appartenente naturalmente, alle acque sotterranee, che possa fornire, attraverso la propria variazione nello spazio e/o nel tempo, informazioni sul funzionamento di un sistema idrogeologico.* (D. Fidelibus, 1998)



definizione di un modello idrogeologico unitario. Allo stesso tempo tali indicazioni devono essere confrontate con le informazioni fisiche disponibili. In questa logica è stata applicata tale tecnica al presente studio, consentendo di giungere a risultati che appaiono di un certo interesse ai fini della distinzione delle diverse acque sotterranee potenzialmente interferenti con l'opera in progetto.

6. Programma di indagini integrative

La campagna di monitoraggio di novembre 2020 ha individuato alcuni punti di indagine, in aggiunta a quelli già presi in considerazione da ACEA, con lo scopo di prelevare campioni di acqua (50 ml) da sottoporre ad analisi geochimiche ed isotopiche. Nella Tabella 6.1 vengono riportati i punti di prelievo considerati nella campagna di monitoraggio di novembre 2020.

Data di Campionamento	Denominazione Punto	Tipologia	N[m] ED50-UTM33N	E[m] ED50-UTM33N	Profondità[m]	Quota [m s.l.m.]	Soggiacenza [m]	T [°C]	EC [μ s/cm]	Eh [mV]	pH	Analisi Geochimiche	Analisi Isotopiche
17-11-20	Pozzo Capore NC1	Pozzo di monitoraggio	4678119.04	319405.71		255							x
17-11-20	Pozzo Capore NC3	Pozzo di monitoraggio	4678097.04	319444.71		255							x
17-11-20	S4	Pozzo di monitoraggio	4691798.00	329429.90	40	405	8.1					x	x
17-11-20	S6	Pozzo di monitoraggio	4690128.00	326305.90	40	413	11.8					x	x
20-11-20	S9	Pozzo di monitoraggio	4688439.10	324190.90	47	455	7.97	14.7	542	241	7.2	x	x
17-11-20	S9(2)	Pozzo di monitoraggio	4690202.00	323425.00	70	419	11.5					x	x
20-11-20	S11(2)	Pozzo di monitoraggio	4685383.00	318032.00	250	518	23.9	13	824	285.6	7.12	x	x
20-11-20	S16(2)	Pozzo di monitoraggio	4681341.00	314273.00	65	428	36.05	12.32	1160	92.9	6.97	x	x
12-11-20	Capore	Sorgente	4678075.04	319520.70	-	255							x
17-11-20	Mompeo	Sorgente	4680328.10	315727.60	-	353						x	x
20-11-20	Pantane Emergenza	Sorgente	4682008.00	323670.00	-	546		12.51	719	193.9	6.83	x	x
20-11-20	Pantane (alveo)	Sorgente	4682008.00	323670.00	-	546		10.7	582	118	7.5	x	x
27-11-20	Madonna delle Querce (Poggio Moiano)	Sorgente	4674655.00	326382.00	-	640						x	x
27-11-20	Laghetto	Sorgente	4684476.00	328294.00	-							x	x
27-11-20	Cottorella	Sorgente	4695461.63	324133.15	390								x
20-11-20	Casale (alveo)	Fontanile	4686459.00	318345.00	-	467						x	x



20-11-20	Collelungo	Fontanile	4679311.01	319664.79	-	503		14	710	151	6.9	x	x
20-11-20	Casale (fontanile)	Fontanile	4686459.00	318345.00	-	471		12.6	509	286	7.2	x	x
12-11-20	San Giovanni Reatino V - SGRV	Fontanile	4688940.00	322703.00	100	460							
12-11-20	San Giovanni Reatino N - SGRN	Fontanile	4689672.00	322118.00	>200	460							
27-11-20	San Giovanni Reatino - SGR	Fontanile	4690444.00	323216.00	-	419						x	x
27-11-20	Maglianell o alto	Fontanile	4691200.00	321912.00	-		705					x	x
27-11-20	Ornaro	Pozzo idropotabile	4684634.78	322664.55	-							x	x

Tabella 6.1 - Punti di monitoraggio campagna novembre 2020

La Tabella 6.1 mostra i punti considerati nella campagna di monitoraggio di novembre 2020, includendo anche l'indicazione delle analisi, cui i campioni di acqua sono stati sottoposti. Non sono stati prelevati campioni di acqua nei punti Pozzo Capore NC1, Pozzo Capore NC3 e la Sorgente Le Capore per essere sottoposti alle analisi geochimiche, in quanto risultano già presenti nei precedenti monitoraggi svolti da ACEA. Viene riportata in Figura 6.1 la localizzazione dei punti di monitoraggio considerati durante la campagna di novembre 2020, che hanno condotto al prelievo di 23 campioni di acqua sotterranea, sui quali sono state condotte 17 analisi geochimiche per la determinazione dei costituenti maggiori e 23 analisi isotopiche per la determinazione del connotato isotopico in termini di ^2H e ^{18}O .

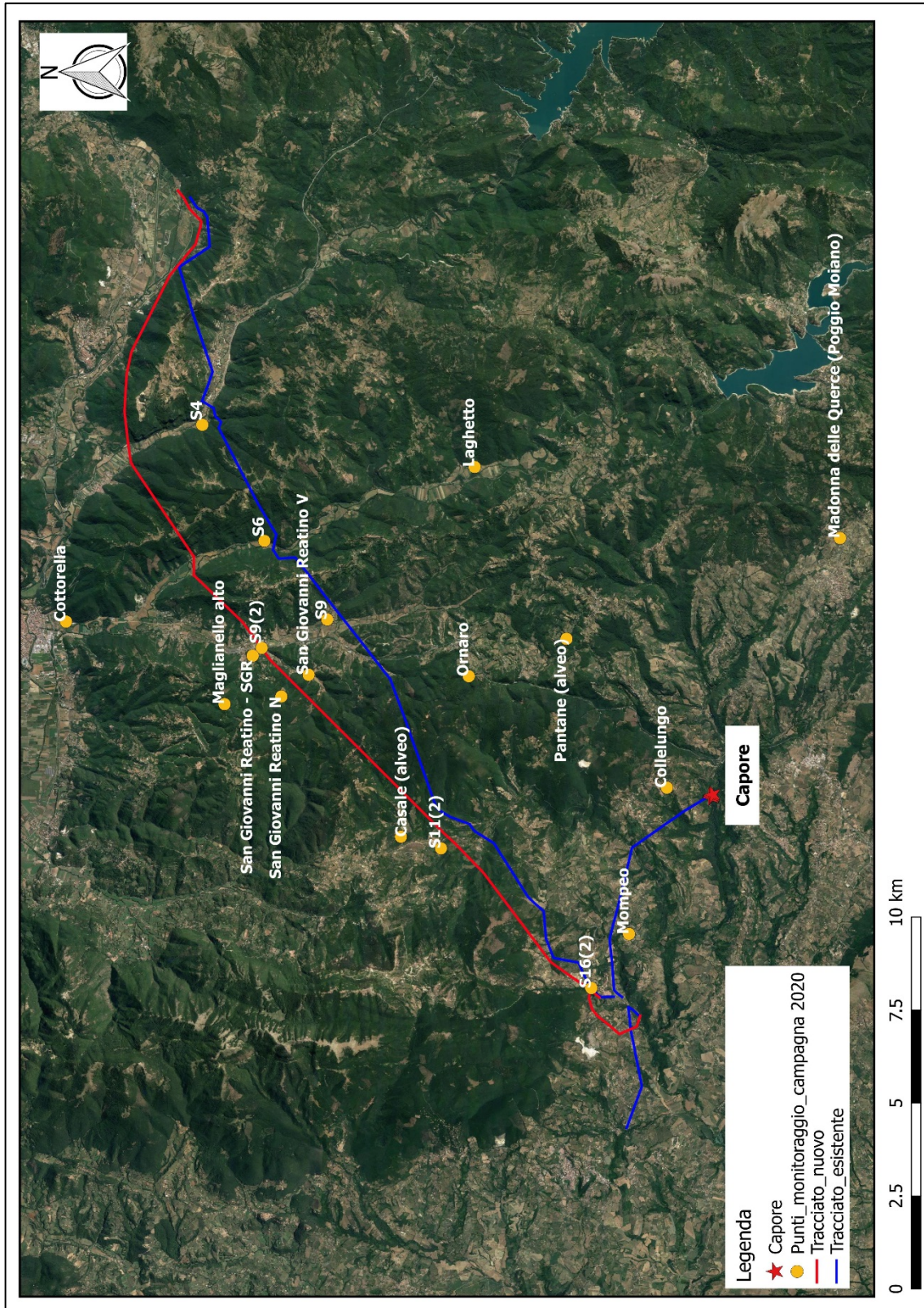


Figura 6.1- Localizzazione punti di monitoraggio campagna di novembre 2020



7. Elaborazioni

7.1 Analisi Geochimiche

Questo paragrafo presenta i risultati e le elaborazioni delle analisi geochimiche eseguite per la campagna di monitoraggio di novembre 2020. Unitamente a tali risultati, sono riportate alcune elaborazioni fatte sulle analisi geochimiche delle precedenti campagne di monitoraggio eseguite da ACEA, in quanto ritenute utili, come supporto al presente studio, ma anche per verificare la omogeneità dei dati considerati, benché riferiti a campagne di indagine e di analisi differenti. Infatti, sono stati considerati i risultati delle analisi geochimiche dei punti di monitoraggio intorno alla sorgente delle Capore, forniti da ACEA, come confronto con i risultati delle analisi geochimiche dei punti di monitoraggio del presente report tecnico-scientifico.

Come anticipato nel paragrafo 6, non tutti i campioni prelevati durante la campagna di monitoraggio di novembre 2020 sono stati sottoposti ad analisi geochimiche.

Le analisi geochimiche sono state eseguite da Laboratorio di Acea Elabori SpA. Si riportano nella Tabella 7.1 i risultati degli elementi maggiori, anioni e cationi, per i punti di monitoraggio considerati.

Data Campionamento	Punto	Cationi				Anioni		
		Potassio (K ⁺)	Sodio (Na ⁺)	Magnesio (Mg ²⁺)	Calcio (Ca ²⁺)	Solfati (SO ₄ ²⁻)	Cloruri (Cl ⁻)	Bicarbonati (HCO ₃ ³⁻)
		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
17-11-20	Mompeo	1.44	13.5	19.4	131	28.3	17.9	483.0
17-11-20	S4	1.6	4.9	2.35	83.4	4.86	7.61	287.0
17-11-20	S6	1.26	5.95	10.6	91	6.19	8.33	336.0
17-11-20	S9 (2)	1.02	3.14	1.5	88.4	1.7	6.65	294.0
20-11-20	S16 (2)	8.61	102	25.6	133	146	45.5	616.0
20-11-20	S11 (2)	2.31	49	10.5	124	7.41	54.1	480.0
20-11-20	Pantane Emergenza	0.23	8.84	4.3	148	18.2	14.6	496.0
20-11-20	S9	2.35	10.4	5.45	97.5	4.16	12.6	336.0
20-11-20	Casale (alveo)	2.93	6.09	2.39	102	5.69	11.8	326.0
20-11-20	Collelungo	1.85	7.08	2.21	144	14.7	13.5	454.0
20-11-20	Casale (fontanile)	0.71	4.21	1.46	104	3.14	9.01	334.0
20-11-20	Pantane (alveo)	0.88	9.62	3.64	132	15.2	17.1	416.0



27-11-20	SGR Fontanile	0.59	4.09	2.65	93.4	7.03	7.17	301.0
27-11-20	Maglianello alto	0.41	4.9	6.37	130	3.88	9.4	431.0
27-11-20	Poggio Moiano	0.94	3.71	1.44	78.8	2.43	7.89	247.0
27-11-20	Laghetto	0.89	3.43	16.9	86	4.96	5.5	357.0
27-11-20	Ornaro	0.54	4.23	1.18	97.7	1.86	8.22	313.0

Tabella 7.1 – Risultati Elementi Maggiori punti di monitoraggio campagna novembre 2020

I risultati riportati in Tabella 7.1 sono stati elaborati con i principali diagrammi geochimici, Chebotarev e Schoeller. A tal fine in Tabella 7.2, sono riportati i risultati delle concentrazioni degli elementi maggiori espresse in meq/l.

Punto	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
Mompeo	6.537	1.595	0.587	0.037	0.505	0.589	7.916
S4	4.162	0.193	0.213	0.041	0.215	0.101	4.704
S6	4.541	0.872	0.259	0.032	0.235	0.129	5.507
S9 (2)	4.411	0.123	0.137	0.026	0.188	0.035	4.819
S16 (2)	6.637	2.105	4.435	0.220	1.283	3.040	10.096
S11(2)	6.188	0.864	2.131	0.059	1.526	0.154	7.867
Pantane Emergenza	7.385	0.354	0.384	0.006	0.412	0.379	8.129
S9	4.865	0.448	0.452	0.060	0.355	0.087	5.507
Casale (alveo)	5.090	0.197	0.265	0.075	0.333	0.118	5.343
Collelungo	7.186	0.182	0.308	0.047	0.381	0.306	7.441
Casale (fontanile)	5.190	0.120	0.183	0.018	0.254	0.065	5.474
Pantane (alveo)	6.587	0.299	0.418	0.023	0.482	0.316	6.818
SGR Fontanile	4.661	0.218	0.178	0.015	0.202	0.146	4.933
Maglianello alto	6.487	0.524	0.213	0.010	0.265	0.081	7.064
Poggio Moiano	3.932	0.118	0.161	0.024	0.222	0.051	4.048
Laghetto	4.291	1.390	0.149	0.023	0.155	0.103	5.851
Ornaro	4.875	0.097	0.184	0.014	0.232	0.039	5.130

Tabella 7.2 – Concentrazioni degli elementi maggiori espresse in meq/l

In Figura 7.1 - a viene rappresentato il diagramma di Chebotarev, dove è possibile verificare che i punti si concentrano nel quarto quadrante, indicando la "facies bicarbonato calcico", di tutte le acque analizzate. In particolare, è possibile riscontrare un comportamento anomalo per i campioni S11(2) e S16 che infatti si distaccano molto rispetto agli altri punti (Figura 7.1 - b), con valori di concentrazioni più alti per i Cloruri e il Sodio. Ai fini del presente studio questa caratterizzazione appare poco rilevante, in quanto le acque prelevate nei fori, S11(2), 250 m¹³, e S16 (2), 65 m, presentano una

¹³ Allegato 1 (A194 PD R002 0) della Relazione Geologica



composizione chimica che sembra possa essere il frutto di effetti locali, e pertanto irrilevante ai fini delle presenti considerazioni.

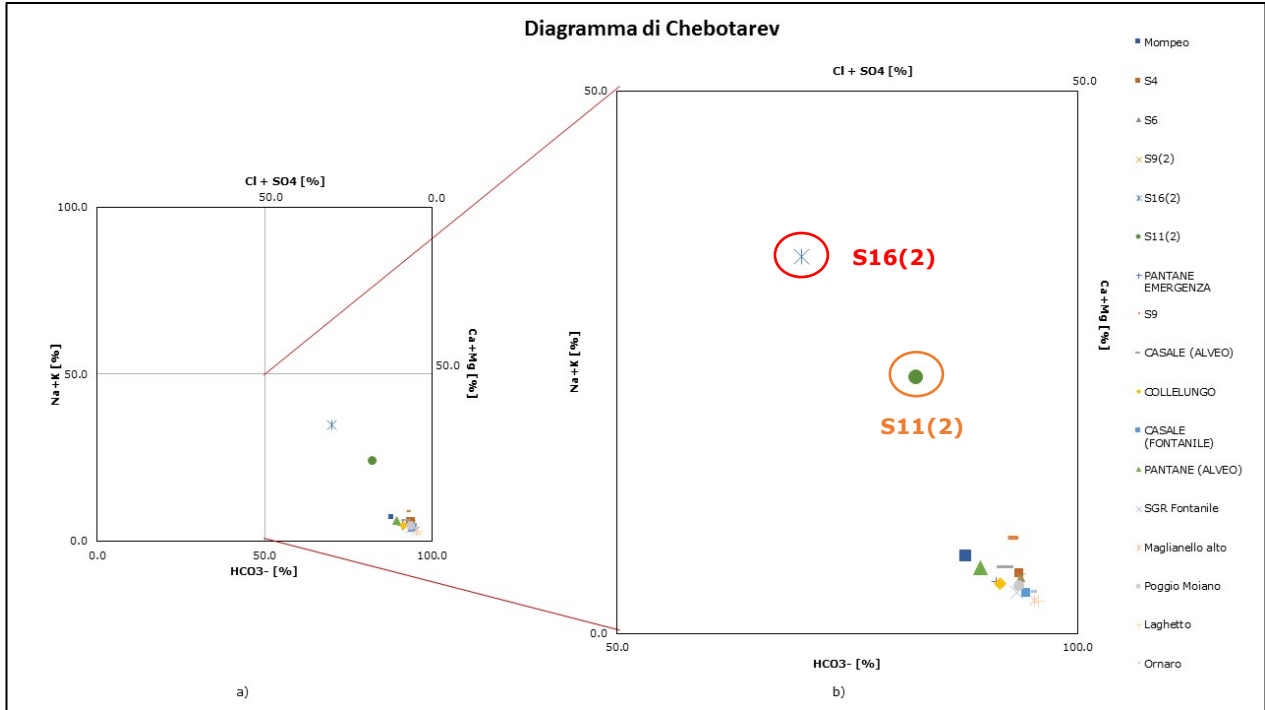


Figura 7.1 – Diagramma di Chebotarev (a) e zoom diagramma di Chebotarev (b)

Tale comportamento è, infatti, confermato dal diagramma di Schoeller in Figura 7.2, dove i campioni S11(2) e S16 (2) risultano avere caratteristiche differenti rispetto agli altri campioni, posizionandosi nella parte più alta del grafico.

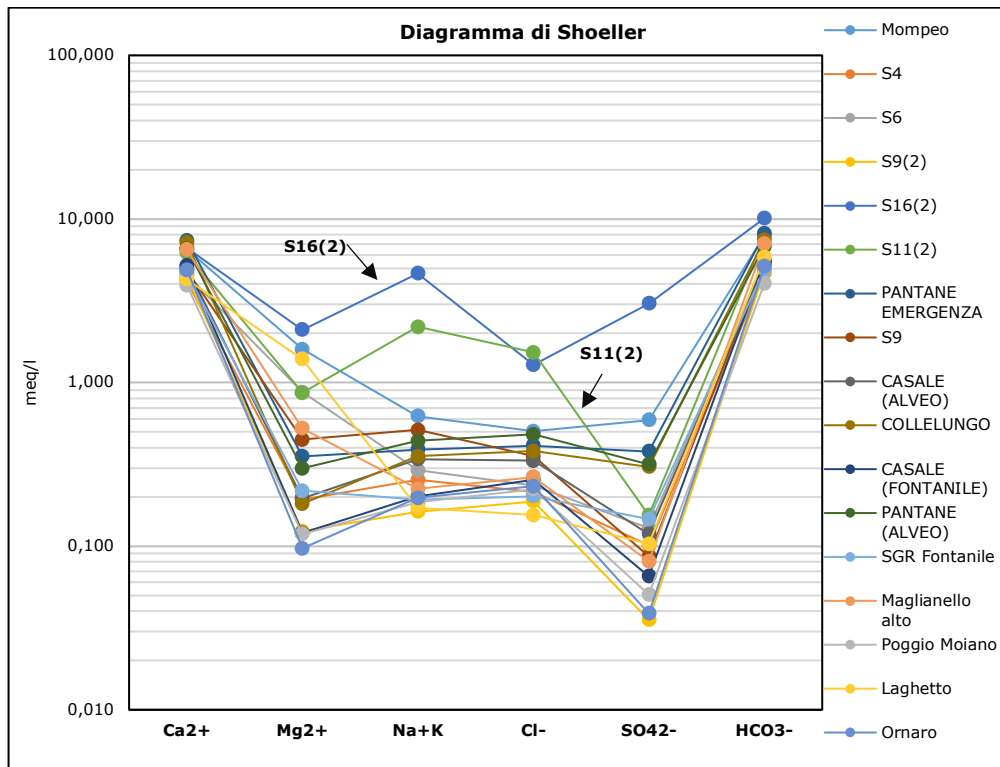


Figura 7.2 – Diagramma di Schoeller

A partire dal diagramma di Schoeller riportato in Figura 7.2, è stato possibile identificare tre "sottofacies" di appartenenza dei campioni provenienti dai punti di monitoraggio considerati, nel senso che le acque sotterranee considerate, pur appartenendo tutte alla "facies bicarbonato calcico", evidenziano però proporzioni reciproche, fra i costituenti maggiori, sensibilmente differenti, per cui consentono di individuare:

- Sottofacies 1, a cui appartengono: S9(2), S9, Casale (alveo), Casale (fontanile), Collelungo, Poggio Moiano e Ornaro (Figura 7.3);
- Sottofacies 2, a cui appartengono: Mompeo, S6, Maglianello Alto e Laghetto (Figura 7.4);
- Sottofacies 3, a cui appartengono: Pantane (alveo), Pantane (emergenza) e SGR (fontanile) (Figura 7.5)

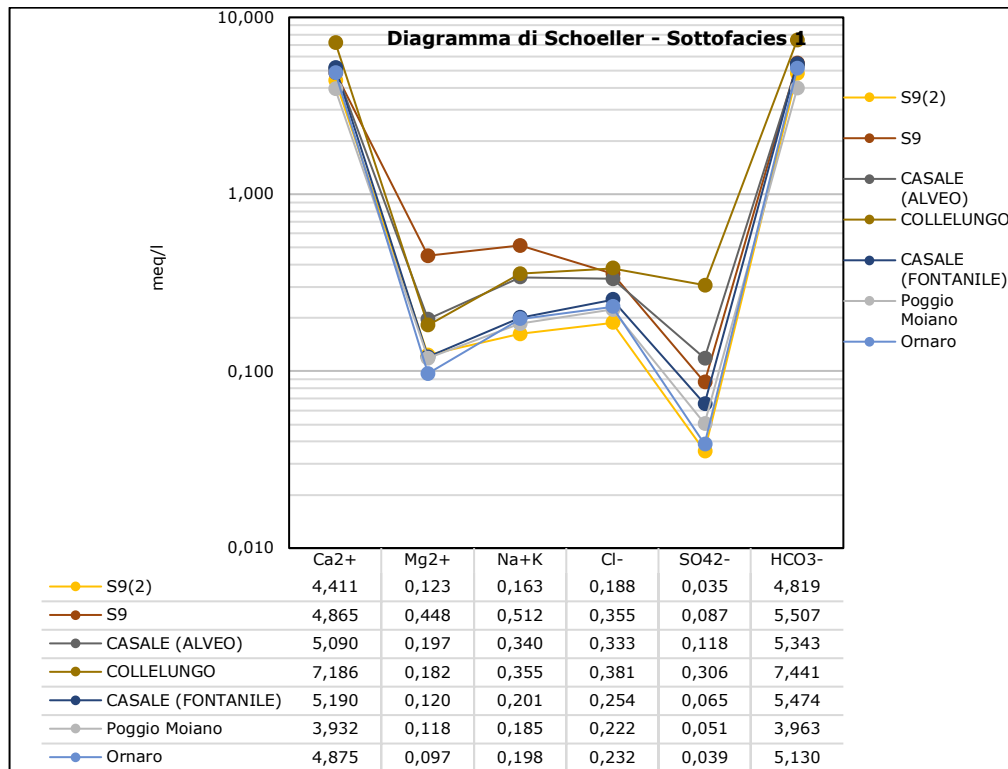


Figura 7.3 – Diagramma di Schoeller - Sottofacies 1

La Sottofacies 1, pur essendo anche essa carbonato calcica, presenta una sensibile prevalenza della concentrazione di Na+K, rispetto al Mg, evidenziando, in prima approssimazione, che si tratta di acque sotterranee che hanno circolato in formazioni in grado di "rilasciare" Na e/o K nelle acque sotterranee, e quindi più marnose, cioè, presumibilmente, costituite da una componente silicatica più significativa.

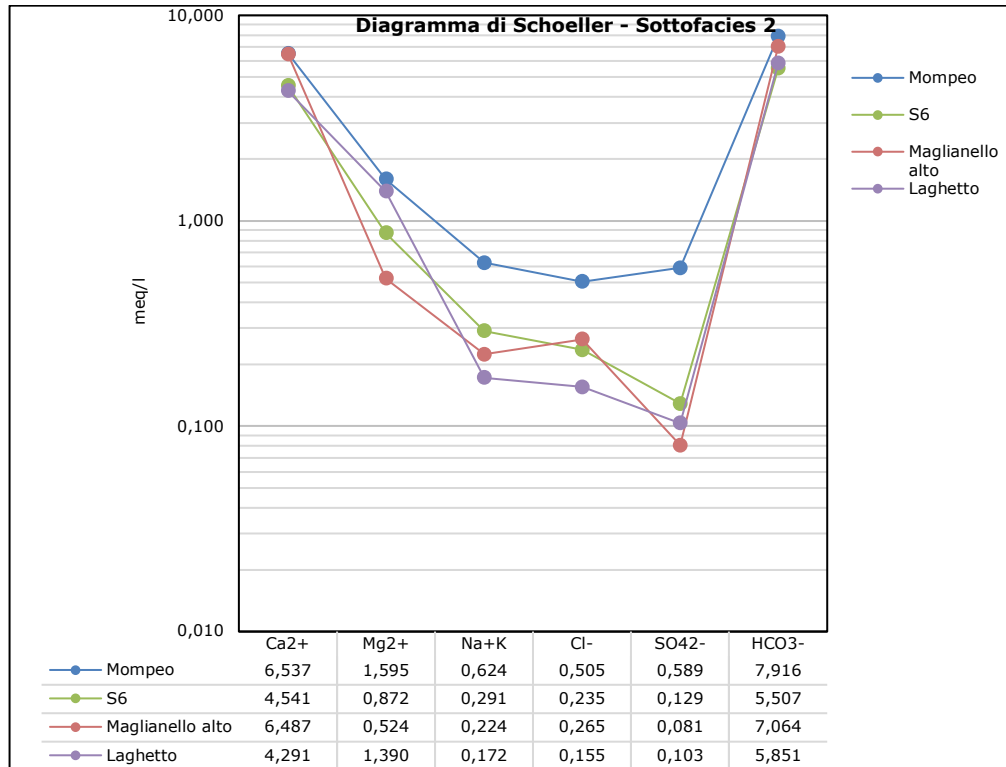


Figura 7.4 – Diagramma di Schoeller - Sottofacies 2

La Sottofacies 2 presenta un connotato più magnesiaco che indica una potenziale circolazione in rocce più propriamente carbonatiche, con un tenore basso, o trascurabile, di minerali silicatici.

La Sottofacies 3, in Figura 7.5, pur confermando la natura carbonato-calcica, presenta concentrazioni paragonabili di Mg e Na+K, indicando che si tratta di acque di transizione, o prodotte dal miscelamento fra acque provenienti da acquiferi sia carbonatici sia che abbiano una componente marnosa non trascurabile.

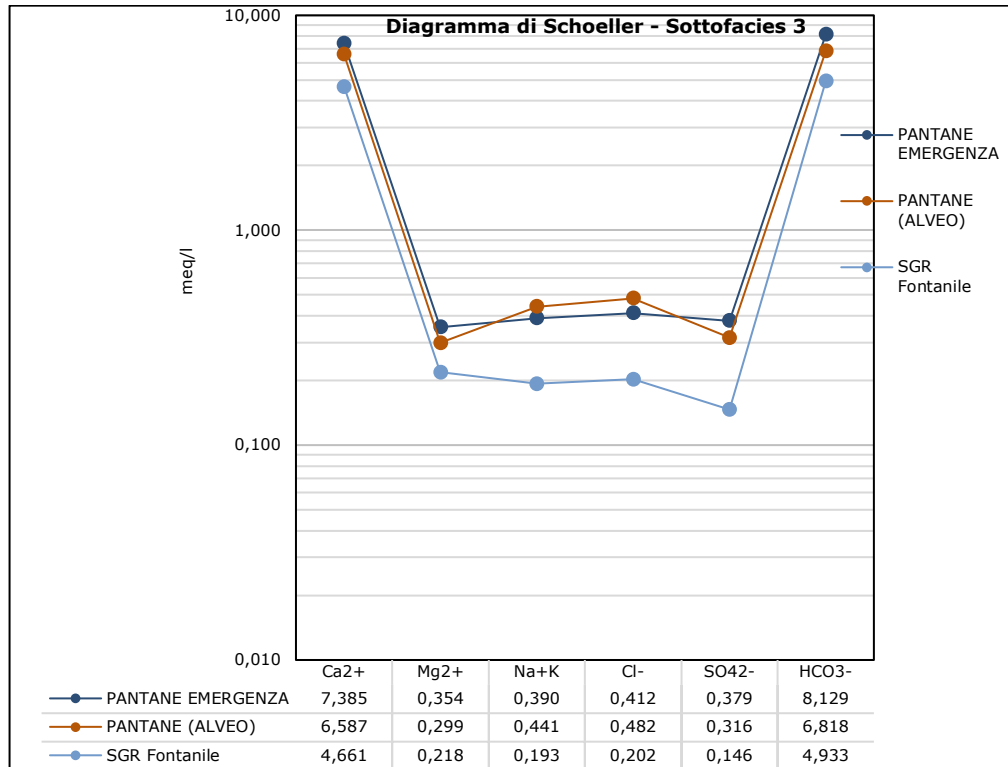
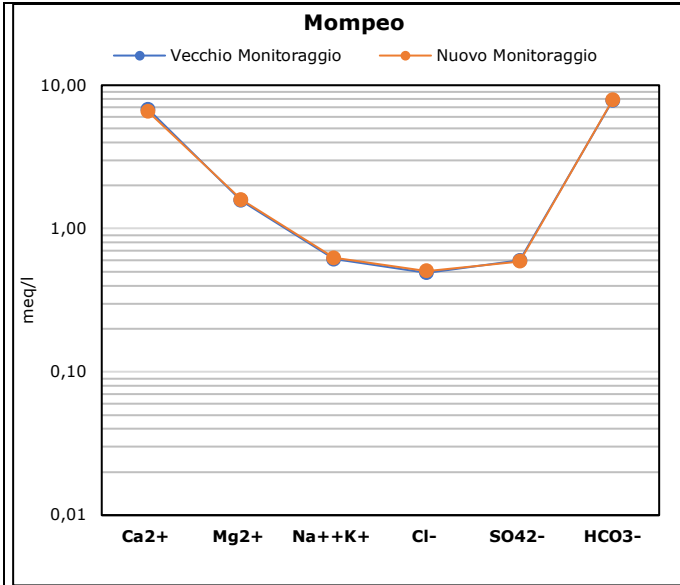
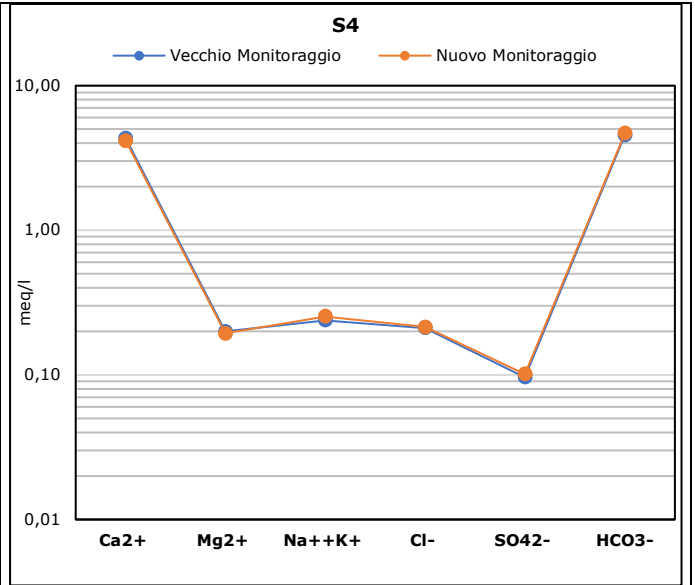


Figura 7.5 – Diagramma di Schoeller – Sottofacies 3

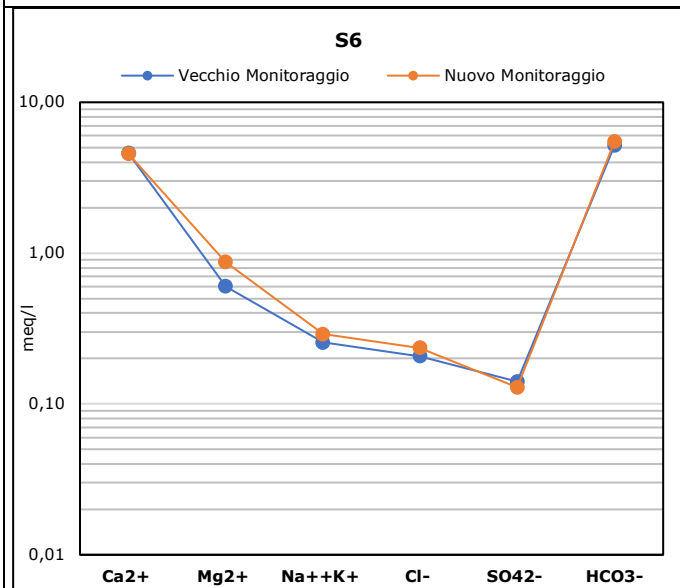
Come già anticipato all’inizio paragrafo, sono stati considerati anche i risultati delle precedenti campagne di monitoraggi svolte da ACEA, come supporto e confronto con le analisi eseguite nella campagna di monitoraggio di novembre 2020. Ciò al fine di verificare l’omogeneità della popolazione dei dati esaminati, e rendere attendibili i successivi confronti e, soprattutto, le valutazioni complessive. In particolare, sono stati presi in considerazione i seguenti punti di monitoraggio: Mompeo, S4, S6, San Giovanni N, San Giovanni V, Laghetto e S9. Nel diagramma di Schoeller in Figura 7.6, è riportato il confronto dei risultati tra il vecchio monitoraggio, svolto da ACEA e il nuovo monitoraggio svolto a novembre 2020, per i punti sopra menzionati.



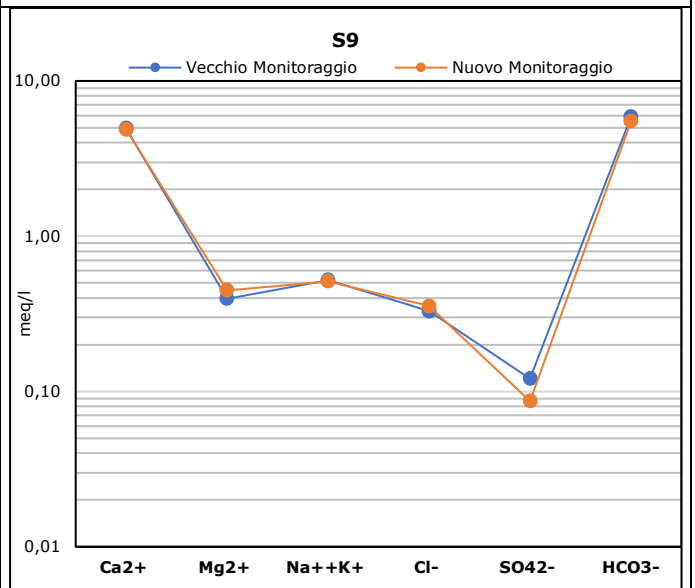
a



b



c



d

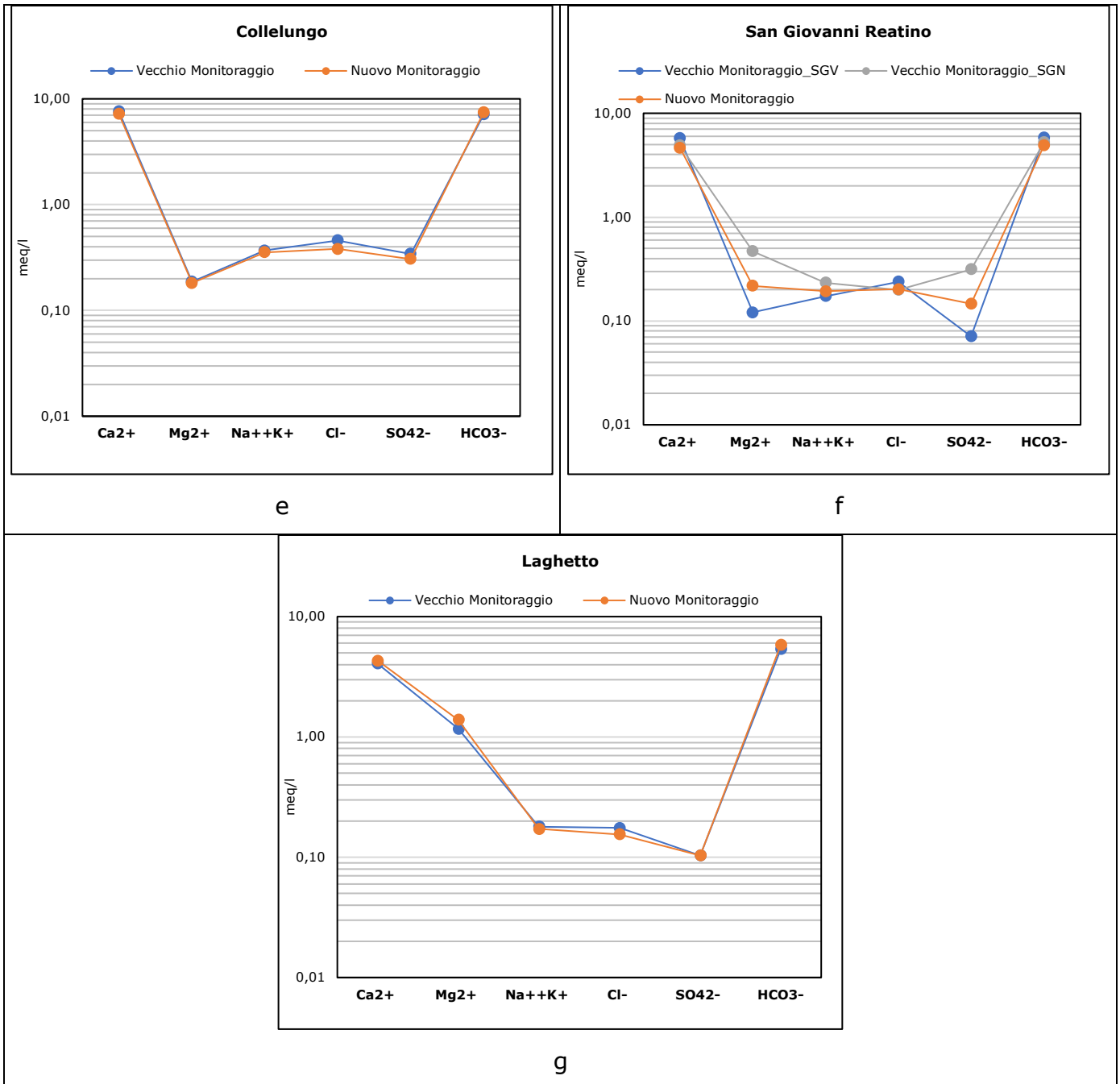


Figura 7.6 – Diagramma di Schoeller monitoraggi a confronto: Mompeo (a), S4(b), S6(c), S9 (d), Collelungo (e), San Giovanni Reatino (f), Laghetto (g)

La Figura 7.6 mostra comportamenti analoghi per i punti di monitoraggio in comune tra la campagna solta a novembre 2020 e quella svolta da ACEA, indicando quindi omogeneità della popolazione dei dati considerati tra le due campagne. Interessante è il punto San Giovanni Reatino, infatti nella Figura 7.6 – f è possibile verificare che il campione prelevato durante la campagna di novembre 2020 mostra un comportamento



intermedio tra i punti di campionamento prelevati da ACEA nel vecchio monitoraggio. Tale andamento potrebbe essere plausibilmente dovuto al fatto che, durante la campagna di novembre 2020 il campione è stato prelevato dal Fontanile, dove convergono le acque provenienti da entrambi i pozzi di San Giovanni Reatino, e pertanto mostra caratteristiche intermedie tra quelle dei due campioni, prelevati durante il precedente monitoraggio ACEA. Difatti, le indagini ed i campionamenti eseguiti da ACEA a San Giovanni Reatino riferiscono che il pozzo San Giovanni Reatino Vecchio (SGRV) risulta essere meno profondo, circa di 100 m, raggiungendo una quota di fondo foro di 365 m slm, ed un livello piezometrico di 435 m slm¹⁴, e infatti riporta concentrazioni di Magnesio più basse (0.1209 meq/l) rispetto al pozzo San Giovanni Reatino Nuovo (SGRN), il quale presenta valori di concentrazioni di Magnesio sensibilmente più alti (0.4696 meq/l). Ma quest'ultimo è più profondo¹⁴, raggiungendo quote di fondo foro di 265 m slm, ma, soprattutto, evidenzia un livello piezometrico di 305 m slm. Si tratta, quindi di acque provenienti da acquiferi differenti, sovrapposti, separati dalla formazione delle Marne a Fucoidi, che in tutta l'area di studio rappresenta l'acquicludo interposto fra la circolazione nella formazione della Scaglia Rossa, sovrastante, e quella nella formazione nella maiolica, sottostante.

Ai fini di una compiuta interpretazione dei risultati, e della loro corretta comparazione con i risultati delle analisi, condotte in campagne di indagine precedenti, è apparso opportuno riportare i risultati delle analisi geochimiche dei punti di monitoraggio vicino alla sorgente Le Capore, eseguite in precedenti campagne di monitoraggio condotte da ACEA, i cui risultati sono riportati in Tabella 7.3.

			Calcio	Magnesio	Sodio	Potassio	Cloruri	Solfati	Bicarbonati	Floruri	Nitrati
ID	Denominazione	Data di Campionamento	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/L
CAP_1	Le Capore S	'96	97.60	20.64	5.06	1.40	7.10	33.60	341.60	0.15	4.00
CAP_2	Pozzo Capore NC1	06-11-14	95.30	13.80	5.80	1.18	7.87	24.90	339.00	0.12	4.20
CAP_3	Pozzo Capore NC2	'96	99.20	23.52	6.44	2.38	7.10	49.90	341.60	-	0.90
CAP_4	Pozzo Capore NC3	18-10-01	92.90	15.60	5.93	1.28	7.01	30.00	313.20	0.13	-
ID	Denominazione	Data di Campionamento	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l
CAP_1	Le Capore S	'96	4.87	1.70	0.22	0.04	0.20	0.70	5.60	0.01	0.06
CAP_2	Pozzo Capore NC1	06-11-14	4.76	1.13	0.25	0.03	0.22	0.52	5.56	0.01	0.07
CAP_3	Pozzo Capore NC2	'96	4.95	1.93	0.28	0.06	0.20	1.04	5.60	-	0.01
CAP_4	Pozzo Capore NC3	18-10-01	4.64	1.28	0.26	0.03	0.20	0.62	5.13	0.01	-

¹⁴ Pag. 74 della Relazione Geologica (A194 PD R002 2)



Tabella 7.3 - Concentrazioni degli elementi maggiori per alcuni punti di monitoraggio vicino la sorgente delle Capore espresse in mg/l e meq/l

I risultati riportati in Tabella 7.3 sono stati rappresentati con il diagramma di Schoeller in Figura 7.7, che evidenzia un'ulteriore sottofacies, che può essere definita *bicarbonato calcico-magnesiaca*, tipica di acque sotterranee che transitano, anche per tempi o percorsi lunghi, in formazioni carbonatiche.

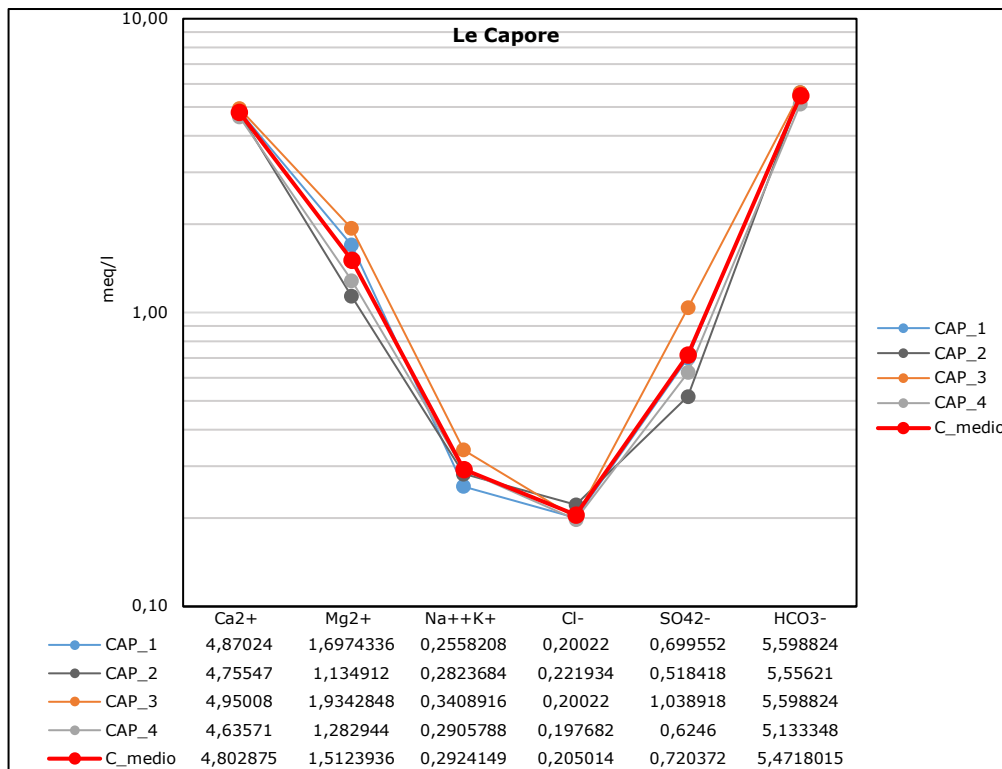


Figura 7.7 - Diagramma di Schoeller punti di monitoraggio vicino la sorgente delle Capore

La Figura 7.7 mostra un'omogeneità di comportamento per i punti vicino la sorgente delle Capore, e pertanto per le successive elaborazioni, specialmente per il diagramma di Schoeller, sarà riportato il valore medio delle concentrazioni rilevate, rappresentato in rosso nella Figura 7.7.

È stato, quindi, eseguito un confronto di tali risultati delle analisi dei campioni provenienti dalla sorgente delle Capore, considerando il comportamento medio, con quelli delle analisi geochimiche provenienti dal monitoraggio svolto nel mese di novembre 2020, al fine di identificare possibili analogie di comportamento. Il confronto è stato rappresentato, preliminarmente, attraverso il diagramma di Chebotarev (Figura 7.8) e Schoeller (Figura 7.9).

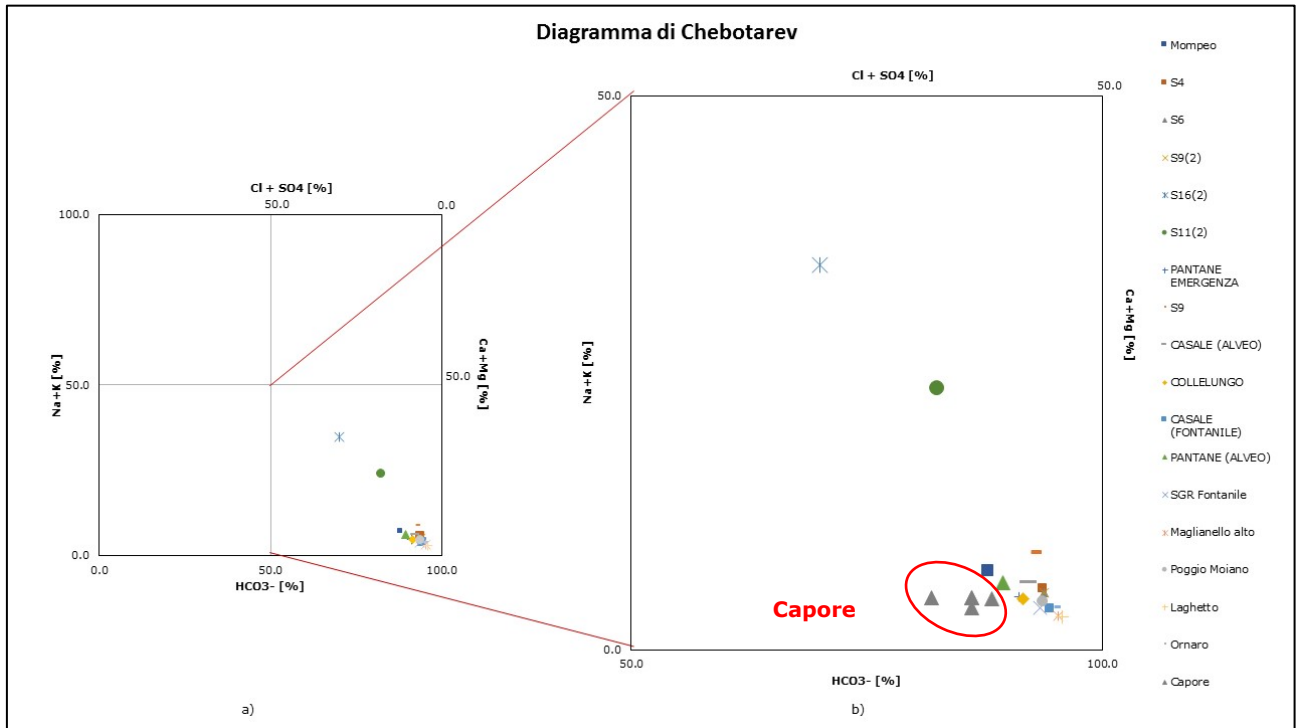


Figura 7.8 – Diagramma Chebotarev punti di monitoraggio campagna novembre 2020 con aggiunta dei punti vicino la sorgente delle Capore: (a) Diagramma di Chebotarev e (b) zoom diagramma di Chebotarev

La Figura 7.8 – a mostra che i punti relativi al monitoraggio della sorgente delle Capore si posizionano nello stesso quadrante dei punti rappresentativi del campionamento eseguito a novembre 2020, indicando quindi una comune origine bicarbonato calcico di tali acque. Tuttavia, nonostante l'origine comune delle acque, la Figura 7.8 – b mostra che i campioni prelevati dalla sorgente delle Capore tendono a distinguersi, sufficientemente, dai campioni prelevati a novembre 2020. Tale comportamento è ancora meglio evidenziato dal diagramma di Schoeller in Figura 7.9, dove sono riportati, complessivamente, l'andamento medio tale da rappresentare la sorgente delle Capore e i punti di monitoraggio considerati nella campagna di novembre 2020. Tale distinzione può essere colta meglio se la composizione chimica delle acque sotterranee, campionate presso la sorgente Le Capore, viene confrontata con le singole sottofacies, distinte in precedenza.

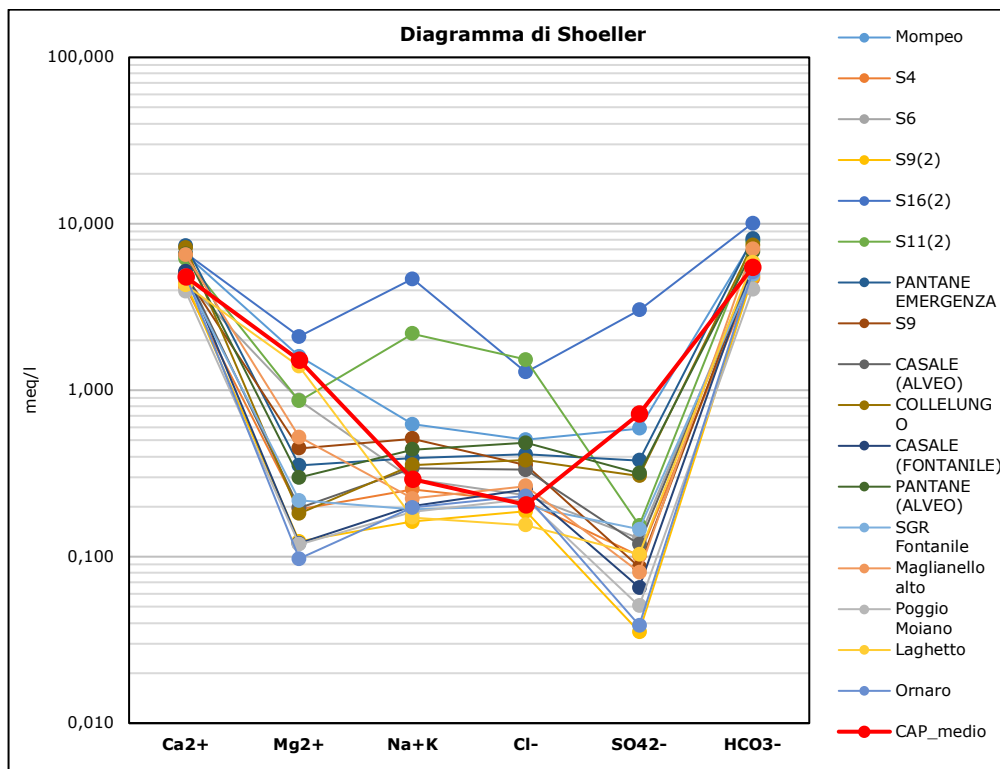


Figura 7.9 - Diagramma Schoeller punti di monitoraggio campagna novembre 2020 con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore

Per questo sono riportati nella Figura 7.10, Figura 7.11 e Figura 7.12 i diagrammi di Schoeller, suddivisi per le sottofacies individuate in Figura 7.3, Figura 7.4 e Figura 7.5, confrontati con l'andamento medio dei risultati delle analisi geochimiche della sorgente delle Capore.

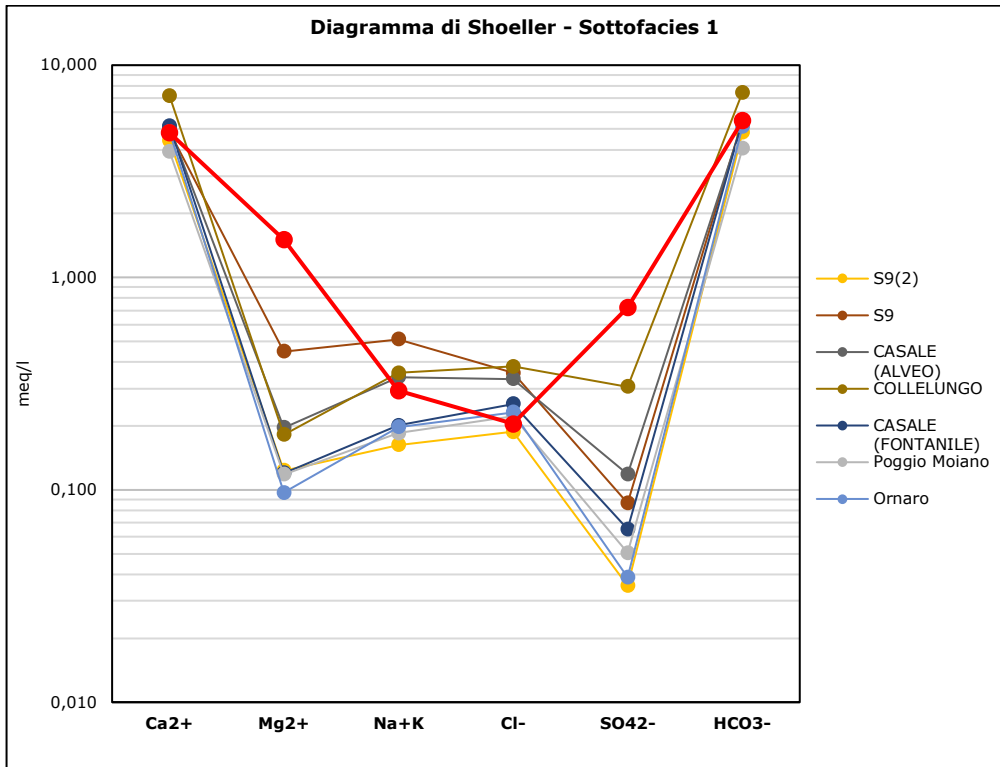


Figura 7.10 – Diagramma Schoeller – Sottofacies 1, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore

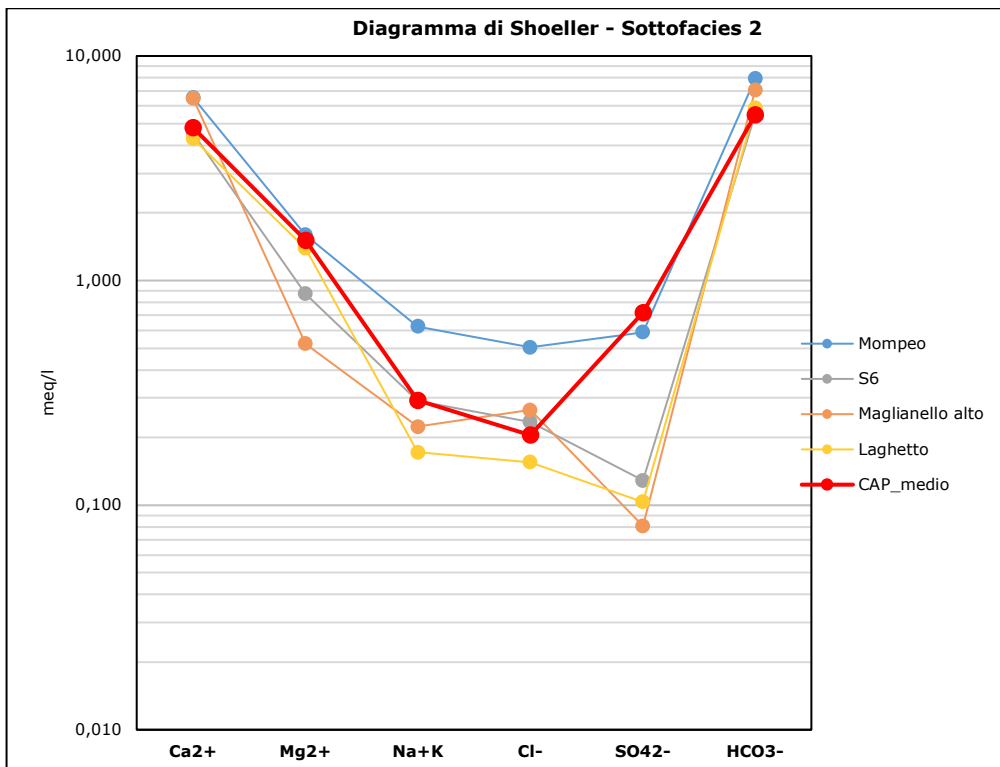




Figura 7.11 - Diagramma Schoeller – Sottofacies 2, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore

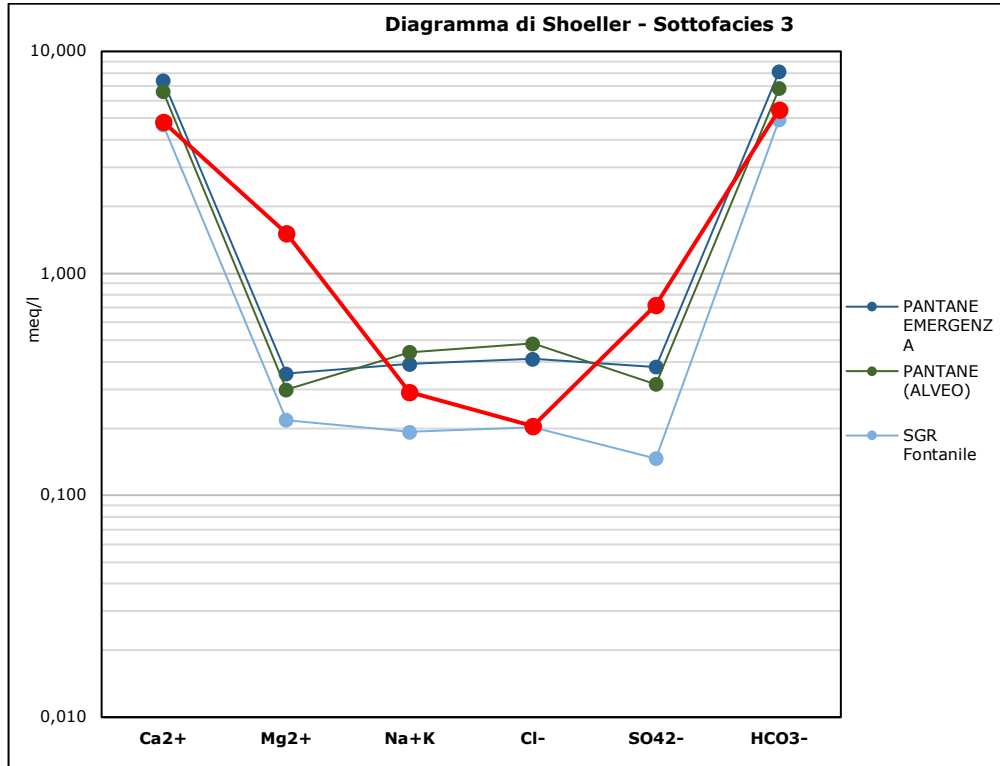


Figura 7.12 - Diagramma Schoeller – Famiglia 3, con aggiunta del punto di monitoraggio (andamento medio) della sorgente Capore

I risultati dei punti di monitoraggio Mompeo, S4, S6, San Giovanni N, San Giovanni V, Laghetto e S9 sono stati messi a confronto con l'andamento medio delle analisi geochimiche della sorgente delle Capore nel diagramma di Chebotarev in Figura 7.13 e Schoeller in Figura 7.16.

La Figura 7.13 conferma un'origine delle acque bicarbonato calcico magnesiache e i punti di monitoraggio della sorgente delle Capore tendono a distinguersi dai punti di monitoraggio Mompeo, S4, S6, San Giovanni N, San Giovanni V, Laghetto e S9. Inoltre, è possibile evidenziare due trends: il primo a cui appartengono i punti di monitoraggio S9, S4 e S6 (Figura 7.14), che risultano essere piezometri più superficiali (Tabella 6.1), e un secondo trend a cui appartengono i punti Collelungo, SGN e Mompeo, con profondità maggiori (Figura 7.15).

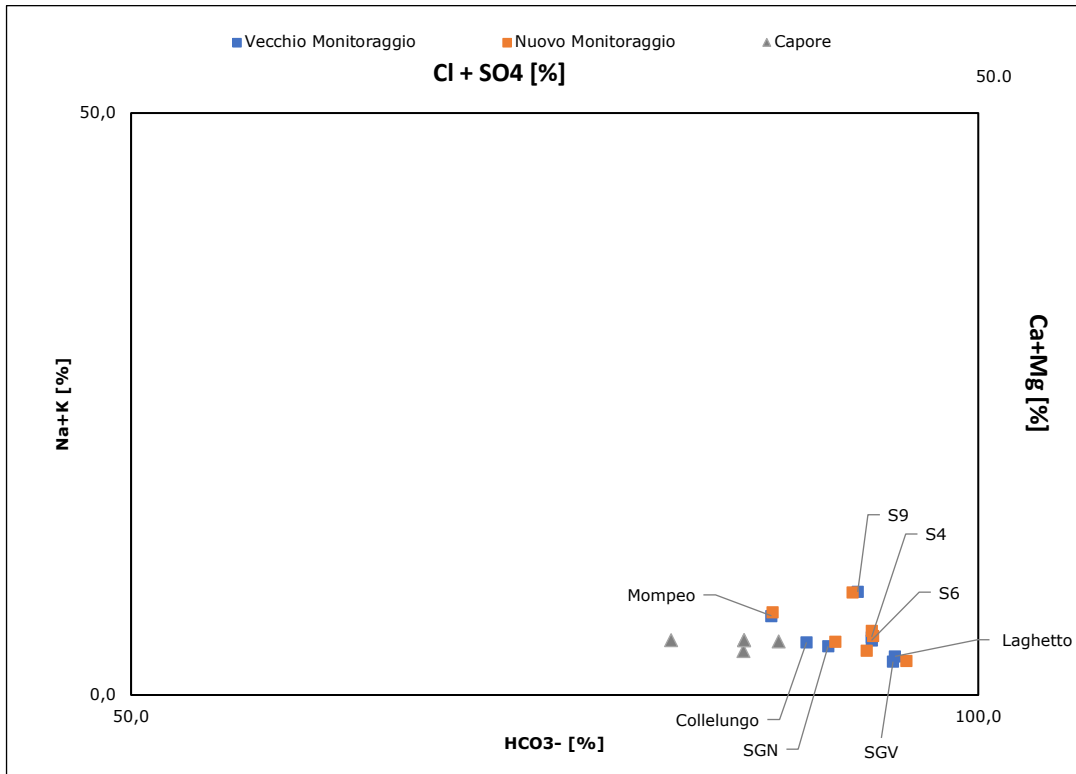


Figura 7.13 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto

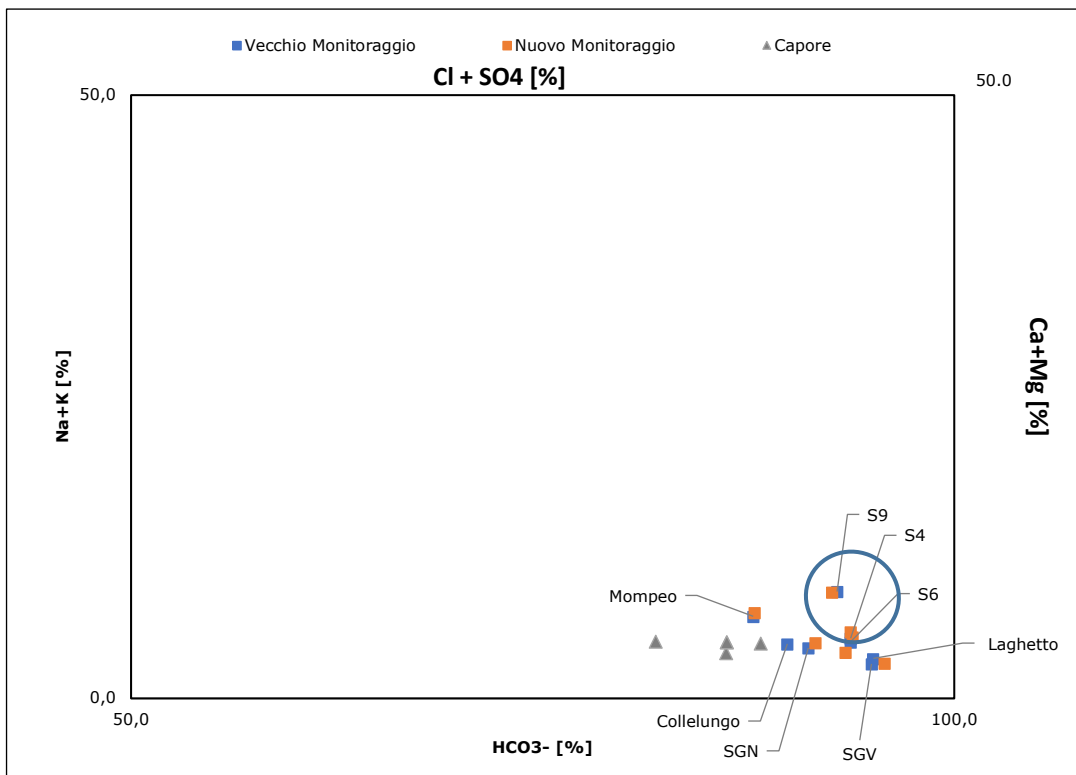




Figura 7.14 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto - primo trend

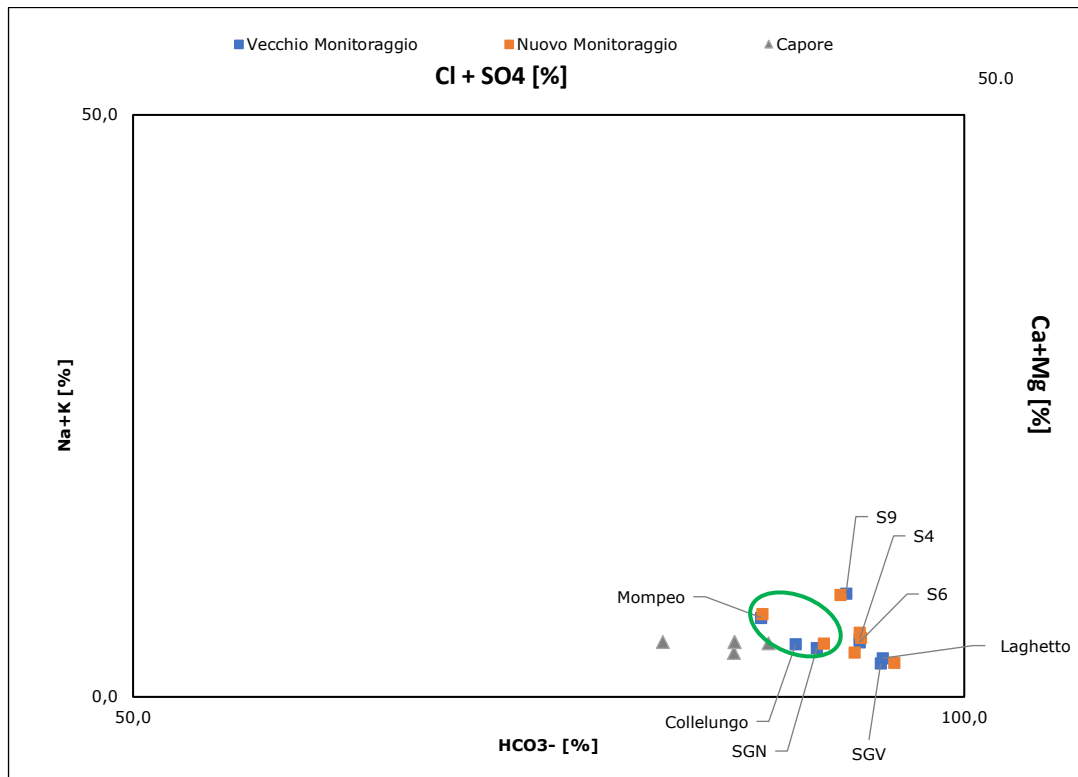
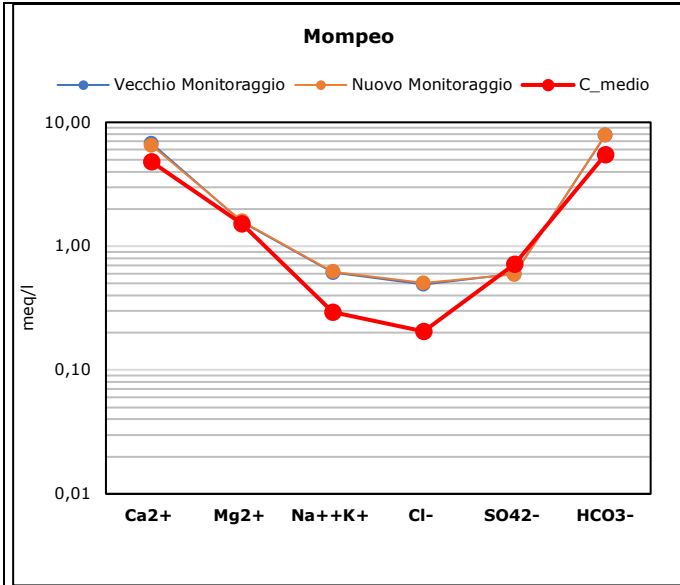
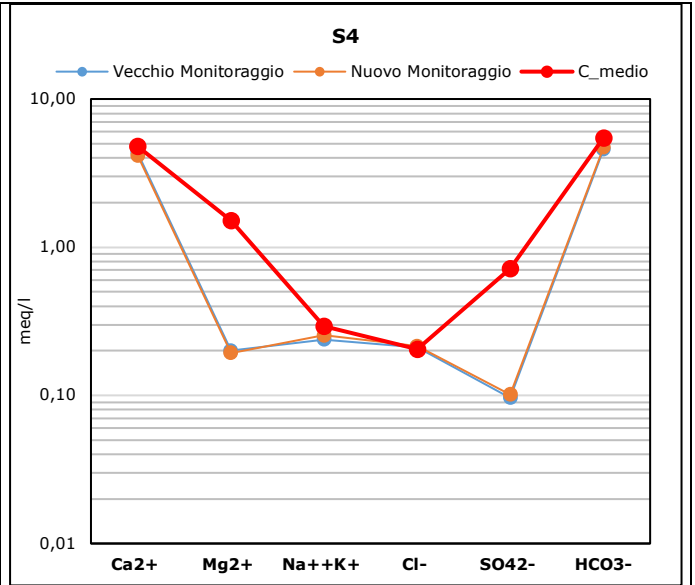


Figura 7.15 – Zoom Diagramma di Chebotarev punti a confronto - secondo trend

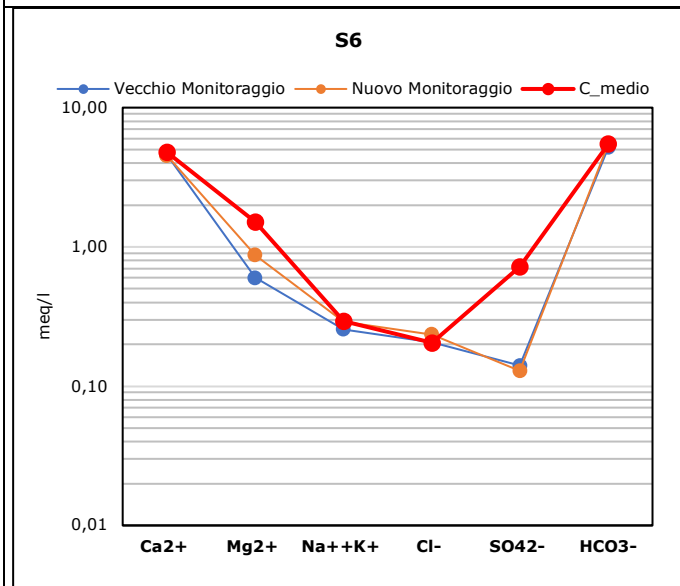
La Figura 7.15 mostra che il punto San Giovanni N, sia nel vecchio che nel nuovo monitoraggio, è il più simile e uno dei più vicini all'andamento medio della sorgente delle Capore. Tale comportamento è confermato dal diagramma di Schoeller in Figura 7.16. Infatti, come già fatto in Figura 7.9, sono stati rappresentati con il diagramma di Schoeller i punti di monitoraggio Mompeo, S4, S6, San Giovanni N, San Giovanni V, Laghetto e S9, confrontati con l'andamento medio della sorgente delle Capore.



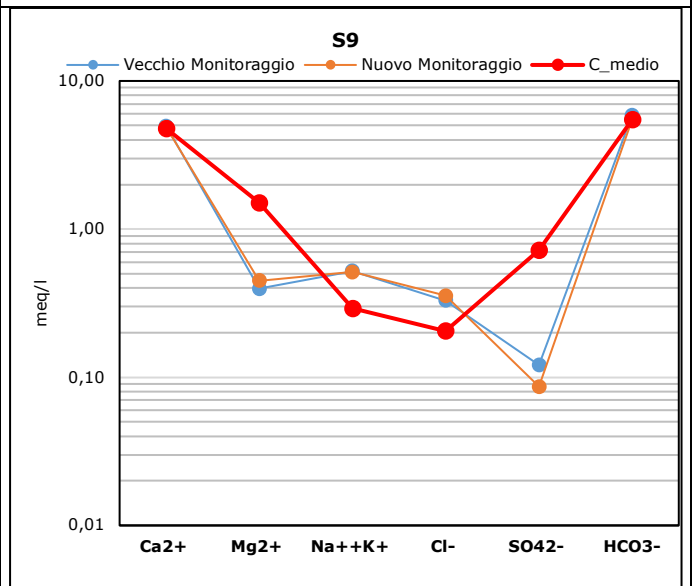
a



b



c



d

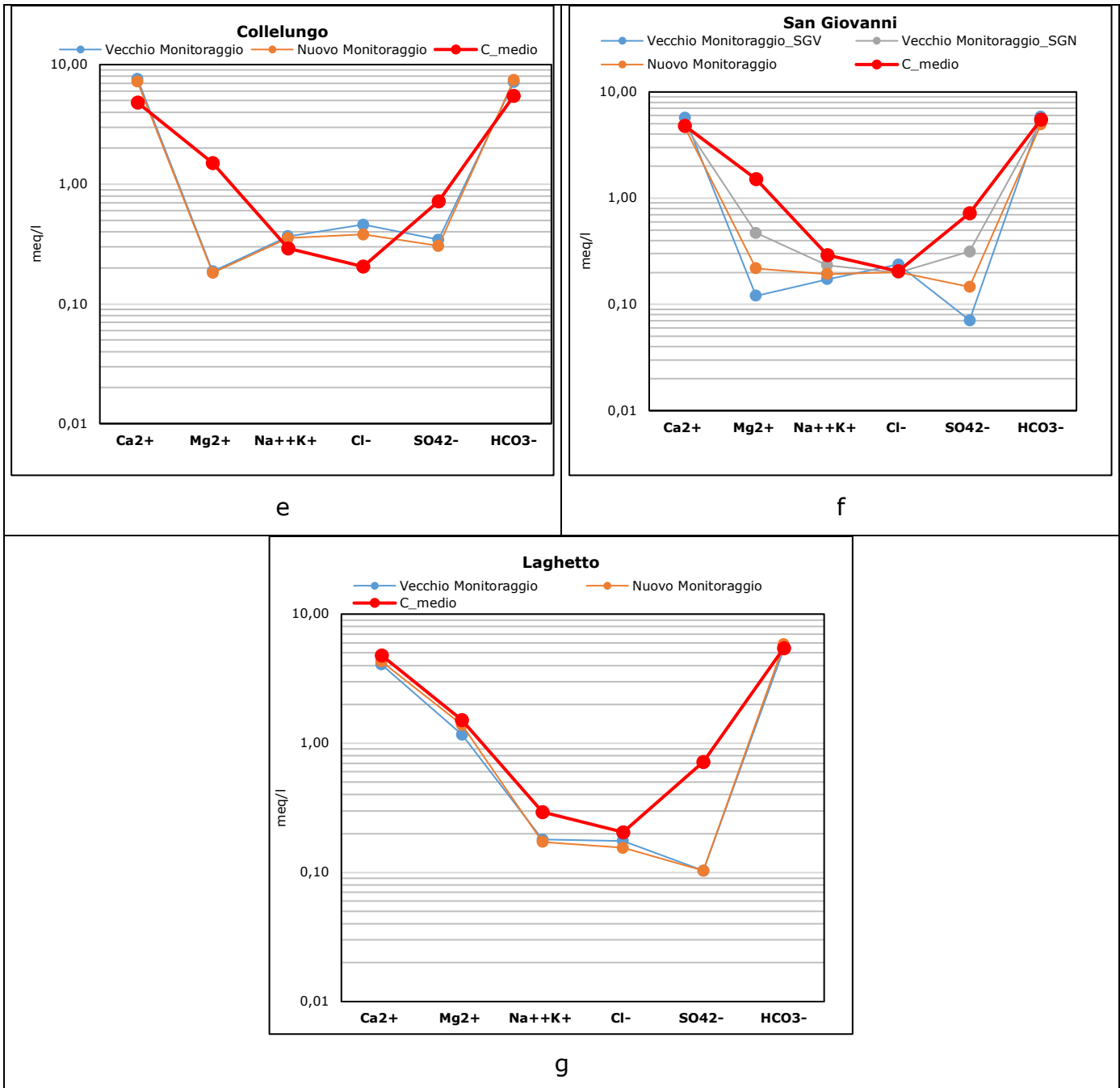


Figura 7.16 – Diagramma di Schoeller monitoraggi a confronto con l’andamento medio rappresentativo della Sorgente delle Capore: Mompeo (a), S4(b), S6(c), S9 (d), Collelungo (e), San Giovanni Reatino (f), Laghetto (g)

Alla luce della elaborazione e rappresentazione dei risultati delle analisi geochimiche sopra riportate, è possibile svolgere le seguenti considerazioni. Le acque sotterranee analizzate, in diverse campagne di indagine, presentano, tutte, una facies *bicarbonato calcica*, che conferma la loro residenza ed il loro transito in formazioni a prevalente costituzione carbonatica, quale è quella degli acquiferi affioranti



nell'area di interesse. Allo stesso tempo, un esame più dettagliato dei risultati acquisiti ha evidenziato, sostanzialmente, la presenza di tre sottofacies, una delle quali, Sottofacies 2 può essere definita *carbonato calcico magnesiacca*, ed appare di maggiore interesse ai fini della redazione delle presenti integrazioni. Infatti, essa comprende le acque prelevate presso i punti intorno alla Sorgente Le Capore, le acque provenienti da San Giovanni Reatino Nuovo, dal piezometro S6 da Mompeo e la Sorgente Laghetto. Tutti gli altri campioni presentano connotati geochimici sensibilmente differenti, come descritto in precedenza. Ciò potrebbe condurre ad affermare, con ragionevole fondatezza, che il tracciato dell'acquedotto in progetto non abbia interferenza con l'acquifero che alimenta la Sorgente Le Capore, in quanto il Pozzo San Giovanni Reatino Nuovo, unico presente in prossimità del tracciato dell'acquedotto, le cui acque presentano connotati geochimici, assimilabili a quelle della sorgente Le Capore, presenta una quota piezometrica misurata di 305 m slm¹⁴, cioè circa 100 m sotto il piano di calpestio della galleria acquedottistica. Allo stesso tempo la connotazione geochimica di dettaglio sembra evidenziare una Sottofacies 1, che può essere definita *bicarbonato calcica alcalina*, dovuta all'arricchimento in Na+K, rispetto al Mg, che comprende i campioni provenienti da Collelungo, San Giovanni Reatino Vecchio, i pozzi S4 ed S9, S9(2). Questa connotazione, unita alle indicazioni piezometriche provenienti ad esempio dal pozzo di San Giovanni Reatino Vecchio, la cui quota è stata misurata a circa 435 m slm¹⁴ sembra indicare una circolazione di queste acque sotterranee, all'interno di formazioni come la scaglia, nella quale la componente silicatica, potrebbe essere la fonte di arricchimento in Na e K. In questo caso la correlazione del dato piezometrico appena riportato, con le misure effettuate, ripetutamente, presso il pozzo di Ponte delle Ruote, dove la piezometrica si attesta intorno ai 420 m slm¹⁵, sembra indicare che esiste un campo piezometrico, relativo a questo acquifero più superficiale, che potrebbe interferire con lo scavo della galleria acquedottistica. Potrebbe trattarsi della circolazione idrica sotterranea rilevata nel corso dello scavo dell'originario acquedotto del Peschiera nel tratto fra i vertici XII e XV. In questo caso appare ragionevole affermare che la precedente esecuzione della galleria acquedottistica originale garantisce la

¹⁵ Tabella 11 a pag. 118 della Relazione Geologica (A194 PD R002 2)



eseguibilità anche di quella in progetto, pur nel rispetto di alcuni accorgimenti che dovranno essere adottati, e che saranno oggetto delle considerazioni finali del presente elaborato.

7.2 Analisi Isotopiche

Questo paragrafo descrive i risultati e le elaborazioni delle analisi isotopiche eseguite per la campagna di monitoraggio di novembre 2020.

Le metodologie isotopiche sono un utile strumento di indagine per la caratterizzazione delle acque meteoriche, superficiali e sotterranee. È necessario ricordare che gli isotopi sono nuclidi¹⁶ dello stesso elemento, con lo stesso numero atomico¹⁷, ma con differente numero di massa¹⁸, quindi diversa massa atomica e di conseguenza moderate differenze nelle proprietà chimiche e fisiche. Il frazionamento isotopico è il fenomeno per il quale la composizione isotopica ed i rapporti reciproci fra gli isotopi di un elemento variano nello spazio e nel tempo. Tale fenomeno risulterà tanto più evidente quanto maggiore sarà la differenza di massa relativa tra i due isotopi. In particolare, nella caratterizzazione delle acque sotterranee, gli isotopi più utilizzati sono gli isotopi dell'ossigeno, ¹⁸O, ¹⁷O, ¹⁶O, e dell'idrogeno, ¹H, ²H, ³H. In generale, risultano particolarmente utili per gli scopi ambientali gli isotopi del Deuterio (δD o δ^2H) e dell'Ossigeno 18 ($\delta^{18}O$). La presenza degli isotopi stabili δD e $\delta^{18}O$ nelle acque è condizionata dai processi meteorologici, che le conferiscono un'impronta caratteristica della propria origine, fondamentale per definire la natura delle acque sotterranee, il loro percorso, i tempi di residenza nel sottosuolo, ed eventuali processi cui possono essere state soggette.

Le analisi isotopiche relative ai campioni prelevati durante la campagna di monitoraggio di novembre 2020 sono state eseguite presso il Laboratorio del Dipartimento di Scienze Chimiche, della Vita e della Sostenibilità Ambientale - Università di Parma, come da certificazione in Allegato 1. In Figura 7.17 viene

¹⁶ Un nuclide in chimica indica una specie atomica caratterizzata da un determinato numero atomico (Z) e da un determinato numero di massa (A).

¹⁷ Il numero atomico (Z) di una specie chimica corrisponde al numero di protoni contenuti in un nucleo atomico. I protoni rappresentano particelle subatomiche dotati di carica elettrica positiva.

¹⁸ Il numero di massa (A) di una specie chimica corrisponde al numero di neutroni e protoni presenti in un atomo. I neutroni rappresentano particelle subatomiche con carica elettrica netta neutra.



riportata la rappresentazione spaziale dei punti di monitoraggio considerati per le analisi isotopiche. Differentemente dalle analisi geochimiche, tutti i 23 campioni prelevati sono stati sottoposti alle analisi isotopiche.

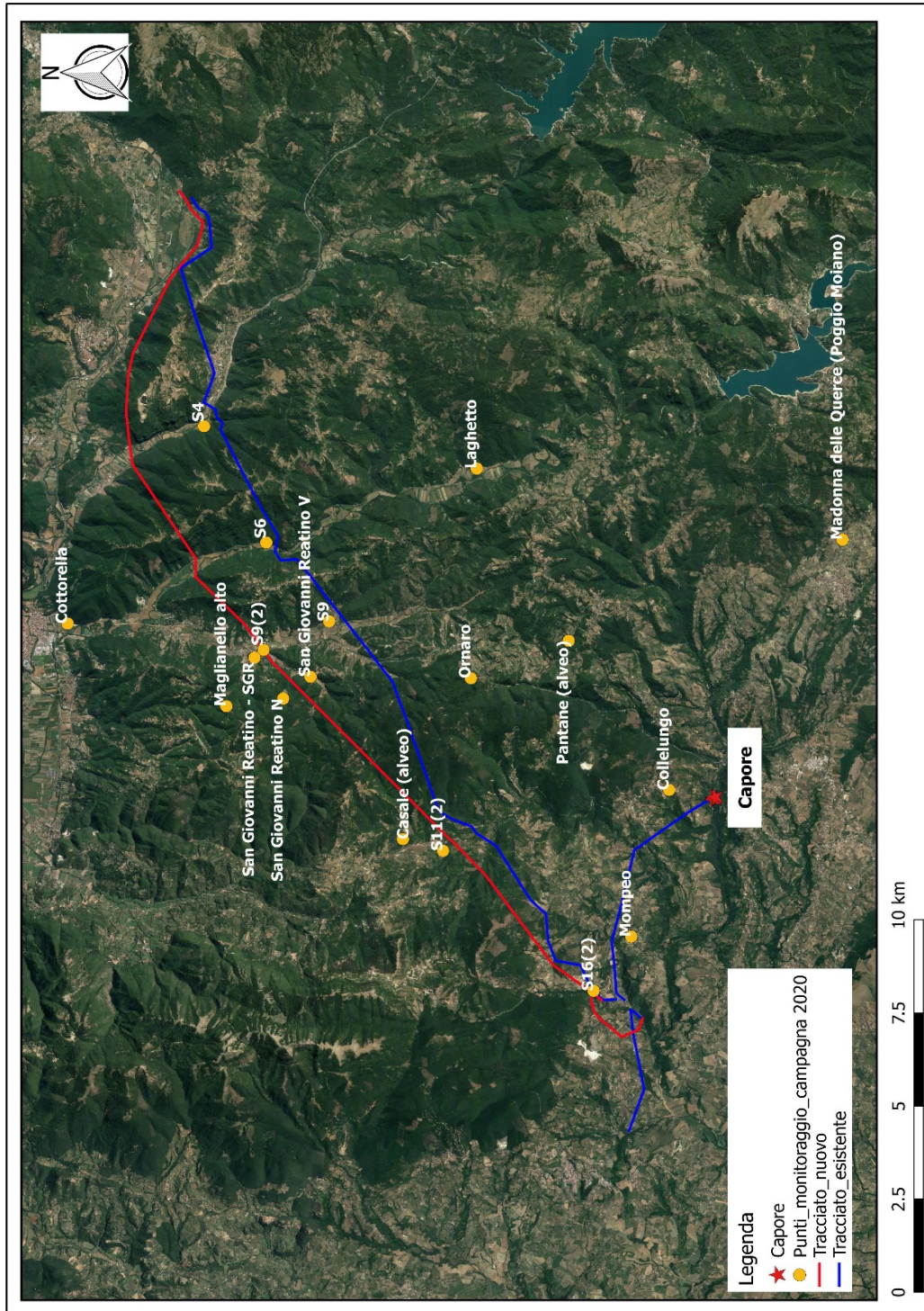


Figura 7.17 - Localizzazione punti di monitoraggio campagna di novembre 2020



In Tabella 7.4 vengono riportati i risultati delle analisi isotopiche.

Data di Campionamento	Punto	δ^2H ‰ (V-SMOW)	$\delta^{18}O$ ‰ (V-SMOW)
12-11-20	Sorgente Capore	-44.0	-7.49
17-11-20	Pozzo Capore NC3	-45.8	-7.55
17-11-20	Pozzo Capore NC1	-40.6	-6.80
17-11-20	Madonna delle Querce	-45.5	-7.35
12-11-20	SGR 1 - Vecchio	-41.3	-6.90
12-11-20	SGR 2 - Nuovo	-46.4	-7.55
12-11-20	SGR Fontanile	-43.1	-7.27
17-11-20	Mompeo	-38.1	-6.39
17-11-20	S4	-40.2	-6.82
17-11-20	S6	-44.2	-7.39
20-11-20	S9	-36.3	-6.06
17-11-20	S9 (2)	-43.1	-7.08
12-11-20	Maglianello Alto	-42.1	-7.05
20-11-20	S16 (2)	-38.2	-6.47
20-11-20	Pantane Alveo	-37.9	-6.37
20-11-20	Pantane emergenza	-38.1	-6.42
12-11-20	Casale (fontanile)	-39.3	-6.78
12-11-20	Casale (alveo)	-39.5	-6.52
20-11-20	S11 (2)	-41.2	-6.75
20-11-20	Collelungo	-40.9	-6.70
25-11-20	Ornaro	-43.3	-7.32
25-11-20	Laghetto	-49.2	-7.97
25-11-20	Cottorella	-41.8	-7.04

Tabella 7.4 - Risultati Analisi Isotopiche punti di monitoraggio campagna novembre 2020

I dati sono stati rielaborati nel diagramma isotopico in Figura 7.18, inserendo le rette meteoriche di riferimento:

- la retta meteorica globale (GMWL)¹⁹, definita dall'equazione:

$$\delta^2 H = 8 \delta^{18} O + 10 \text{‰ } R_{SMOW} \quad 1$$

- la retta meteorica del bacino del mediterraneo (MMWL)²⁰, definita dall'equazione:

$$\delta^2 H = 8 \delta^{18} O + 22 \text{‰ } R_{SMOW} \quad 2$$

¹⁹ H. Craig (1961)- Isotopic variations in meteoric waters, *Science* (80-), vol. 133, no. 3465, pp. 1702–1703.

²⁰ J. R. Gat and W. Dansgaard (1972) - Stable isotope survey of the fresh water occurrences in Israel and the Northern Jordan Rift Valley, *J. Hydrol.*, vol. 16, no. 3, pp. 177–211.



- la retta meteorica locale (LMWL)²¹, definita dall'equazione:

$$\delta^2 H = 7.46 \delta^{18} O + 8.29 \text{‰ } R_{SMOW} \quad 3$$

Lo R_{SMOW} rappresenta il contenuto isotopico medio delle acque dell'oceano e costituisce l'unità di misura di riferimento, rispetto al quale sono calcolati i valori dei rapporti isotopici delle acque naturali, calcolati come deviazione rispetto al rapporto isotopico di riferimento.

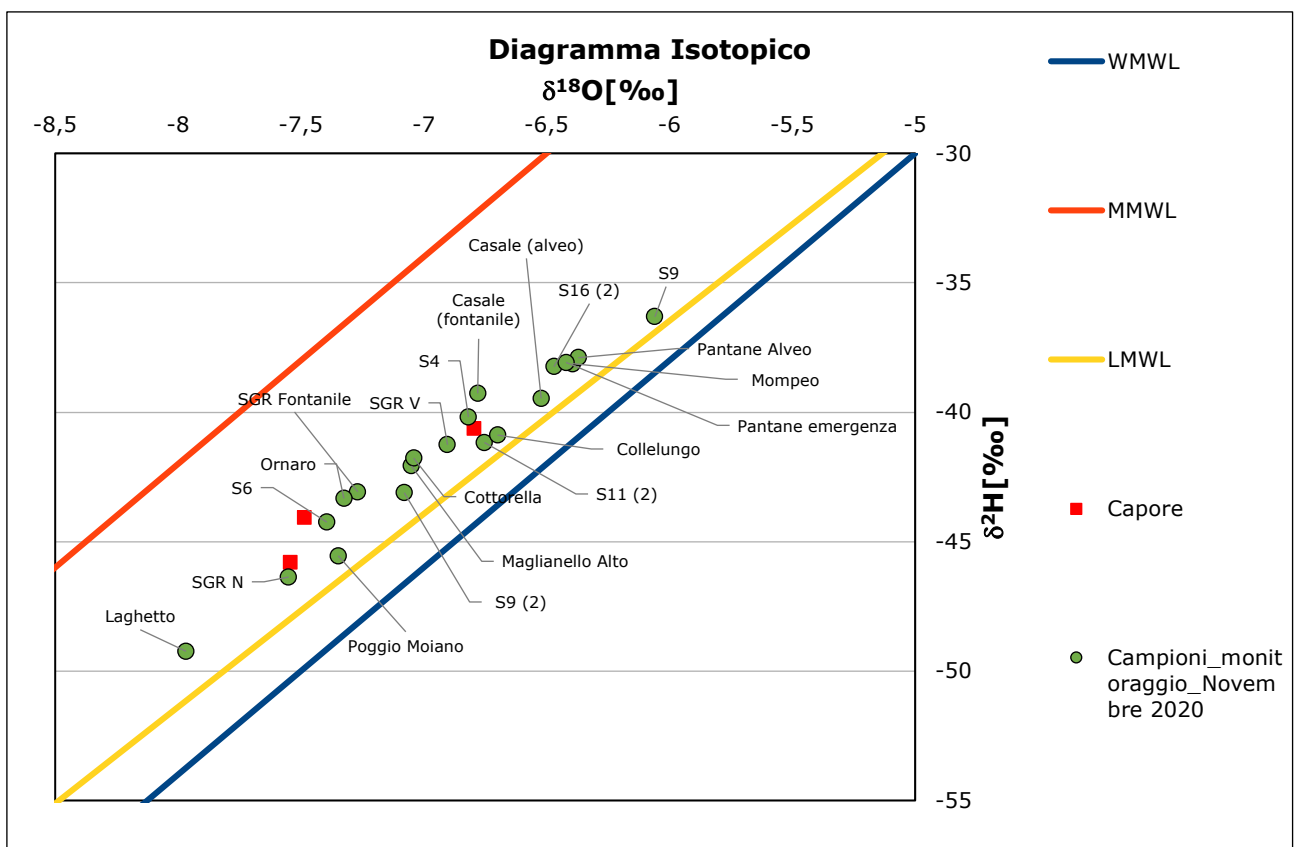


Figura 7.18 - Diagramma isotopico punti di monitoraggio novembre 2020

La Figura 7.18 mostra che i risultati delle analisi isotopiche relative ai campioni prelevati a novembre 2020 tendono ad allinearsi in prossimità della retta meteorica locale (LMWL), confermando un connotato isotopico omogeneo, indice di una medesima caratteristica meteorica originaria. Può essere opportuno ricordare che le variazioni dei rapporti isotopici $\delta^{18}O$ e δ^2H , nelle acque naturali, sono soprattutto prodotte da processi

²¹ F. Giustini, M. Brilli, and A. Patera (2016) - Mapping oxygen stable isotopes of precipitation in Italy, *J. Hydrol. Reg. Stud.*, vol. 8, pp. 162–181.



di evaporazione e di condensazione. Tali modificazioni possono essere interpretate a partire dalla posizione che i punti occupano nel diagramma isotopico:

- i punti più vicini all'origine del sistema di riferimento caratterizzano acque le cui quote di infiltrazione sono più basse: infatti risultano essere più arricchiti in isotopi pesanti, in quanto il più lungo processo di evaporazione in atmosfera ha consentito la separazione di una frazione maggiore di isotopi più leggeri;
- i punti più distanti dall'origine del sistema di riferimento, viceversa, caratterizzano acque le cui quote di infiltrazione sono più alte, poiché risultano essere più poveri in isotopi pesanti, in quanto il più breve processo di evaporazione in atmosfera ha consentito la separazione di una frazione minore di isotopi più leggeri.

Inoltre, è utile ricordare che sono diversi i fenomeni che influiscono nella variazione isotopica : (i) effetto stagionale, (ii) effetto latitudine, (iii) effetto continentalità ed (iv) effetto altitudine. In questo caso, è plausibile ipotizzare che l'effetto più preponderante sulla variazione isotopica mostrata nella Figura 7.18 sia l'effetto altitudine, data la ridotta dimensione dell'area di studio.

Da un primo esame il diagramma rappresentato in Figura 7.18 sembra confermare che i campioni prelevati presso Le Capore, San Giovanni Reatino Nuovo, Ornaro, Laghetto e Poggio Moiano, presentano un connotato isotopico meno ricco in isotopi pesanti, rispetto agli altri. Sembra trattarsi pertanto di acque sotterranee, la cui quota di infiltrazione è più elevata rispetto a tutte le altre rappresentate dagli altri campioni riportati nel medesimo diagramma.

Allo stesso tempo la medesima indicazione sembra emergere da diagramma riportato in Figura 7.19 , dove i valori dei $\delta^{18}\text{O}$, relativi alle acque campionate sono riportati in correlazione con le quote di infiltrazione delle acque meteoriche di alimentazione e dal successivo, e conseguente, diagramma riportato in Figura 7.20, dove le suddette quote di infiltrazione delle acque meteoriche di alimentazione, relative a ciascun punto campionato, sono correlate con la quota altimetrica del punto stesso.



Il diagramma riportato in Figura 7.19 è stato costruito ipotizzando un gradiente di riduzione della deviazione isotopica $\delta^{18}\text{O}$ con la quota pari a 2.5 ‰ per ogni 100 m, come suggerito da Zuppi nel 1986, per il Versante Tirrenico italiano²².

Infatti, questi diagrammi confermano quanto rappresentato in Figura 7.18, consentendo qualche considerazione, di maggior dettaglio ai fini del presente studio.

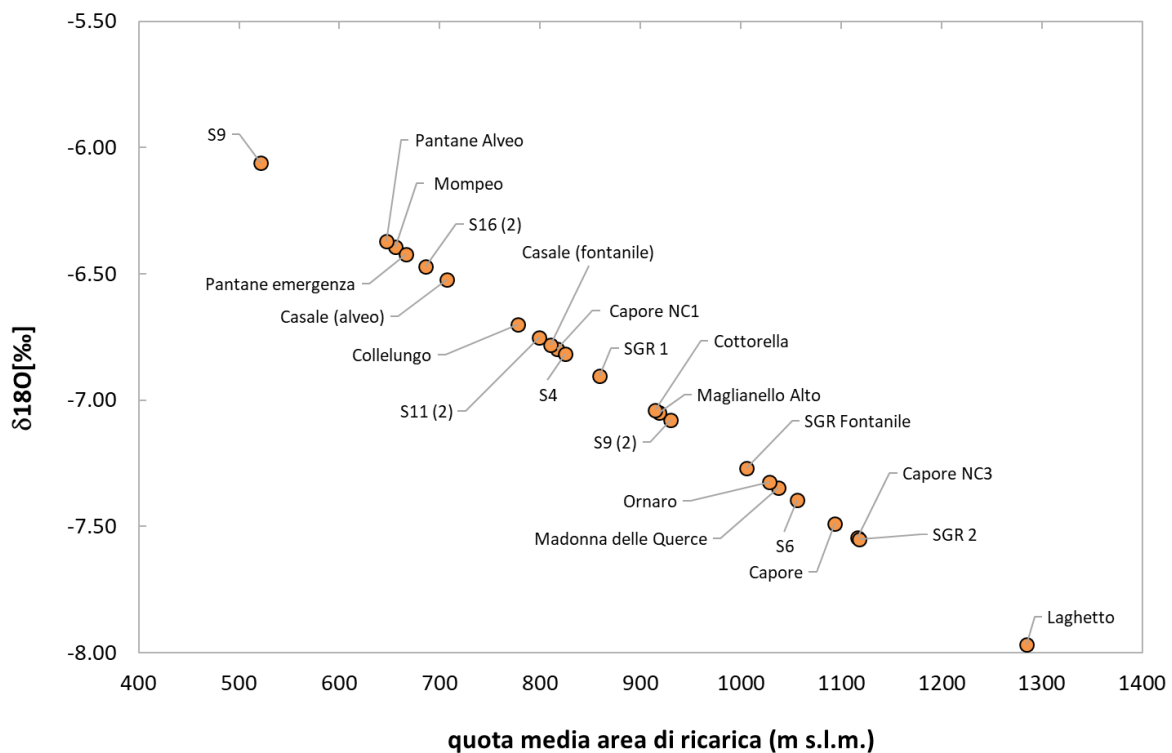


Figura 7.19 - Connotato del $\delta^{18}\text{O}$ in funzione della quota media di infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano i diversi punti campionati

²² Zuppi, G.M. (1986) – Introduzione alla idrologia Isotopica. Ambiente: protezione e risanamento, a cura di A. Zavatti, Pitagora ed. Bologna, Vol. 1. Pp. 281-355

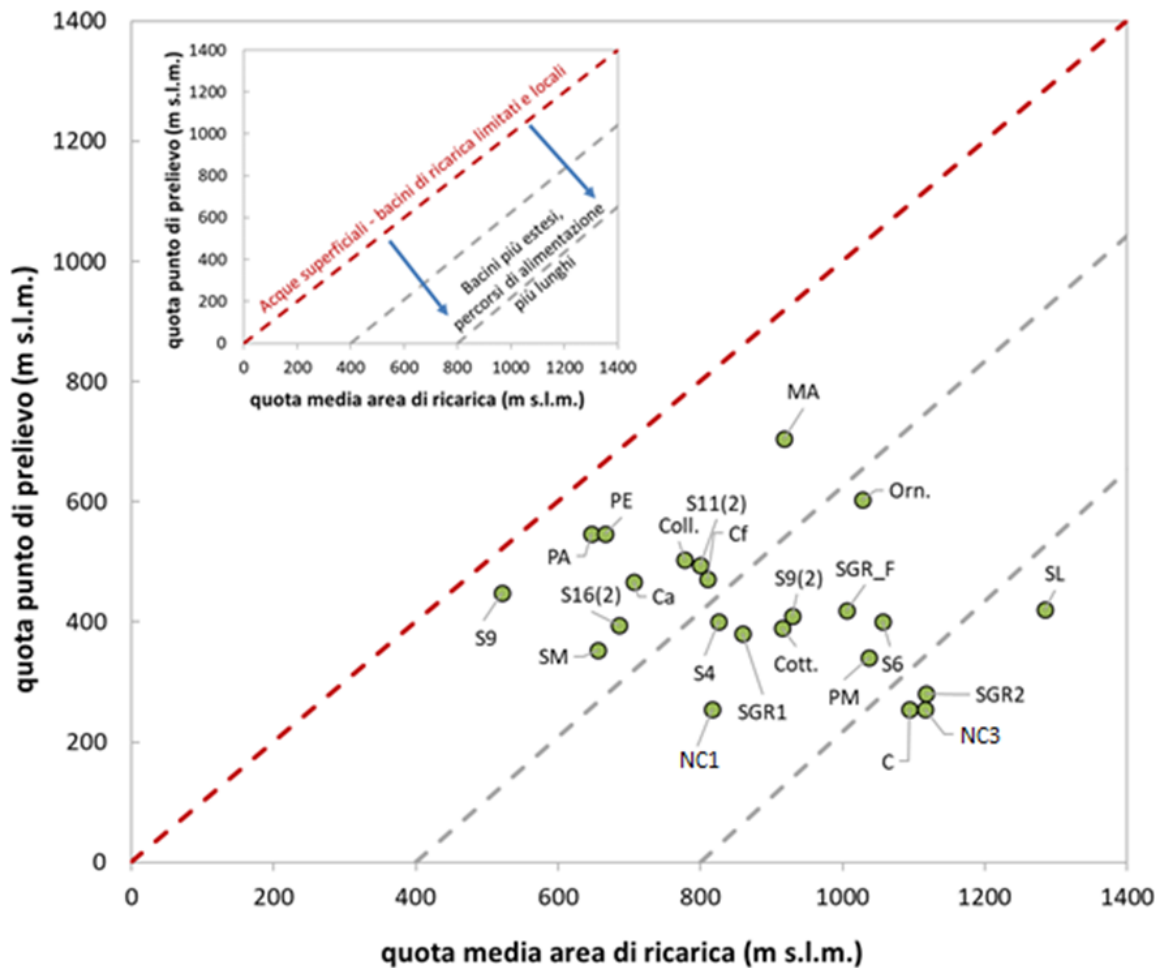


Figura 7.20 - Quota media di infiltrazione delle acque meteoriche che alimentano i diversi punti campionati correlata con la quota del punto di prelievo. Punti di prelievo: C=Sorgente Le Capore; NC1=Pozzo Capore NC1; NC3=Pozzo Capore NC3; PM= Poggio Moiano; SGR1= pozzo S. Giovanni Reatino (vecchio); SGR2=Pozzo S. Giovanni Reatino (nuovo); SGR_F=Fontanile S. Giovanni Reatino; SM=Sorgente Mompeo; S4=pozzo S4; S6=pozzo S6; S9=pozzo S9; S9(2)=pozzo S9(2); MA=Magliano Alto; S16(2)=pozzo S16(2); PA=Pantane Alveo; PE=Pantane emergenza; Cf=Casale fontanile; Ca=Casale alveo; S11(2)=pozzo S11(2); Coll.=Collelungo; Orn.=Ornaro; SL=sorgente Laghetto; Cott.=Cottorella.

Il diagramma riportato in Figura 7.20 evidenzia, una sostanziale zonazione delle aree di ricarica dei diversi bacini, che alimentano i punti di prelievo considerati. In particolare, le acque sotterranee prelevate presso Le Capore, intese come Sorgente (C) e Pozzo NC3, hanno percorsi di alimentazione più lunghi e quindi bacini di ricarica più estesi, le aree di ricarica hanno quote paragonabili fra loro, più elevate, collocate nella porzione sud-orientale dell'area di studio. Ciò sembra avvalorare l'ipotesi che l'alimentazione della sorgente Le Capore provenga da tale area, benché il carattere geochemico ed



isotopico dei campioni provenienti da San Giovanni Reatino Nuovo (SGR2), indichino che esista una continuità idraulica profonda che arriva fino a ridosso della dorsale di San Giovanni Reatino, che molti studi idrogeologici individuano come spartiacque idrogeologico in questa area. Allo stesso tempo l'indicazione, apparentemente contraddittoria, proveniente dal connotato isotopico del campione Pozzo Capore NC1, che si colloca in una zona intermedia del diagramma rappresentato in Figura 7.20, ubicato diversamente dagli altri nel tradizionale diagramma di Figura 7.18, sembra poter essere spiegata con la minore profondità di questo pozzo che, senza raggiungere la formazione della Maiolica, è intestato nella formazione sovrastante della Scaglia Rossa.

8. Conclusioni

Il presente elaborato, nel contenere le integrazioni richieste dal Voto 46 2020 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, in merito agli aspetti idrogeologici connessi con l'esecuzione del Nuovo Acquedotto del Peschiera, è stato redatto in coerenza con quanto contenuto nello studio idrogeologico, compreso nella Relazione Geologica⁵ del progetto definitivo, per cui, per quanto non esplicitamente contenuto in questa sede, si fa riferimento a tale elaborato.

In buona sostanza al termine della disamina delle diverse problematiche sollevate dal Voto citato, delle quali non si disconosce la fondatezza, è possibile concludere quanto segue.

In un contesto geologico ed idrogeologico, complesso, quale quello di progetto, l'affioramento di acquiferi carsici e la presenza di falde sovrapposte rendono la ricostruzione del campo piezometrico, talvolta, di dubbia attendibilità, perché la continuità idraulica della zona satura è fortemente condizionata dalla eterogeneità della distribuzione della conducibilità idraulica, ma anche dalle complicazioni tettoniche. Peraltro, l'ipotesi di ricostruire l'andamento della superficie piezometrica attraverso l'applicazione combinata di indagini geofisiche e perforazioni meccaniche a carotaggio continuo, attrezzate a piezometri, potrebbe rivelarsi fallace. E' apparso, pertanto, preferibile riferirsi alle informazioni note in merito alla distribuzione dei livelli piezometrici per definire la presenza, nell'area di progetto, di un acquifero multistrato,



nel quale è presente un orizzonte più superficiale che transita nella formazione della Scaglia Rossa, intercettato in particolare dal pozzo vecchio di San Giovanni Reatino, e dal pozzo ubicato a Ponte delle Ruote, ed uno più profondo, residente nella Formazione della Maiolica, sottostante, che alimenta, fra l'altro la Sorgente Le Capore, ed è separata dalla Scaglia, per la presenza dell'acquicludo delle Marne a Fuocoidi. L'insieme delle considerazioni svolte nelle presenti integrazioni, facendo ricorso all'applicazione di tecniche di analisi geochimica ed isotopica, a supporto e verifica delle informazioni di natura prettamente fisica, contenute nella Relazione Geologica di progetto, consente di affermare che non ci sono elementi che possano lasciare ipotizzare interferenze fra il bacino di alimentazione della Sorgente Le Capore e lo scavo della galleria acquedottistica, in quanto il livello piezometrico della falda, residente nella Maiolica, intorno all'area di progetto, è stato rilevato a poco più di 300 m slm, mentre il piano di calpestio dello scavo nel tratto in cui intercetta la Maiolica, si trova, sempre, a quote superiori ai 400 m slm. Peraltro, le indicazioni fisiche e chimiche, che scaturiscono dalle indagini eseguite presso i pozzi S11(2) e S16(2), fanno presumere che la caratterizzazione idrogeologica, relativa a questi punti sia affetta da fattori locali, che non appaiono trascurabili, ai fini delle presenti integrazioni. Allo stesso tempo, altri tratti di possibile interferenza fra scavo della galleria non sembrano esserci. E, d'altro canto, le analisi chimiche ed isotopiche hanno evidenziato che le acque sotterranee, prelevate nei due pozzi scavati a San Giovanni Reatino, presentano due sottofacies idrogeochimiche sensibilmente diverse, ed anche aree di ricarica diverse, a conferma del modello idrogeologico multistrato proposto. Allo stesso tempo la stessa metodologia di indagine combinata, adottata in questa sede, nel rappresentare, come affermato nella Relazione geologica di progetto, possibili battenti idrici dell'ordine dei 10 m, consente di collocare queste acque sotterranee nell'orizzonte più superficiale della Scaglia Rossa, permeabile prevalentemente per fessurazione, il cui livello piezometrico è stato rilevato intorno ai 420 m slm. Questo orizzonte, pur nella sua più limitata importanza, rispetto a quello più profondo, è potenzialmente interferente con lo scavo della galleria acquedottistica. Infatti, l'esame di quanto emerso nel corso dello scavo della galleria acquedottistica esistente, in particolare fra i vertici XII e XV, rileva la presenza di venute



d'acqua significative.²³, e lascia ipotizzare, con ragionevole fondatezza, che si potranno verificare fenomeni di infiltrazione di acque, anche sensibili, durante lo scavo dell'opera in progetto. Tuttavia, come il fenomeno è stato gestito, con successo, durante la fase di cantiere ed anche dopo, visto che l'orizzonte saturo risulta ancora oggi presente, è da ritenersi che eventuali infiltrazioni potranno essere tenute adeguatamente sotto controllo, anche nella costruzione dell'opera in progetto, atteso che le tecnologie, oggi disponibili, sono sicuramente migliori di quelle dell'epoca, in cui è stato realizzato il precedente acquedotto. A tale riguardo, considerato che l'ipotesi di progetto prevede, in questo tratto di sottosuolo, di procedere con lo scavo in TBM, con una velocità di avanzamento di 15 m al giorno, è opportuno raccomandare, per consentire l'adeguato controllo di eventuali venute d'acqua, di procedere con adeguata cautela, subordinata alle evidenze che potranno emergere nel corso dello scavo, nel rispetto del metodo osservazionale, generalmente applicato nella progettazione ed esecuzione delle opere in sotterraneo. A tal fine, e considerata la complessità dell'assetto geologico ed idrogeologico del sottosuolo interessato dal progetto, che non può garantire proprietà meccaniche ed idrauliche omogenee, isotrope ed uniformi, come in altre formazioni geologiche, è necessario prevedere, come previsto dalle *"Linee Guida per il monitoraggio ambientale delle opere sottoposte a valutazione di impatto ambientale"*, uno specifico Piano di Monitoraggio Ambientale Ante-Operam, in Corso d'Opera e Post Operam, che consenta di tutelare le componenti ambientali coinvolte dal progetto, in modo regolare e tempestivo ed avere, a seguito del monitoraggio ante-operam un quadro idrogeologico di dettaglio, a supporto della fase esecutiva.

²³ A194PD R002 2 - Relazione Geologica – pg. 61



Appendice

a. Le note illustrative alla Carta geologica di Italia 1:100 000 (fogli 138 - Terni e 144 - Palombara Sabina)

A livello regionale, le note illustrative della Carta Geologica d'Italia²⁴, riferiscono che l'area in esame è caratterizzata dalla presenza del settore meridionale della miogeosinclinale umbra, dove questa tende a restringersi fra la dorsale subsidente abruzzese ad oriente e la dorsale tiberina stabile ad occidente, confluenti fra di loro all'altezza di Roma. La zona di transizione tra facies umbra e facies abruzzese ha orientamento circa meridiano lungo i versanti sinistro e destro del T. Licenza a sud e del F. Turano a nord, cioè circa ad est dell'allineamento Rocca Sinibalda - Orvinio - Mandela. Si può parlare di facies umbro-sabina. Il limite occidentale, orientato circa NNW, corre alla base del versante occidentale della Catena Amerina e dei monti Lucretili, cioè lungo l'allineamento Nera Montoro-Casperia-Poggio Mirteto-Marcellina. La dorsale tiberina, invece, sepolta dai depositi pliocenici e pleistocenici della valle del Tevere, affiora in corrispondenza del M. Soratte a NE e dei monti Cornicolani a SE.

In particolare, nelle Note⁶, vengono identificate diverse unità tettoniche, tra cui quella dei Monti di Battiferro e Monti Sabini e quella dei Monti di Lambro e di Montenero in Sabina.

Sul bordo orientale i monti di Battiferro sono caratterizzati dalla presenza di una ondulazione sineclisica secondaria, orientata N-S, con nucleo di maiolica. A S dei monti di Battiferro, l'anteclisi dei monti Sabini, si allunga in direzione meridiana da Terni a Poggio Mirteto per oltre una trentina di chilometri, con una larghezza media di 5-6 km. Nella zona assiale della struttura affiora unicamente il calcare massiccio e la corniola; il bordo occidentale è caratterizzato da successioni lacunose e condensate per l'intervallo Lias medio-Cretacico inferiore, mentre sul bordo orientale gli spessori delle varie formazioni a partire dalla Corniola sembrano compresi nei valori medi regionali delle zone di subsidenza. In corrispondenza della Piana di Rieti, la gamba orientale dell'anteclisi, costituita dalla maiolica e dalla scaglia rossa, è rovesciata e lievemente sovrascorsa verso E; il passaggio con la sineclisi antistante, sepolta dai depositi della

²⁴ Note illustrative della Carta Geologica d'Italia 1:100.000 (1975) Fogli 138 (Terni) e 144 (Palombara Sabina)



piana, sembra avvenire con continuità. Tra Contigliano e Salisano, il passaggio tra l'anteclisi e la sineclisi F.so Canera – M. S. Giovanni è sottolineato da un'accentuazione del sovrascorrimento. Infatti, nel tratto compreso nel foglio Terni²⁵, vengono a contatto la scaglia rossa con il bisciaro, mentre più a S, nel foglio Palombara Sabina²⁶, il contatto avviene tra maiolica e scaglia cinerea, con rigetto stratigrafico maggiore. Inoltre, nella zona meridionale, il bordo orientale dell'anteclisi, alle spalle del sovrascorrimento, presenta notevoli complicazioni strutturali che tendono ad accentuarsi spostandosi verso Salisano. Questa complessa struttura, che caratterizza il bordo orientale dell'anteclisi dei Monti Sabini, deriva sicuramente da una tettonica sinsedimentaria, attribuibile ad una maggiore e prolungata subsidenza nella parte meridionale dell'antistante sineclisi, rispetto a quella settentrionale; l'apparente entità del sovrascorrimento può essere in parte ridimensionata a causa dell'esistenza di serie ridotte o lacunose. A partire dal bordo meridionale della Piana di Rieti, la zona altimetricamente più elevata dei monti Sabini è spostata verso E, in corrispondenza dell'affioramento della maiolica, modificando quindi sostanzialmente i supposti rapporti altimetrici sinsedimentari tra calcare massiccio e maiolica.

Ad oriente dell'anteclisi monti di Battiferro-monti Sabini, si trova una struttura assimilabile ad una sineclisi orientata in senso meridiano, con una generale immersione assiale verso S. La parte centrale della struttura è ricoperta dai depositi lacustri e fluvio-lacustri della Piana di Rieti. Nei pressi di M. Posatore affiora il nucleo, lievemente asimmetrico e con tendenza al ribaltamento verso E. Sui due fianchi dell'anteclisi la sedimentazione prosegue fino al Miocene basale nella sineclisi occidentale, fino alla scaglia cinerea in quella orientale. La zona centrale della struttura prosegue verso S con gli esigui affioramenti della scaglia rossa della piana di Rieti e successivamente con i rilievi di M. Rotondo-M. Serra fino a Poggio S. Lorenzo, dove la struttura immerge nuovamente sotto la copertura plio-pleistocenica. Quasi nulla affiora, al di sotto della copertura recente, della sineclisi orientale, probabilmente poco sviluppata per quanto si può dedurre dai due piccoli affioramenti di scaglia cinerea situati a N di Belmonte in Sabina e tra Torricella in Sabina e Monteleone Sabino.

²⁵ Foglio Terni n. 138 della Carta Geologica di Italia in scala 1:100.000

²⁶ Foglio Palombara Sabina n. 144 della Carta Geologica di Italia in scala 1:100.000

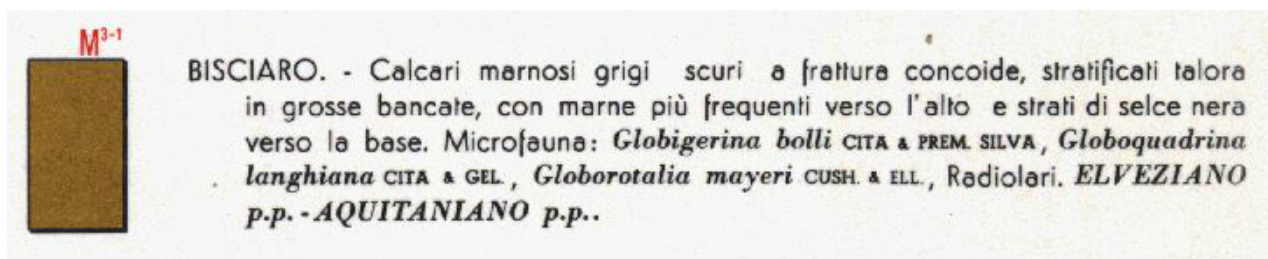


b. La cartografia geologica 1:100 000

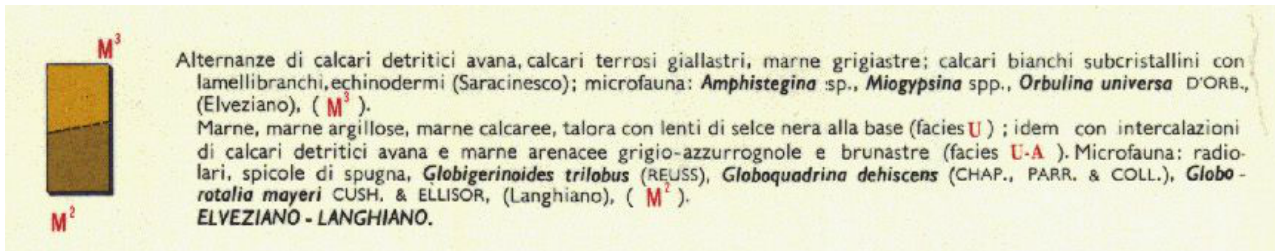
Di seguito si riportano dalla più recente alla più antica, le litologie affioranti nell'area di interesse, con una breve descrizione, fatta eccezione per i depositi pliocenici. Nella ricostruzione delle litologie affioranti nell'area di interesse viene fatto riferimento ai fogli 138 (Terni) e 144 (Palombara Sabina) della Carta Geologica d'Italia 1:100.000.

M³-E¹ – *Bisciario (F° 138)* / **M²** – *Marne, calcari detritici e marne arenacee (F° 144)* / **M³** – *Calcari detritici e marne (F° 144)*

La distinzione fra un dominio miogeosinclinale ed un'area di transizione tra facies umbra e facies abruzzese, continua anche nel Miocene inferiore e medio. I sedimenti di questa età presentano infatti due facies eteropiche: la prima esclusivamente calcareo-marnosa (**M³⁻¹**) è limitata al solo foglio Terni; la seconda, marnosa e calcareo detritica (**M²** e **M³**), interessa il settore orientale del foglio Palombara Sabina. Nell'area di facies umbra la formazione del bisciario segue in continuità la scaglia cinerea. La formazione, attribuibile all'Aquitaniense p.p. - Elveziano p.p., ha una potenza massima di 200 m. Nella zona di transizione i depositi del Miocene inferiore e medio sono altrettanto ricchi di apporti clastici come quelli della sottostante unità **M¹-E²**. Date le caratteristiche litologiche, si è potuto distinguere una parte inferiore, di età langhiana, costituita da marne e calcari marnosi, ed una superiore, elveziana, di calcari e calcari detritici. Il passaggio alla formazione **M¹-E³** è sempre molto graduale; esso è generalmente indicato da banchi di calcari detritici avana, ricchi di macroforaminiferi, dall'abbondanza di arnioni di selce bianca, avana, violacea e dalla rapida scomparsa delle intercalazioni marnose giallo-verdastre.



a



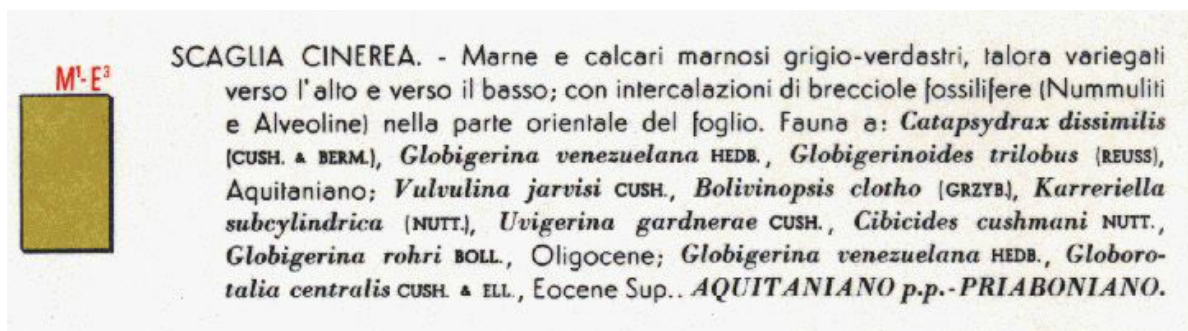
b

Figura b.1- Descrizione litologie Carta Geologica d'Italia 1: 100.000: (a) Bisciario (M^3 - E^1 - foglio 138) e (b) Marne, calcari detritici e marne arenacee (M^2 - foglio 144) e Calcari detritici e marne (M^3 - foglio 144)

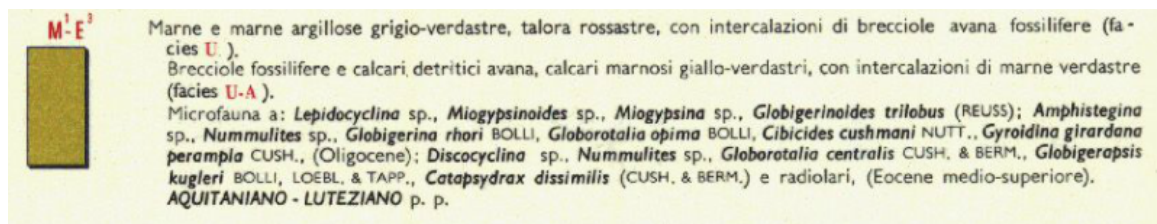
M^1 - E^3 - Scaglia Cinerea (F° 138) / M^1 - E^3 - Marne e brecciole (F° 144)

La sedimentazione corrispondente all'intervallo Eocene superiore-Aquitaniense prosegue differenziata nei domini della miogeosinclinale umbra e della zona di transizione. Si vengono così ad avere due facies eteropiche con caratteristiche diverse, ma in continuità stratigrafica con la sottostante scaglia rossa: marnosa la prima (scaglia cinerea), prevalente nel foglio Terni; detritica la seconda (marne e brecciole, prevalente nel foglio Palombara Sabina). Nell'area umbra la scaglia cinerea segue la scaglia rossa con passaggio graduale. Lo spessore medio della formazione si aggira sul centinaio di metri.

Nel foglio Palombara Sabina, nella zona di transizione e nelle aree limitrofe, a tetto della formazione E^2 - C^6 , si osserva un graduale aumento delle intercalazioni marnoso-calcaree grigie che si alternano a strati (5-50 cm) di brecciole minute con macroforaminiferi. Risalendo la successione la frequenza e lo spessore delle intercalazioni marnose diminuiscono e calcari più o meno detritici, di colore avana con piccoli noduli di selce bianca o marrone, divengono preponderanti.



a



b

Figura b.2 –Descrizione litologie Carta Geologica d’Italia 1: 100.000: (a) Scaglia Cinerea (M¹-E³ – foglio 138) e (b) Marne e breccie (M¹-E³ - foglio 144)

E²-C⁶ – Scaglia Rossa

I depositi del Cretacico superiore-Paleocene-Eocene inferiore-medio presentano caratteristiche litostratigrafiche diverse, nei tre principali domini: 1) della dorsale tiberina, 2) della miogeosinclinale umbra e 3) della zona di transizione tra la miogeosinclinale umbra e la dorsale abruzzese.

- 1) Nella zona suboccidentale del F^o 144, corrispondente alla dorsale tiberina, si osservano alcune piccole placche di scaglia, di estensione e spessori limitati, direttamente sovrapposte al calcare massiccio e talora alla corniola. Una successione, comprendente anche la scaglia cinerea e con una potenza complessiva presunta di 100-150 m, è stata rinvenuta in una galleria dell’Acquedotto del Peschiera, posta a S del M. Soratte, fra M. Carolano e M. Cupellone a quota 150 m circa.
- 2) Nel vasto dominio miogeosinclinale di facies umbra, la scaglia rossa affiora estesamente, colmando tutte le principali sineclisi dei due fogli, comprese fra una struttura positiva e l’altra, con spessori generalmente notevoli. Possono individuarsi due successioni stratigrafiche diverse.
 - a. la prima, caratteristica della zona posta a N della Valnerina, è costituita da calcari più o meno marnosi, bianchi o bianco-avorio, lastriformi, con selce bruna o nera disposta in straterelli; una intercalazione di marne nere ittiolitiche, attribuibili al Turoniano, si trova a circa 40-60 m dalla base della successione (Bonarelli, 1901). Risalendo la successione, mentre resta inalterato il litotipo, il colore della formazione varia gradualmente dal bianco-avorio al rosso carnicino e al rosso mattone; dopo una cinquantina di metri la selce scompare mentre la stratificazione diviene più sottile ed



appaiono alcune intercalazioni marnose di colore rosso. Nella parte sommitale ricompare nuovamente la selce; il tratto terminale della formazione presenta intercalazioni di calcari e calcari marnosi rossi, rosa e grigi.

- b. la seconda successione, notevolmente estesa nella parte centrale dei due fogli a S del F. Nera e a W dei fiumi Velino e Turano (versante NE del gruppo di M San Pancrazio, monti Sabini, monti Reatini, versante NE dei monti di Fara, versante orientale dei monti Lucretili fin quasi alla valle del F. Licenza) è caratterizzata da intercalazioni più o meno potenti di calcari detritici biancastri a macroforaminiferi, dapprima cretacei con frammenti di rudiste (Senoniano) e quindi più recenti fino a paleogenici; è presente, talvolta, anche qualche intercalazione conglomeratica (Collelungo) a cemento rossastro (Colle Centopezze a SE di M. La Pelosa). La potenza della formazione varia da 350-400 m circa, in corrispondenza degli affioramenti più settentrionali, a meno di 100 m ad E dei monti Lucretili, riducendosi talora a pochi metri presso Nerola e presso Roccagiovine; a Vasciano, sul versante orientale del M. San Pancrazio, l'intervallo cretacico della scaglia è rappresentato in tutti i suoi piani con uno spessore di soli 33 metri.
- 3) Il bordo orientale del foglio Palombara Sabina, ad E dell'allineamento Rocca Sinibalda-Poggio Moiano-Scandriglia-Mandela e l'angolo SE del foglio Terni (valli dei fiumi Turano, Salto e Velino), corrispondono alla zona di transizione tra l'area di facies umbra (miogeosinclinale) e quella di facies abruzzese (dorsale abruzzese). La successione stratigrafica inizia con grossi banchi di calcari cristallini bianchi o ceroidi, sottostanti ad alternanze di calcari a pasta fine, in strati sottili, di colore giallo-verdastro, e di brecciole calcaree con macroforaminiferi, con sottili intercalazioni e lenti di selce biancastra o bruna, più abbondanti verso l'alto. Il calcare assume successivamente un colore crema o avorio, talora con sfumature rosate, mentre perdurano alcune rare intercalazioni di puddinghe o, più frequentemente di brecciole fossilifere. Le prime intercalazioni marnose o calcareo-marnose grigiastre, assunte come limite inferiore della soprastante unità **M³-E²**, corrispondono al passaggio Eocene medio-Eocene



superiore; lo stesso passaggio, nell'area di facies umbra, indica il limite scaglia rossa – scaglia cinerea. La potenza della formazione si aggira sui 400; lo spessore della parte basale è di circa 200 m a Colle Linzoli (NW di Orvinio) e di soli 20 m nei dintorni di Mandela o di Licenza.

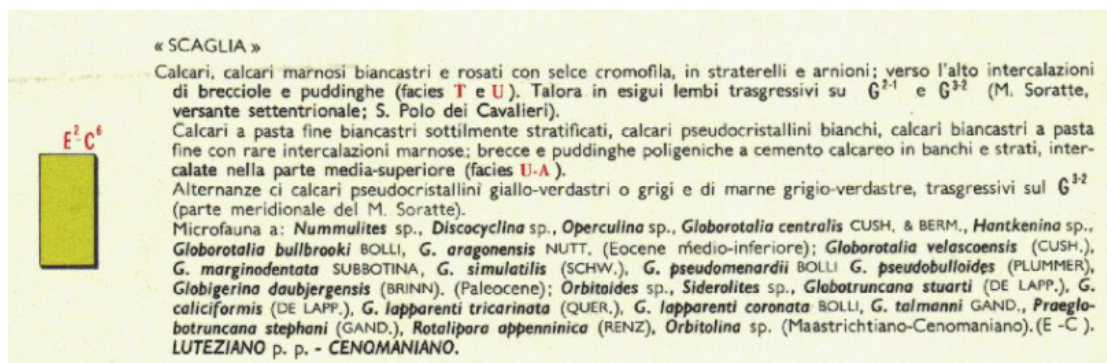


Figura b.3 - Descrizione formazione Scaglia (E²-C⁶) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (formazione comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina)

C⁵⁻⁴ – Marne a Fucoidi

Le marne a Fucoidi seguono in concordanza i calcari della maiolica. Il passaggio graduale avviene tramite calcari marnosi grigio-chiari che, progressivamente ma rapidamente, passano a marne e marne argillose policrome, fittamente e sottilmente stratificate, talora fissili, con impronte di fucoidi. Lo spessore è generalmente di alcune decine di metri. Le marne a fucoidi presentano la maiolica a letto e la scaglia a tetto. A S di Poggio Perugino (versante orientale della parte meridionale dei monti Sabini) l'assenza della formazione può essere dovuta ad una elisione per faglia. Nella parte orientale del foglio Terni sono presenti intercalazioni di calcari detritici biancastri.

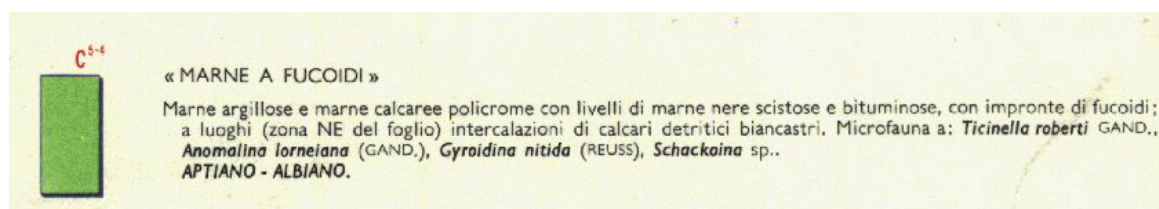


Figura b.4 - Descrizione formazione Marne a Fucoidi (C⁵⁻⁴) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (litologia comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina)

C³-G¹¹ – Maiolica



Questa formazione è rappresentata da calcari generalmente bianchi, sublitografici, a frattura concoide, ben stratificati. La maiolica segue in successione regolare gli scisti ad Aptici o i diaspri; spesso ricopre direttamente il calcare massiccio, quasi sempre in concordanza, alcune volte con discordanza angolare, come a M. Macchialunga sul versante occidentale dei monti Sabini. La potenza della maiolica è molto variabile, da un minimo di 15-20 m nella serie di alto strutturale (M. Macchialunga, Monti Cornicolani, M. Calvo) ad un massimo di 250 m circa nelle aree subsidenti (versante orientale dei Monti Sabini).

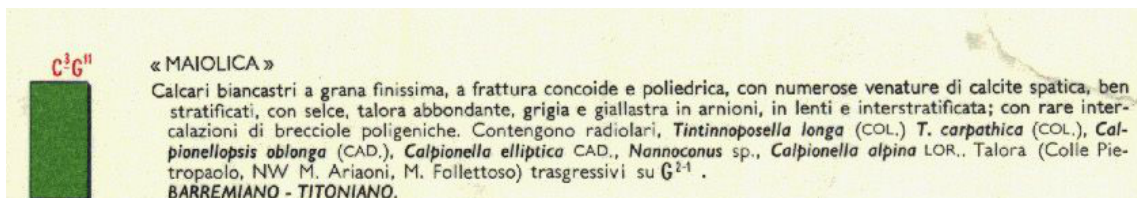
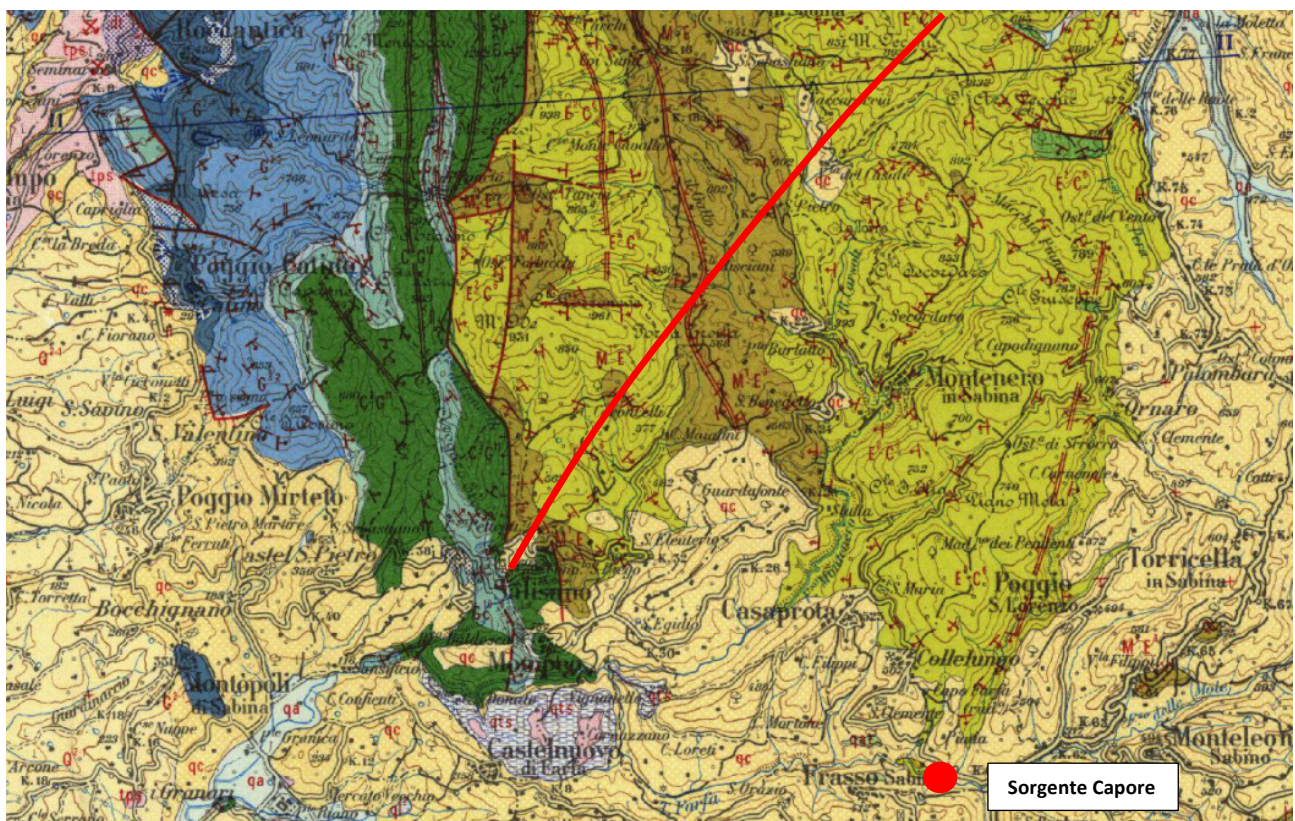


Figura b.5 - Descrizione formazione Maiolica (C³-G¹¹) dalla Carta Geologica d'Italia 1: 100.000 (litologia comune al foglio 138 – Terni – e al foglio 144 – Palombara Sabina)



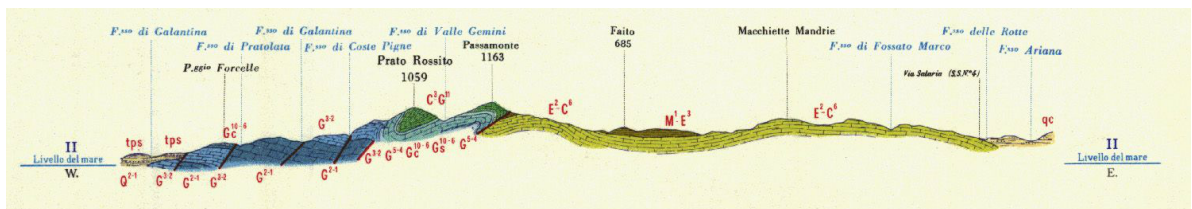
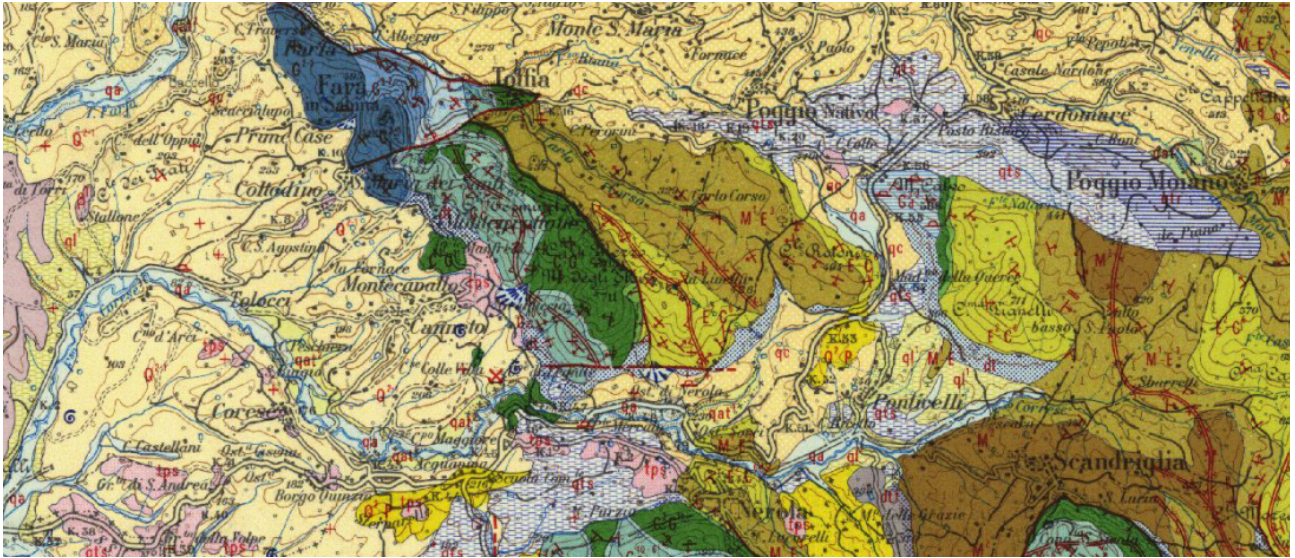
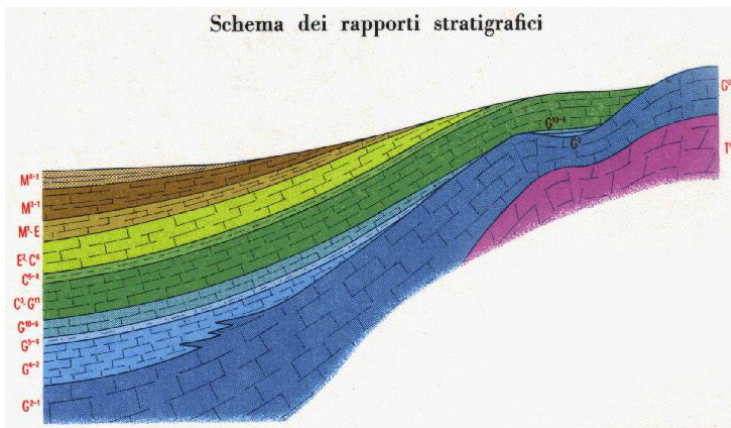
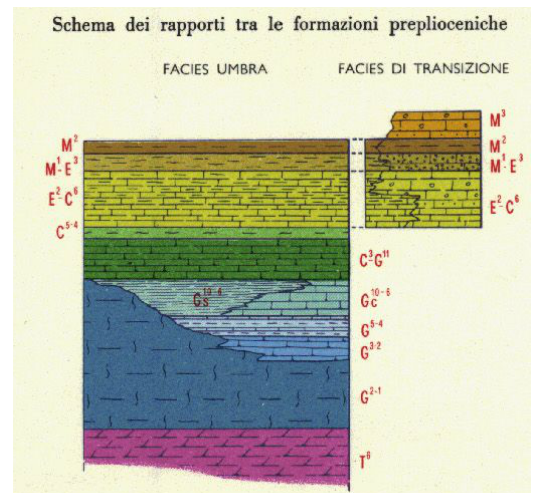


Figura b.6 - Stralcio del foglio 144 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100 000) nell'area di interesse per l'opera in progetto. In rosso il nuovo tracciato della condotta del Peschiera. Il cerchio rosso in basso rappresenta la Sorgente Le Capore. La sezione è la II-II, la cui traccia è riportata in alto nella carta geologica



a



b

Figura b.7 - Schema dei rapporti stratigrafici: (a) stralcio del foglio 138 e (b) del foglio 144 della Carta geologica d'Italia (scala 1:100 000).

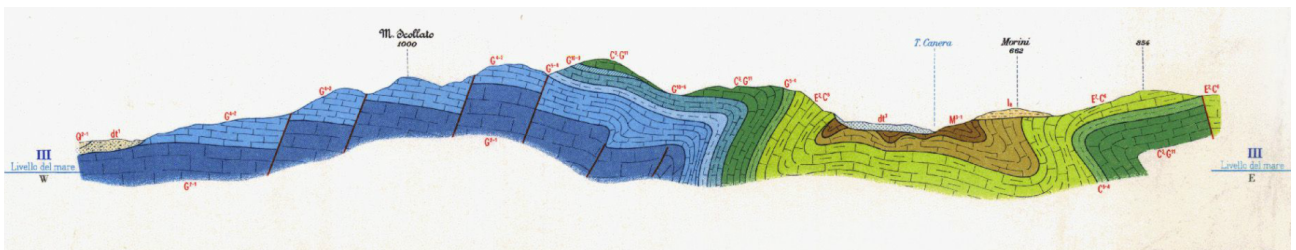
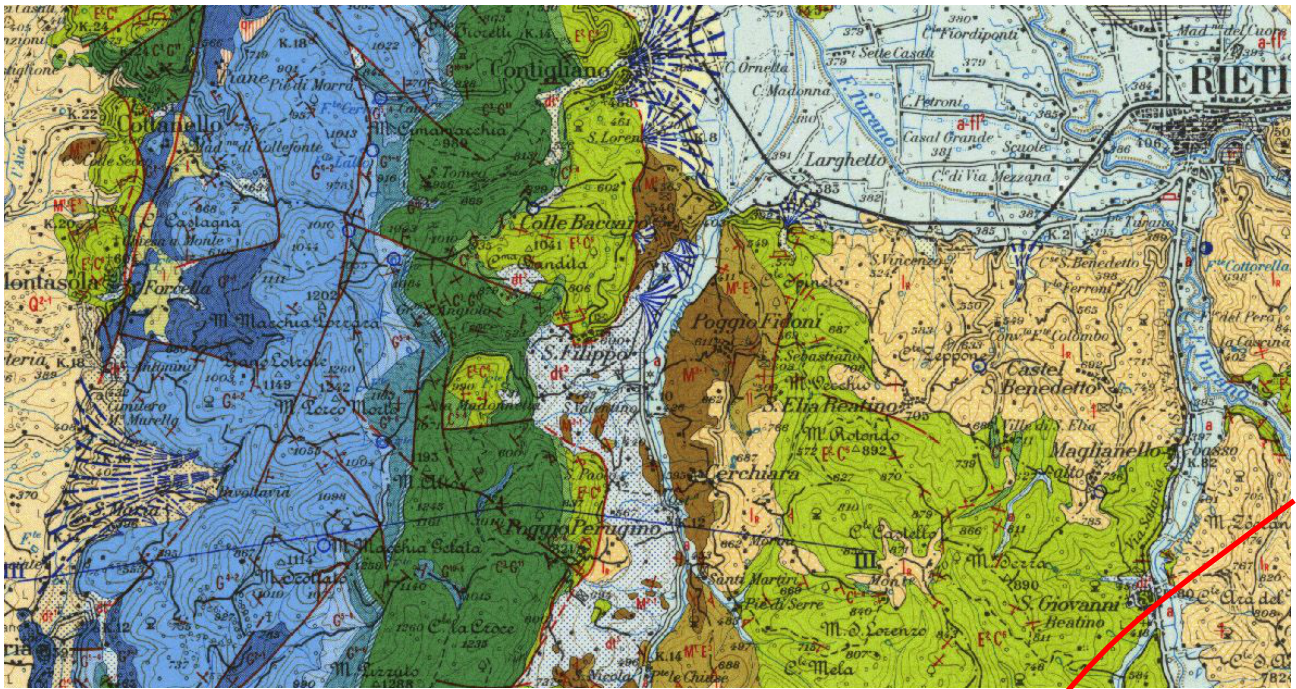


Figura b.8 - Stralcio della legenda del foglio 144 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100 000) nell'area di interesse. La sezione è la III-III, la cui traccia è riportata nello stralcio della Carta Geologica.

c. Cartografia geologica 1:50 000 (foglio 357 - Cittaducale)

Di seguito si riportano dalla più recente alla più antica, le principali caratteristiche delle litologie affioranti nell'area di interesse descritte dalle note illustrative. Differentemente dalla precedente, la carta 1:50 000 suddivide l'unità della scaglia, identificando le tre litologie relative alla scaglia bianca (SBI), rossa (SAA) e variegata (VAS). Ciò risulta importante ai fini del successivo approfondimento idrogeologico, in quanto diversi studi di letteratura riconoscono la scaglia rossa come sede dell'acquifero, alimentante la Sorgente Le Capore.

Unità di Cenciara (UGR)

Gli affioramenti più estesi di quest'unità si trovano nel quadrante NE del Foglio. È formata da depositi sempre ben cementati, costituiti da conglomerati eterometrici



clasto-sostenuti, a clasti calcareo-marnosi con diametro generalmente compreso tra 5 e 15 cm. Sono generalmente poco organizzati, con strati piano-paralleli, da decimetrici a metrici, spesso amalgamati a formare potenti bancate spesse da 5 a 20-30 m (valle del F. Turano e valle del F. Salto). Si intercalano livelli di clasti più grossolani, embricati, con diametro di 20-40 cm. Nei settori nord-orientali si intercalano corpi caotici lenticolari di breccie a matrice fangosa, in facies di debris-flow. Sono inoltre presenti, a diverse altezze stratigrafiche, orizzonti spessi fino a 2-3 m, costituiti da calcareniti laminate, limi carbonatici e subordinate lenti conglomeratiche a clasti centimetrici, con livelli rosa debolmente alterati. La frazione conglomeratica di questa unità è costituita per la maggior parte (almeno l'80%) da clasti riferibili ai termini della successione umbrosabina e subordinatamente a quelli della piattaforma laziale-abruzzese, mentre i clasti arenacei e le frazioni sabbiose silicoclastiche, derivate dal disfacimento delle successioni torbiditiche, sono assenti²⁷. In alcuni punti della parte basale dell'unità, dove i depositi sono confinati tra gli alti morfologici del substrato carbonatico, la composizione litologica dei conglomerati è fortemente influenzata dai litotipi del substrato stesso. Risulta, infatti, una locale abbondanza di clasti calcareo-marnosi rossi e grigioverdi, derivati dallo smantellamento dei litotipi della Scaglia rossa e/o delle Marne a Fucoidi. Ciò si riflette anche sulla composizione della matrice, che assume, in questi casi, un colore rosso (Cerchiara, Maglianello basso, S. Giovanni Reatino, valle del F. Salto a "Casale de Annella"). La granulometria dei depositi diminuisce spostandosi da nord verso sud, con il graduale passaggio a litofacies con stratificazioni e laminazioni meglio definite, con la diminuzione dello spessore delle bancate conglomeratiche e l'aumento della frazione calcarenitica e limosa. Nelle porzioni settentrionali del Foglio, le paleocorrenti misurate indicano apporti da N verso S (Poggio Fidoni, Monte San Giovanni in Sabina, Rieti, S. Elia Reatino) e da NO verso SE (valle del F. Salto, valle del F. Velino, valle del F. Turano). Nel settore meridionale, i clasti sono da subarrotondati ad angolosi, in media subangolosi, la matrice è abbondante e costituita da limi di natura prevalentemente carbonatica o marnosa.

Bisciario (**BIS**)

²⁷ Cavinato & Parotto, 1992; Barberi & Cavinato, 1993; Cavinato, 1993



Il Bisciario affiora lungo i versanti della valle del Torrente Canera e, in alcuni lembi isolati, a est del sovrascorrimento Monte Tancia – Monte Ode – Salisano. Si tratta di alternanze di marne, marne calcaree e calcari marnosi di colore grigio, avana e nero, localmente silicizzati, disposti in strati e banchi. Sono presenti sottili interstrati marnoso argillosi. Nella sezione di Osteria Tancia, sono ben evidenti due orizzonti di selce nera concentrata in lenti e noduli, caratteristici della formazione. L'ambiente di sedimentazione è di bacino pelagico. Lo spessore della formazione è 50 metri. L'età del Bisciario è Miocene inferiore.

Scaglia Cinerea (SCC)

Questa formazione affiora, principalmente, lungo i versanti della valle del Torrente Canera e, lungo una fascia N-S, a est del sovrascorrimento Monte Tancia – Monte Ode – Salisano. Ulteriori affioramenti di questa formazione interessano i versanti della valle del Fosso Carlo Corso. La formazione è caratterizzata dall'alternanza di marne, a luoghi calcaree, con fauna a foraminiferi planctonici, e marne argillose spesso intensamente foliate, di colore grigio verdastro, a volte rossastro. Lo spessore della formazione può essere variabile in funzione della quantità di risedimenti calcicotorbiditici presenti; mediamente si attesta intorno a 100 metri. L'età della Scaglia cinerea è Eocene superiore – Miocene inferiore (Priaboniano p.p. – Aquitoniano p.p.).

Scaglia Variegata (VAS)

Affiora, principalmente, sui versanti della valle del Torrente Canera e alla base del versante orientale della dorsale Monte Tancia – Colle Sterparo. È costituita da alternanze di calcari marnosi, marne e marne argillose di colore rosato, avana e grigio, disposti in strati decimetrici. L'ambiente di sedimentazione è di bacino pelagico (slope distale). Localmente, verso il tetto della formazione, si osservano livelli e lenti di conglomerati, con ciottoli anche di grandi dimensioni (max 20 cm), contenenti una ricca fauna a nummuliti, anche di grandi dimensioni. Il limite inferiore è segnato dalla comparsa di livelli marnosi e dalla netta diminuzione dei calcari micritici rosati. Il limite superiore, invece, è definito da un brusco aumento della frazione argillosa. Lo spessore della formazione è di circa 50. L'età della Scaglia Variegata è Eocene medio – Eocene superiore.

Scaglia Rossa (SAA)



Affiora, principalmente, sui versanti della valle del Torrente Canera. Questa formazione è costituita da alternanze di calcari marnosi, in strati sottili e medi, e marne, in strati e banchi, di colore rossastro ed avana, con selce rossa in liste e noduli. Sono presenti, inoltre, numerose intercalazioni di debriti in strati, lenti e bancate (spessore fino a 1 m), costituiti da calcareniti e calciruditi. L'ambiente di sedimentazione è di bacino pelagico (*slope* distale). Nella parte bassa della formazione è presente *Globotruncana gr. lapparenti* Brotzen. Nella parte mediana (Cretacico superiore, Maastrichtiano) sono presenti *Globotruncanita stuarti* (De Lapparent), *Globotruncanita conica* (White) e *Rosita contusa* (Cushman). La parte alta della formazione (Paleocene-Eocene) è caratterizzata da un aumento della componente marnosa e dalla presenza di foraminiferi planctonici dei generi *Morozovella* e *Globorotalia*. Il limite superiore è caratterizzato da un progressivo aumento della componente argillosa. Lo spessore della formazione è circa 200 metri. L'età è Cretacico superiore - Eocene medio (Turoniano p.p. - Ypresiano).

Scaglia Bianca (**SBI**)

Nei Monti Sabini occidentali, gli affioramenti di *Scaglia bianca* sono scarsi e limitati ai settori di Cima Bandita-Colle Termine, Colle Tre Croci-Poggio Perugino, zona di Monte Ode, a nord e a sud di località Casarini e alla Montagnola.

Nei Monti Sabini centrali, viceversa, costituisce la formazione più rappresentata in affioramento, caratterizzando tutta la dorsale Monte Mazzamorro-Monte Serra-Monte Vecchio-Lago Rosciolo. Si tratta di calcari micritici e calcari marnosi bianchi ben stratificati, con liste, lenti, e noduli di selce nera e intercalazioni di debriti carbonatiche (calcareniti, calcari cristallini). Il contenuto fossilifero è costituito da foraminiferi planctonici [*Planomalina sp.*, *Rotalipora sp.* e *Helvetoglobotruncana helvetica* (Bolli)], nei livelli micritici, mentre nei livelli detritici sono abbondanti i frammenti di echinidi e di gusci di rudiste. L'ambiente di sedimentazione è di bacino pelagico (*slope* distale).

Nella parte alta della formazione è presente il "*livello Bonarelli*", costituito da marne argillose, selce nera e argille in straterelli sottili, ricche in sostanza organica. Il passaggio stratigrafico alle sottostanti *Marne a fucoidi* è dato da un progressivo aumento della componente argillosa, mentre il limite superiore con la sovrastante *Scaglia rossa* è segnato dalla comparsa di selce rossa e dalla colorazione rosata ed avana che i calcari



marnosi assumono localmente. Lo spessore della formazione è circa 250 metri. L'età della *Scaglia bianca* è Cretacico superiore (*Cenomaniano – Turoniano p.p.*).

Marne a Fucoidi (FUC)

A ovest della valle del Torrente Canera (Monti Sabini occidentali), le Marne a fucoidi affiorano in pochi e limitati settori: intorno al rilievo Colle Termine-Cima Bandita, sul versante orientale di Costa Mosca Castagna, a ovest dell'allineamento Colle Tre Croci-Poggio Perugino, a nord e sud di Colle Pozzoneve. Altrettanto scarsi sono gli affioramenti di questa formazione nei Monti Sabini centrali (tra la valle del Torrente Canera e la valle del Torrente Ariana), dove affiorano a sud di Sant'Elia, a est di Colle Carosello, a sud e a est di Monte Vecchio, a Piano Grande e nelle zone di S. Giovanni Reatino e Rocchetta.

Questa formazione è costituita da marne e marne argillose di colore prevalentemente verdastro e rossastro, fittamente e sottilmente stratificate, localmente foliate. Sono presenti, in maniera subordinata, calcari marnosi e marne calcaree di colore grigio-verdastro. Localmente le marne risultano fortemente bioturbate (*Thalassinoides* sp., *Chondrites* sp., etc.). Nel settore dei Monti Sabini centrali (zona Sant'Elia), sono frequenti le intercalazioni carbonatoclastiche di livelli contenenti abbondante microfauna a *Orbitolina* spp. Il contenuto fossilifero delle Marne a fucoidi è dato principalmente da foraminiferi planctonici (gruppo *Hedbergella-Ticinella*). Verso il tetto della formazione si assiste a una rapida diminuzione della frazione argillosa.

L'ambiente di sedimentazione è di bacino pelagico (*slope* distale). Lo spessore della formazione è circa 70 metri. L'età delle *Marne a fucoidi* è Cretacico inferiore (*Aptiano-Albiano*).

Maiolica (MAI)

Questa formazione affiora estesamente nella porzione centrale dei Monti Sabini occidentali, lungo una fascia allineata N-S comprendente: Colle Cese, Monte Macchia Cerro, Monte Alto, Monte Pizzuto, Monte Menicoccio, Colle Sterparo, Passamonte, Colle S. Erasmo. Affiora, inoltre, in alcune aree dei Monti Sabini centrali (Monte Cercuni, San Giovanni Reatino, Rocchetta, etc.) e nei Monti di Fara in Sabina. Si tratta di calcari micritici di colore bianco (localmente grigio, giallastro e nocciola chiaro), con liste e noduli di selce grigio chiaro. Questi litotipi sono, generalmente, disposti in strati di 10-



40 cm. Ai calcari micritici, spesso, si intercalano calcari finemente detritici bianchi. Lo spessore della Maiolica è di circa 250 metri.

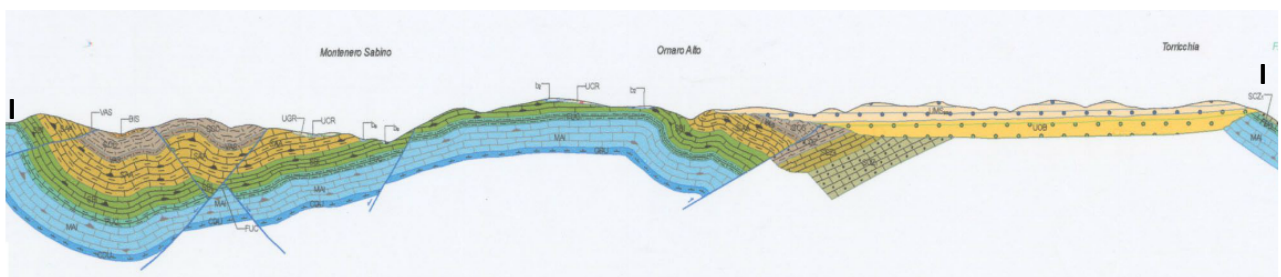
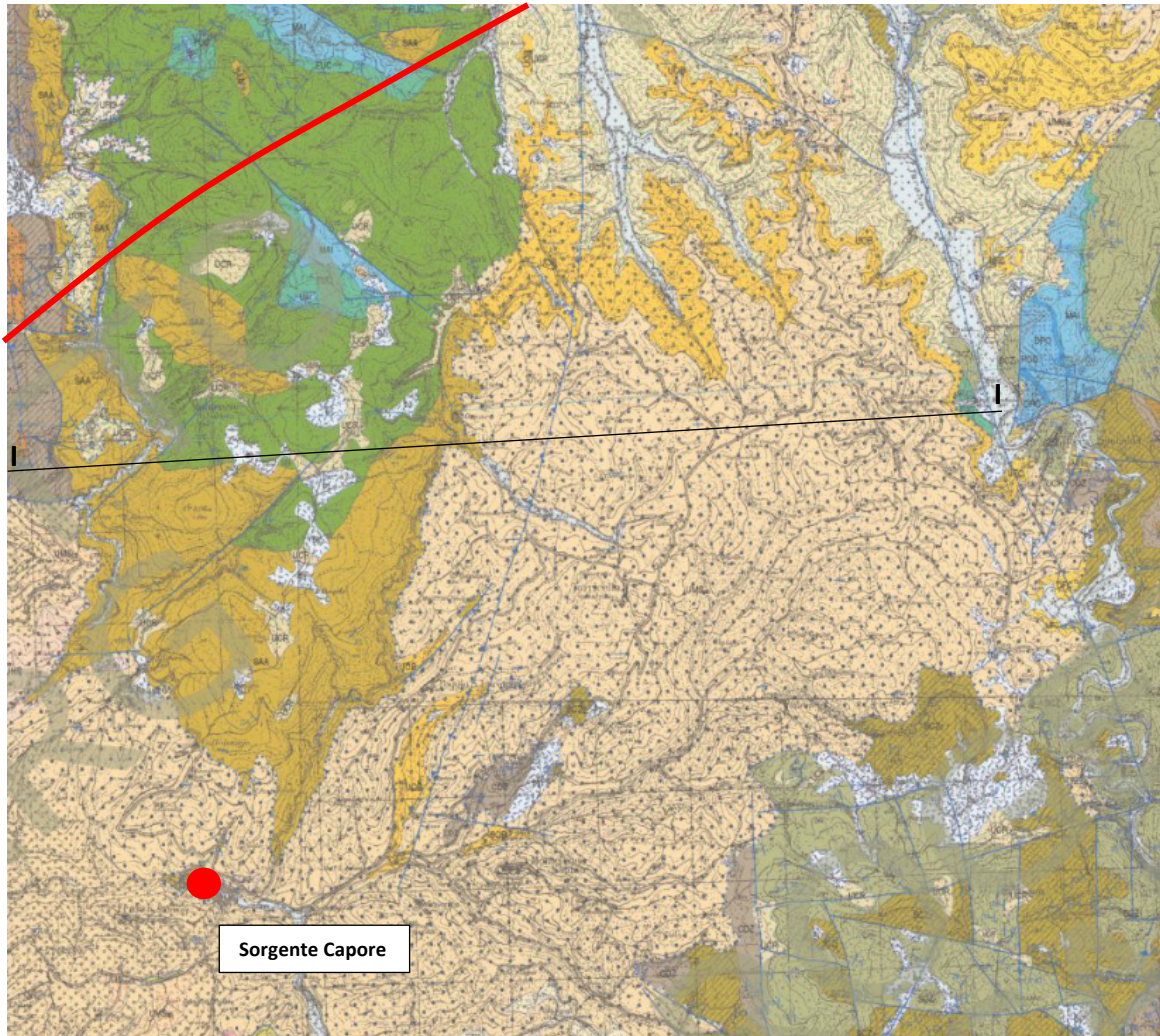


Figura c.1 - Stralcio del foglio 357 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50.000) nell'area di interesse. Il cerchio rosso rappresenta la Sorgente Le Capore. La sezione è la I-I, la cui traccia è riportata in carta geologica.



Figura c.2 - Stralcio della legenda del foglio 357 della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50 000) nell'area di interesse.

d. Schema tettonico dell'area dei Monti Sabini

Lo schema tettonico dei Monti Sabini è suddiviso in diverse unità, tra le quali l'unità 3 dei Monti Sabini centrali risulta quella in interazione con il progetto della condotta.

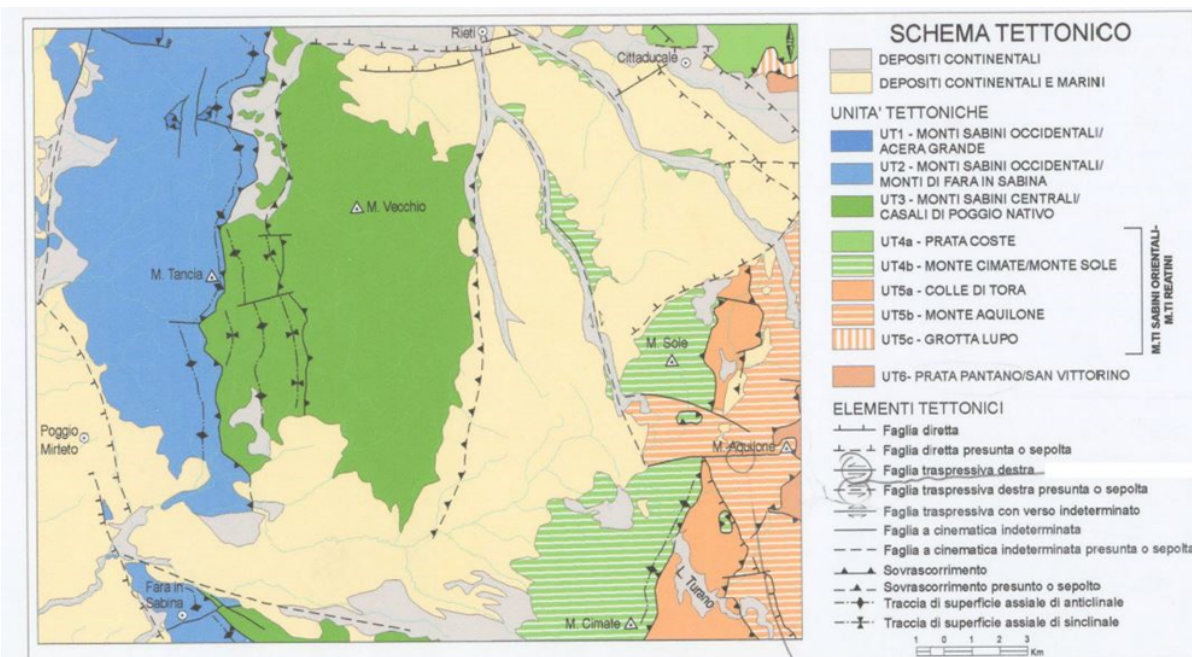


Figura d.1 - Stralcio dello schema tettonico dalla carta geologica d'Italia (scala 1:50 000) nell'area di interesse.

UT2 - M.ti Sabini occidentali; M. Alto - M. Tancia - M.ti di Fara in Sabina

Questa unità tettonica è delimitata verso il basso da una superficie di sovrascorrimento a sviluppo regionale, che continua a nord e a sud nei due Fogli limitrofi: Rieti e Palombara Sabina, rispettivamente. Nell'area del Foglio 357-Cittaducale la superficie di sovrascorrimento basale che delimita questa unità affiora con buona evidenza morfologica e strutturale (sovrascorrimento del M. Tancia). In affioramento, le unità stratigrafiche coinvolte al tetto di questo sovrascorrimento sono comprese tra il Calcere massiccio e la Scaglia rossa. Il segmento di questa unità tettonica, a volte, presenta un assetto geometrico complesso, caratterizzato da una serie di piani di accavallamento associati (splay thrust) che ne complicano l'assetto strutturale. Questo carattere è ben evidente nei tratti San Filippo-Poggio Perugino, M. Tancia e M. Ode - Salisano, dove vengono coinvolte nella deformazione la *Scaglia rossa*, la *Scaglia variegata* e la *Scaglia cinerea*.

UT3 - M.ti Sabini centrali; Casali di Poggio Nativo

Questa unità tettonica è delimitata verso il basso da una superficie di sovrascorrimento dedotta da dati geometrico-stratigrafici di superficie, ma mai affiorante nell'area del



Foglio 357-Cittaducale, in quanto sepolta al disotto delle coperture villafranchiane e oloceniche. Alcuni affioramenti del substrato pre-orogenico (**SCZ1**, **SCZ2** e **CDZ**) appartenenti alla *UT4*, presenti a nord di Monteleone Sabino e lungo la valle del Fiume Turano, vincolano il passaggio del sovrascorrimento basale della *UT3* subito a est di Poggio S. Lorenzo e Ornaro e, più a nord, in corrispondenza della confluenza del Fosso Ariana nel Fiume Turano. Alcuni autori²⁸, nel tentativo di costruzione di una sezione geologica bilanciata attraverso i Monti Sabini e i rilievi del Cicolano, suggeriscono una superficie di sovrascorrimento in posizione analoga a quella qui ipotizzata a separazione tra l'*UT3* e l'*UT4* (Figura d.1). In superficie, le unità stratigrafiche coinvolte nell'*UT3* vanno dalla Maiolica (MAI) allo Schlier (SCH). Queste risultano deformate in una serie di pieghe, a direttrice quasi meridiana, leggermente oblique rispetto al sistema di sovrascorrimenti della struttura del M. Tancia, cosicché in superficie le strutture plicative, associate alla *UT3*, risultano troncate da quest'ultimo. In particolare, un sistema di pieghe ravvicinate interessa il settore occidentale dell'*UT3*, a ridosso del sovrascorrimento del M. Tancia, dove al nucleo delle strutture sinclinali è presente la formazione del Bisciario (BIS) (Osteria Tancia e Val Canera), mentre il nucleo delle anticlinali è costituito in affioramento dalla Scaglia rossa (SAA), Scaglia bianca (SBI), Marne a fucoidi (FUC) e Maiolica (MAI). Il fianco orientale della struttura sinclinalica a decorso circa meridiano, che dalla Val Canera prosegue a sud verso Monte Cavallo e Forca Trolla, è prevalentemente rovescio ed è interessato da una superficie di retroscorrimento che interessa l'intera struttura. Nella porzione settentrionale della Val Canera, la superficie di retroscorrimento risulta sepolta al disotto delle coperture oloceniche del fondovalle.

UT4 - M.ti Sabini orientali; M. Cimate-M. Sole

Questa unità tettonica può essere suddivisa in due sotto unità, separate all'incirca dalla valle del Fiume Velino. In superficie, la sottounità più settentrionale (*UT4a*) coinvolge nella deformazione la successione stratigrafica che va dal Calcare massiccio (MAS) alla Maiolica (MAI). La sottounità meridionale (*UT4b*), che si sviluppa a sud della valle del Fiume Velino, ed è la più estesa, in superficie è caratterizzata dall'affioramento della

²⁸ Corrado, S. et alii (1995) – Verifiche delle compatibilità geometriche e cinematiche del thrust-belt Sabino (Appennino Centrale), Studi Geologici Camerti, Volume Speciale 1995/2. Pp. 145-153



successione che va dai Calcari detritici con Posidonia (DPO) fino ai Calcari a briozoi e litotamni (CBZ). Il sovrascorrimento basale dell'UT4 presenta un decorso NNE-SSO e nella sua porzione più settentrionale è fortemente dislocato da sistemi di faglie, a prevalente rigetto verticale, orientati ONO-ESE ed E-O.

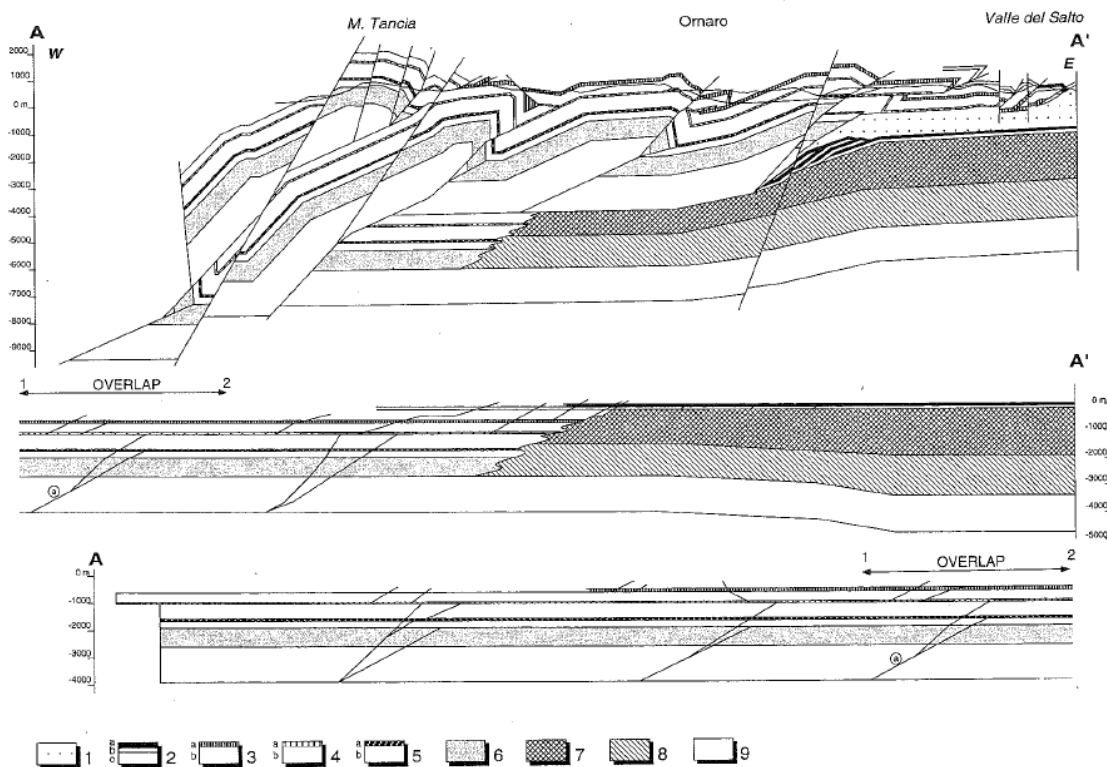


Figura d.2 - Stralcio della sezione geologica dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 50.000). La sezione geologica geometricamente corretta attraverso la porzione settentrionale del Foglio 357 - Cittaducale, dalla struttura del M. Tancia (UT2) fino alla Valle del Salto (UT6) e relativa sezione retrodeformata in basso (Corrado et al., 1995). Le formazioni della sezione geologica A-A' sono: 1) successione terrigene altomioceniche; 2) a: Marne a Orbulina, b: Calcari a briozoi a Litotamni, c): Unità Spongolitica; 3) a: Scaglia cinerea e Scaglia cinerea detritica, b: Scaglia rossa; 4) a: Marne a Fucoidi, b): Maiolica, Calcari diasprigni, Calcari detritici con Posidonia; 5) a: Marne di Monte Serrone, b): Corniola; 6) Calcare massiccio; 7) Calcari di piattaforma carbonatica; 8): Calcari e dolomie di piattaforma carbonatica; 9) Calcari e dolomie di piattaforma carbonatica ristretta.

UT5 - M.ti Sabini orientali; Castel di Tora-M. Porraglia-M. Aquilone

Questa unità tettonica affiora nel settore sudorientale del Foglio, a sud della valle del Fiume Velino, e in minor misura, a est di Cittaducale. In affioramento, questa unità tettonica è caratterizzata dalla deformazione dei termini eocenico-miocenici della



successione dei Monti Sabini orientali. A sud del Fiume Velino, in questa unità tettonica sono state accorpate due sottounità (UT5a e UT5b), separate tra di loro da una superficie di sovrascorrimento a minor rigetto stratigrafico. Il sovrascorrimento basale, che separa questa unità tettonica dalla sottostante UT6, affiora in pochi punti all'interno del Foglio 357-Cittaducale (base M. Aquilone-M.Arino, nel settore meridionale, e sul versante meridionale di M. Paterno, nel settore settentrionale), per estendersi maggiormente nel contiguo Foglio 358-Pescorocchiano. Questo sovrascorrimento costituisce l'elemento tettonico più esterno del sistema dei sovrascorrimenti associati alla linea Olevano-AnTRODoco.

Anche questa unità tettonica, come la sovrastante UT4, risulta fortemente disarticolata da sistemi di faglie, a prevalente rigetto verticale, orientati ONO-ESE ed E-O.

Nel settore sud-orientale del Foglio 357-Cittaducale, un fitto reticolo di faglie a prevalente cinematica estensionale disloca le unità tettoniche più esterne della catena sabina (UT4, UT5 e UT6), interrompendo l'originaria continuità laterale dei principali fronti di sovrascorrimento. Uno degli elementi tettonici più importanti, per estensione e rigetto, della fase post-orogena di quest'area è la prosecuzione settentrionale della *Faglia di Ascrea*.

e. Inquadramento idrogeologico e Risorse idriche sotterranee

L'area compresa nel Foglio 357-Cittaducale presenta caratteristiche idrogeologiche peculiari²⁹, in quanto sede di numerose e copiose sorgenti, alimentate dalle falde basali regionali, i cui acquiferi si estendono ben oltre i limiti dell'area in esame. Le aree di principale interesse idrogeologico sono rappresentate dalla Piana di S.Vittorino, dalla valle del Fiume Farfa e dai tratti terminali dei fiumi Salto e Turano. La portata complessivamente erogata dalle principali sorgenti supera i 30 m³/s, includendo le emergenze lineari ubicate direttamente negli alvei fluviali³⁰.

Oltre alle sorgenti più importanti, la risorsa idrica sotterranea disponibile comprende anche sorgenti di portata dell'ordine del litro al secondo fino a qualche decina di litri al secondo, alimentate da acquiferi locali (conoidi alluvionali, depositi detritici) o

²⁹ Note illustrative della Carta Geologica D'Italia alla scala 1:50 000, Foglio 357 Cittaducale

³⁰ Boni & Petitta, 1994; Boni et alii, 1995



determinate da condizioni idrogeologiche specifiche (limiti di permeabilità per faglia o litologici).

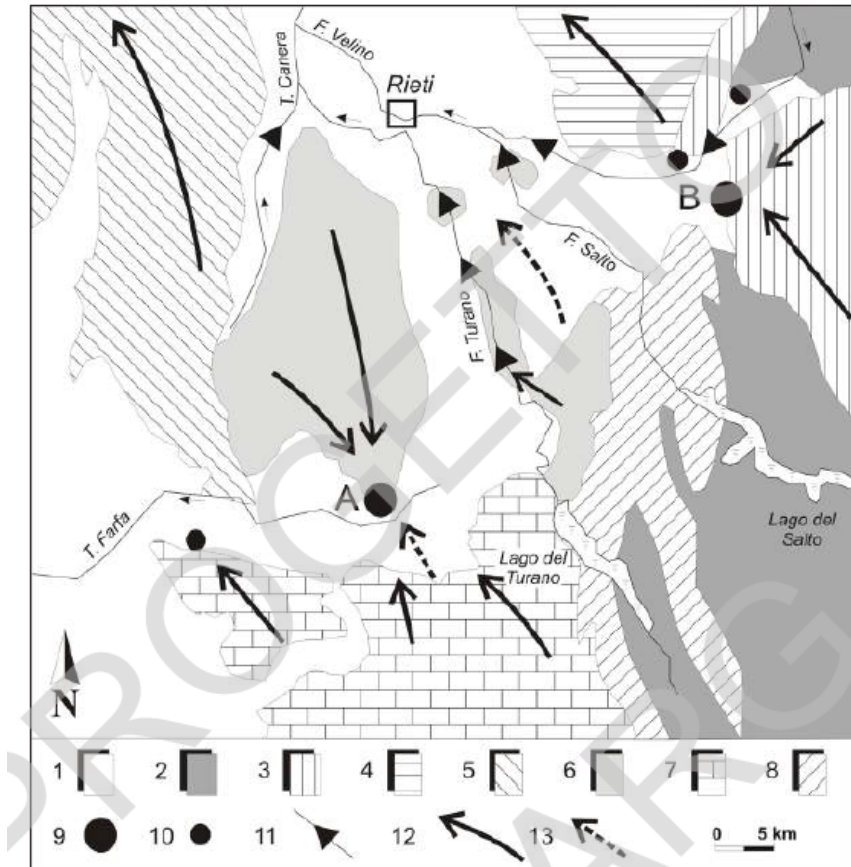


Fig. 22 - Schema idrogeologico del Foglio 357-Cittaducale e delle aree limitrofe. 1- depositi plio-
 quaternari del bacino tiberino e reatino (acquitardo); 2- depositi terrigeni torbiditici altomiocenici
 (acquitardo); Unità idrogeologiche: 3- U.I. dei Monti Giano-Nuria-Velino; 4- U.I. dei Monti Reatini;
 5- U.I. dei Monti Sabini occidentali; 6- U.I. dei Monti Sabini centrali; 7- U.I. dei Monti Sabini me-
 ridionali; 8- U.I. dei Monti Sabini orientali; 9- sorgenti basali principali (A: Capore, B: Peschiera);
 10- sorgenti basali di portata compresa tra 0.2 e 2 m³/s; 11- sorgente lineare; 12- direzione di flusso
 delle acque sotterranee; 13- direzione di flusso delle acque sotterranee in unità idrogeologiche non
 affioranti.

Figura e.1 - Stralcio dello schema idrogeologico dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia (scala 1:50 000)

Le maggiori unità idrogeologiche (Figura e.1) sono rappresentate principalmente dagli acquiferi carbonatici, prevalentemente della successione Umbro-sabina, che comprendono i Monti Reatini (estremità meridionale), i Monti Giano-Nuria-Velino (di piattaforma carbonatica, per la sola estremità nord-occidentale), la dorsale dei Monti Sabini occidentali (M. Tancia-M. Pizzuto), quella dei Monti Sabini centrali, la dorsale dei Monti Sabini orientali (M. Navegna-M. Sole) e quella dei Monti di Fara Sabina. Oltre a queste, vanno segnalate le unità idrogeologiche relative ai depositi conglomeratici plio-



quaternari del Bacino di Rieti (Valle del Turano e del Salto) e quella dei depositi fluviali recenti e attuali (Piana di S. Vittorino e estremità meridionale della Piana di Rieti). La Figura e.1 illustra la distribuzione delle diverse unità idrogeologiche e l'ubicazione delle principali sorgenti. La Piana di S. Vittorino è sede di numerose sorgenti, in parte direttamente alimentate dall'acquifero dei Monti Giano-Nuria-Velino, la cui più importante emergenza è rappresentata dalle Sorgenti del Peschiera, parzialmente captate per l'approvvigionamento idrico della città di Roma (9 m³/s su 18 di portata media complessiva). L'acquifero di piattaforma carbonatica alimenta però, tramite un deflusso idrico sotterraneo nel sottosuolo della piana (sia attraverso i carbonati ribassati per faglia che tramite i depositi alluvionali più permeabili, quali ghiaie, sabbie e travertini), anche importanti sorgenti ubicate sul bordo settentrionale della Piana di S. Vittorino, tra cui quelle di S. Vittorino, di Cotilia e di Paterno. Queste sorgenti presenti sul limite settentrionale della piana ricevono con tutta probabilità contributi anche dalle propaggini orientali dei Monti Reatini, avendo come area di alimentazione i carbonati presenti al letto del sovrascorrimento Olevano-Antrodoco³¹. Oltre alle sorgenti localizzate, si individuano anche sorgenti lineari nel Fosso Acque di Cotilia e nell'alveo del Fiume Velino in località Vasche. Il Fiume Velino risulta invece indipendente dalla circolazione idrica sotterranea nel tratto di attraversamento della Piana di S. Vittorino, dove scorre in alveo rettificato pensile. La complessa tettonica della Piana di S. Vittorino, responsabile della risalita di fluidi gassosi mineralizzanti ricchi soprattutto in CO₂ e in H₂S, influenza la sopra descritta circolazione idrica sotterranea, determinando la mineralizzazione solfurea e ferruginosa di alcune sorgenti, il cui esempio più evidente è dato dalle Terme di Cotilia. La complessa interazione tra tettonica, idrogeologia e risalita di fluidi idrotermali determina anche la rapida dissoluzione sotterranea dei depositi carbonatici, basali e detritici, che dà luogo alla formazione del tipico fenomeno dei sinkholes³².

Immediatamente a valle di S. Vittorino, nell'area di confluenza tra il Fiume Velino e il Fiume Salto, l'affioramento dei depositi meso-cenozoici umbro-sabini al di sotto delle coperture alluvionali plio-pleistoceniche, determina diversificati e importanti apporti

³¹ Petitta et alii, 2003

³² Bigi et alii, 2000; Boni et alii, 2004; Capelli et alii, 2000; Menotti et alii, 1999; Salvati & Sasowsky, 2002



diretti nell'alveo dei fiumi e dei canali artificiali (Enel). Qui la falda regionale risulta limitata superiormente dall'unità dei conglomerati, meno permeabile della sottostante unità carbonatica. Nei tratti dove l'erosione fluviale o gli scavi artificiali, a cielo aperto o in galleria, arrivano ad intercettare la sottostante unità carbonatica, si determinano incrementi diretti in alveo dell'ordine delle diverse centinaia di litri al secondo. Analogo fenomeno è stato registrato nella media Valle del Salto e soprattutto in quella del Turano, dove sono stati recentemente misurati incrementi in alveo localizzati in corrispondenza dell'affioramento del substrato carbonatico. La sovrastante unità dei conglomerati plio-quadernari, pur dotata di una discreta permeabilità, dà luogo soltanto ad emergenze localizzate di portata ridotta (inferiore ai 10 l/s), molto spesso captate per uso potabile dai piccoli centri del reatino. È quindi sede di una circolazione idrica sotterranea abbastanza frammentata, dove i livelli limoso-argillosi fungono spesso da limiti di permeabilità locali. Il settore sud-orientale del Foglio, in corrispondenza della dorsale M. Navegna-M. Sole, non è particolarmente ricco di acque sotterranee, ma alimenta una serie di sorgenti (portata media qualche decina di litri al secondo), dovute a situazioni geologiche locali, la cui portata complessiva si attesta sui 200 l/s. La stessa unità idrogeologica contribuisce, a scala regionale, ad alimentare le importanti sorgenti de Le Capore, ubicate nella valle del Torrente Farfa, in prossimità di Frasso. Queste sorgenti, di portata media pari a 5 m³/s, sono completamente captate per l'approvvigionamento idrico di Roma e hanno un bacino di alimentazione che comprende tutta l'unità idrogeologica dei Monti Sabini centrali, ma che si estende anche verso est, come già detto, e soprattutto verso sud, nei Monti Sabini meridionali, oltre i limiti del Foglio in esame³³. La circolazione idrica sotterranea nei Monti Sabini occidentali risulta invece isolata da quella facente capo alle sorgenti Le Capore. In questo caso, il limite tettonico del sovrascorrimento del M. Tancia determina un limite a flusso nullo e la conseguente separazione in due direzioni differenti del flusso idrico sotterraneo. Anche in questo caso non mancano sorgenti localizzate di portata ridotta poste proprio lungo il limite di permeabilità, ma il drenaggio sotterraneo di questa dorsale è indirizzato verso le sorgenti delle Gole di Montoro-Stifone in Umbria, a nord-ovest dell'area in esame. Tuttavia, la falda basale risulta sfiorare anche nella valle del Torrente Canera, dove sono state recentemente misurati incrementi in alveo e sorgenti localizzate per un totale di

³³ Boni et alii, 1998



circa 400 l/s; tale area rappresenta quindi un punto di affioramento della falda regionale che contribuisce al deflusso del Canera verso la Piana di Rieti³⁴. Quest'ultima rappresenta un'unità idrogeologica a sé stante, il cui quadro idrodinamico ha le principali espressioni nel settore settentrionale, fuori del Foglio in esame (Sorgenti di S. Susanna, S. Liberato, Cantaro). Per l'area di affioramento nel Foglio 357-Cittaducale, la piana svolge un ruolo di scambio fiume-falda nei confronti del Fiume Turano e dello stesso Torrente Canera, anche con inversioni stagionali, che mette in gioco qualche centinaio di litri al secondo: nei periodi di morbida, i fiumi tendono a cedere acqua alla falda contenuta nei depositi alluvionali, mentre in periodo di magra è più spesso la falda contenuta nelle alluvioni a contribuire al deflusso fluviale. La circolazione idrica sotterranea nell'unità dei Monti di Fara Sabina determina la manifestazione sorgentizia sulfurea di Farfa, di portata superiore ai 100 l/s. Per quanto riguarda le acque minerali, oltre alle citate sorgenti delle Terme di Cotilia, va infine menzionata l'Acqua Cottorella di Rieti, acqua oligominerale alimentata dall'unità dei conglomerati plio-quadernari, di portata media inferiore al litro al secondo e sede di imbottigliamento.

f. Acquifero delle Capore/S. Angelo

f.1 Inquadramento geologico regionale

Il settore meridionale della Sabina è caratterizzato dalla presenza della dorsale carbonatica dei Monti Lucretili che si estende dal Fosso delle Capore al Fiume Aniene, con andamento circa meridiano. Per quanto l'elevazione delle creste non superi mai di molto 1000 m s.l.m. i rilievi lucretili dominano ad Ovest, con la loro mole, l'intera campagna sabina. Da un punto di vista strutturale, il settore lucretile è collocabile in quella fascia, posizionata a ridosso dell'importante linea "Olevano-Anirodoco", che risulta intensamente deformata e caratterizzata da direttrici tettoniche prevalenti ad andamento meridiano. L'assetto strutturale di questa fascia deformata è riconducibile alla geometria di una catena a pieghe e sovrascorrimenti (fold-thrust belt), caratterizzata al fronte (in questo caso lungo la linea Olevano-Anirodoco) da una serie di scaglie tettoniche embricate (imbricate-sheets). L'assetto strutturale di questo

³⁴ Martarelli L. et alii (2008) – Cartografia idrogeologica sperimentale della Piana Reatina (Lazio), Mem. Descr. Carta Geol. d'It., Vol. LXXXI, pp. 137-156



settore dell'Appennino è condizionato dall'esistenza di tre unità tettoniche accavallate l'una sull'altra e separate da superfici tettoniche a basso angolo (Fig. 1).

L'unità tettonica superiore (**Unità 1**) è costituita dal termine triassico della Successione sabina, dal Calcare Massiccio (Lias inferiore) e, subordinatamente, dalla Corniola (Lias medio).

L'unità tettonica intermedia (**Unità 2**) è costituita dai termini della Successione sabina che vanno dal Calcare Massiccio (Lias inferiore) al termine marnoso-calcareo delle Marne a brecciole (Scaglia cinerea-Eocene superiore).

L'Unità 2 si accavalla sull'**Unità 3** (unità inferiore) mediante una superficie tettonica suborizzontale, lungo la quale, anche se essa risulta interessata da importanti motivi tettonici trasversali aventi carattere regionale (Fig. 1), si osserva il sovrascorrimento dei termini meso-cenozoici appartenenti all'Unità 2 sui termini del Miocene inferiore dell'Unità 3. I termini cretacico-paleogenici caratterizzano gran parte del settore settentrionale, mentre quelli del Miocene inferiore e medio sono quelli che prevalgono nel settore meridionale.

Unità idrogeologiche

L'area studiata, appartenente al sistema idrogeologico dei M. Sabini (Boni et al., 1986) ed impostata prevalentemente su Complessi carbonatici in facies di transizione, si estende per 832 km² in senso meridiano da Monte San Giovanni Reatino a Palestrina con uno sviluppo lineare di circa 70 Km. Da un punto di vista idrogeologico essa è limitata a Est dalla linea tettonica Olevano-Antrdoco, a Sud dal Complesso delle argille plioceniche e dai depositi flyschoidi tortoniani ricoperti dalle vulcaniti, a Ovest dai depositi clastici sabbioso-argillosi del Pleistocene e più a Nord, oltre il Fiume Farfa, dalla linea tettonica M. Tancia-M. Ode.

Unità 1

La prima e più importante unità idrogeologica del Sistema dei Monti Lucretili si identifica in affioramento con le dorsali dei Monti Cornicolani e di M. Castelvecchio, M. Zappi (M. Gennaro), M. Morra e M. Lecinone. L'acquifero è costituito essenzialmente dal termine triassico della Successione sabina, dal "Calcare Massiccio" e dalla "Corniola" e



subordinatamente dalla "Maiolica" e dai "Calcari granulari". Da Nerola a Montorio il limite della prima Unità è individuato dal piano sub-orizzontale di accavallamento di questa sull'Unità idrogeologica inferiore (3). Procedendo verso Sud, il limite di flusso è rappresentato da una struttura sinclinalica sub-orizzontale coricata verso Est, che dalle sorgenti delle Capore-S. Angelo di prolunga fino a M. La Guardia. Il drenaggio sotterraneo, sia del settore lucretile che di quello cornicolano dell'unità 1, è rivolto verso le sorgenti di Acquoria, delle Acque Albule e più in generale verso il settore del Fiume Aniene tra esse compreso. Le aree di ricarica sopra indicate ricoprono una superficie decisamente ridotta rispetto a quella dell'intero acquifero che prosegue verso il Fiume Tevere al di sotto della copertura plio-pleistocenica, dalla quale rimane confinato. Nei pressi della città di Tivoli e diffusamente anche al di sotto della campagna sabina, l'ingente volume di acqua proveniente dal circuito carsico lucretile-cornicolano (circa 5 m³/s) si miscela con convogli gassosi e termominerali che risalgono lungo le faglie distensive che hanno ribassato la serie meso-cenozoica in questo settore. Tale circostanza fa sì che nell'area di Bagni di Tivoli di manifestino le più grandi sorgenti termominerali d'Italia, la cui portata complessiva raggiunge i 2000 l/s.

Unità 2

Si estende a ridosso del margine orientale dei Monti Lucretili e comprende solo una parte dell'unità tettonica intermedia definita precedentemente. Essa è costituita dai termini meso-cenozoici della Successione Sabina, che vanno dal "Rosso Ammonitico" alle Marne. La linea di accavallamento sull'unità inferiore (Unità 3) segna il limite orientale dell'idro-struttura (linea Roccagiovine-Scandriglia). La continuità delle litoformazioni permeabili che costituiscono questa struttura è interrotta in senso meridiano, a Sud dall'abitato di Licenza, dalla presenza dei termini a bassissima permeabilità del Rosso Ammonitico e alle Marne a Fucoidi. La sottounità 2b, il cui acquifero è costituito prevalentemente dalla "Maiolica", è limitata a NO da un affioramento di "Rosso Ammonitico" che la borda quasi per intero. La circolazione sotterranea è rivolta verso l'Aniene e verso alcuni suoi affluenti; un esempio di ciò è rappresentato dalla profonda incisione del Fosso dei Ronci, che intercetta con il proprio alveo la falda dell'idrostruttura, venendo da questa rialimentato.

Unità 3



Si estende lungo la dorsale di M. Navegna – M. Aguzzo ed è costituita dai termini della Successione Sabina compresi tra il Cretacico sup. e il Miocene medio caratterizzati, per spessori di alcune centinaia di metri, da marne intercalate a calcari marnosi e calcareniti. Le intercalazioni calcaree, generalmente molto fessurate, sono interessate da un diffuso carsismo che può assumere localmente particolare sviluppo. Nella serie, ove predominano sequenze calcaree e calcarenitiche, sono presenti falde discontinue disposte in orizzonti sovrapposti che alimentano sorgenti e ruscelli con portata perenne. Nel settore considerato da questo studio, la citata unità rimane compresa tra il fronte di accavallamento Roccagiovane-Scandriglia a Ovest e la linea Olevano-AnTRODoco ad Est; anche in questo caso i piani di sovrascorrimento, immergenti ad Ovest, fungono da *aquiclude*. Il livello di base principale è costituito dalle sorgenti delle Capore, ubicate lungo il Fiume Farfa (246 m s.l.m. – 5000 l/s), mentre tra le quote 325 e 290 l'alveo dell'Aniene funge da livello di base secondario assieme ai settori terminali dei suoi affluenti. Il valore di infiltrazione efficace delle litoformazioni affioranti all'interno dell'unità si va riducendo con l'aumentare della componente argillosa. Secondo considerazioni idrogeologiche regionali basate anche su situazioni esterne all'area di studio, Boni et al. (1986) hanno stimato per l'intero complesso marnoso calcarenitico cretacico-miocenico sabino un'infiltrazione efficace media di 250 mm/anno. Essendo la permeabilità delle formazioni affioranti relativamente bassa, si ritiene che la circolazione profonda avvenga prevalentemente a livello della "Scaglia Rossa" come localmente è stato evidenziato dai sondaggi effettuati dall'ACEA nell'area di emergenza delle Capore.

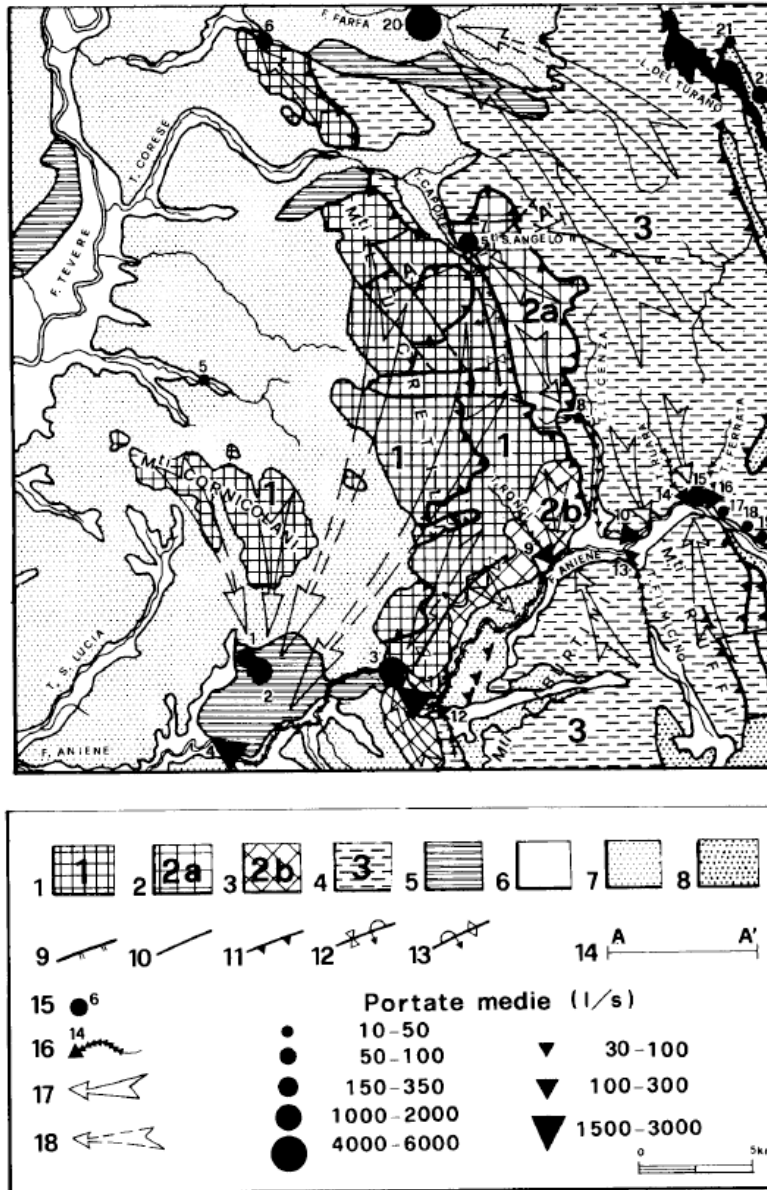


Figura f.1 - Stralcio dello schema idrogeologico (Capelli et al., 1987) dell'area meridionale sabina (in alto la Sorgente Le Capore)

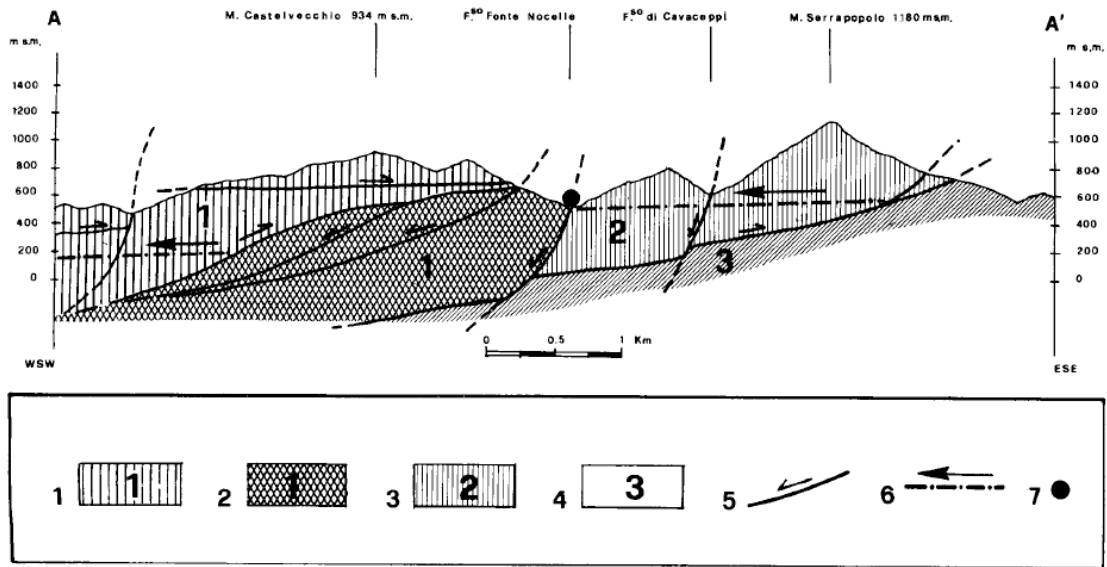


FIG. 3 — Profilo idrogeologico (vedi Fig. 2). 1) Litoformazioni intensamente fessurate e carsificate, appartenenti all'Unità idrogeologica 1 (Unità superiore), caratterizzate da elevati valori di infiltrazione efficace (circa 900 mm/a); 2) litoformazioni appartenenti all'Unità idrogeologica 1 caratterizzata da ridottissima permeabilità a seguito di intense azioni tettoniche; 3) litoformazioni appartenenti all'Unità idrogeologica 2 caratterizzata da valori di infiltrazione efficace medio-bassi (400-600 mm/a); 4) litoformazioni appartenenti all'Unità idrogeologica 3, con ridotta permeabilità di insieme a seguito degli stress tettonici subiti; 5) tracce delle superfici di faglia: la freccia indica il verso del flusso; 6) traccia della superficie piezometrica: la freccia indica il verso del flusso; 7) sorgenti Capore-S. Angelo.

— Hydrogeological cross section (see Fig. 2). 1) Lithoformations belonging the hydrogeological Unit 1 with a high infiltration value (about 900 mm/y); 2) lithoformations belonging to hydrogeological Unit 1 with very low permeability due to intense tectonic stresses; 3) lithoformations belonging to hydrogeological Unit 2 with effective infiltration value of 400-600 mm/y; 4) lithoformations belonging to hydrogeological Unit 3 locally impermeable due to the intense tectonic stresses; 5) fault line: the arrow shows the slip direction; 6) piezometric line: the arrow shows the flow direction; 7) Capore-S. Angelo springs.

Figura f.2 - Stralcio della sezione idrogeologica (Capelli et al., 1987) ricostruita per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili)

f.2 Schema Idrogeologico e limiti dell'area di alimentazione delle sorgenti delle Capore - S. Angelo

L'area circostante la zona in cui si manifestano le sorgenti delle Capore - S. Angelo è caratterizzata da un assetto stratigrafico-strutturale molto complesso. In questo piccolo settore dell'area lucretile, infatti, sono riconoscibili le tre unità tettoniche ed idrogeologiche che caratterizzano l'area dei Monti Sabini meridionali.

Il Complesso 1 è caratterizzato da una litologia piuttosto uniforme per il suo intero spessore ed è costituito da calcari, ad ooidi ed oncoidi, stratificati in grosse bancate, a volte con struttura vacuolare e quindi porosi, corrispondenti ai litotipi della Formazione del Calcare Massiccio (Lias inferiore).

Il Complesso 2 è costituito dai soli orizzonti terminali della Formazione della Corniola (Lias medio) i cui litotipi prevalenti sono costituiti da calcari marnosi che presentano verso l'alto un aumento della frazione argillosa. La presenza di un'abbondante frazione



argillosa nei termini sommitali della Corniola riduce il grado di permeabilità della sequenza rispetto ai livelli intermedio e basale della formazione caratterizzata, nel complesso, da una conducibilità idraulica decisamente minore di quella del Calcarea Massiccio.

Il Complesso 3 è costituito da calcari marnosi nodulari, marne, marne argillose e argille appartenenti alla Formazione del Rosso Ammonitico (Lias superiore). Lo spessore della formazione si aggira intorno ai 50-60 m.

Il Complesso 4 risulta ben più potente (circa 650 m di spessore) ed è costituito da sequenze eterogenee di litotipi con caratteristiche di permeabilità variabili anche nell'ambito della stessa formazione. L'eterogeneità litologica e di conducibilità idraulica ha suggerito di accorpate i termini appartenenti a: Calcari Granulari, Formazione dei Diaspri e delle Marne ad Aptici, Formazione della Maiolica, costituita prevalentemente da calcari micritici. L'elevato grado di fratturazione conferisce a questo Complesso un'apprezzabile permeabilità secondaria. L'ampia diffusione areale dei litotipi determina un'estesa zona di alimentazione degli acquiferi profondi nell'area.

Il Complesso 5 è costituito da litotipi marnosi e marnoso-argillosi che caratterizzano la Formazione delle Marne a Fucoidi. L'elevato contenuto della frazione argillosa conferisce alla formazione una ridottissima permeabilità d'insieme. Con lo spessore di circa 50 m, la formazione costituisce localmente il livello di base di modeste falde sospese a quote elevate.

Il Complesso 6 è costituito da calcari marnosi, calcari detritici e micritici, con frequenti intercalazioni di materiale carbonatico-clastico grossolano; nella sequenza sommitale si rilevano frequenti interstrati argillosi. Tali litotipi sono riferibili alla Formazione della Scaglia (Cretacico superiore) che nell'area investigata raggiunge lo spessore di circa 300 m. L'elevata fratturazione presente conferisce una buona permeabilità d'insieme.

Il Complesso 7, con esclusione dei depositi plio-quadernari, è costituito prevalentemente da litotipi marnosi. L'elevato contenuto argilloso conferisce un limitato grado di permeabilità d'insieme; al suo interno tuttavia si individuano modeste falde sovrapposte localizzate negli orizzonti di calcareniti intercalati ai litotipi marnosi.

La morfologia e la giacitura del Complesso 7, sul quale è sovrascorsa l'Unità di M. Serrapopolo, fanno sì che il drenaggio sotterraneo della falda di base che satura la sottounità 2a sia rivolto quasi totalmente verso il Fosso delle Capore, ove trova sbocco

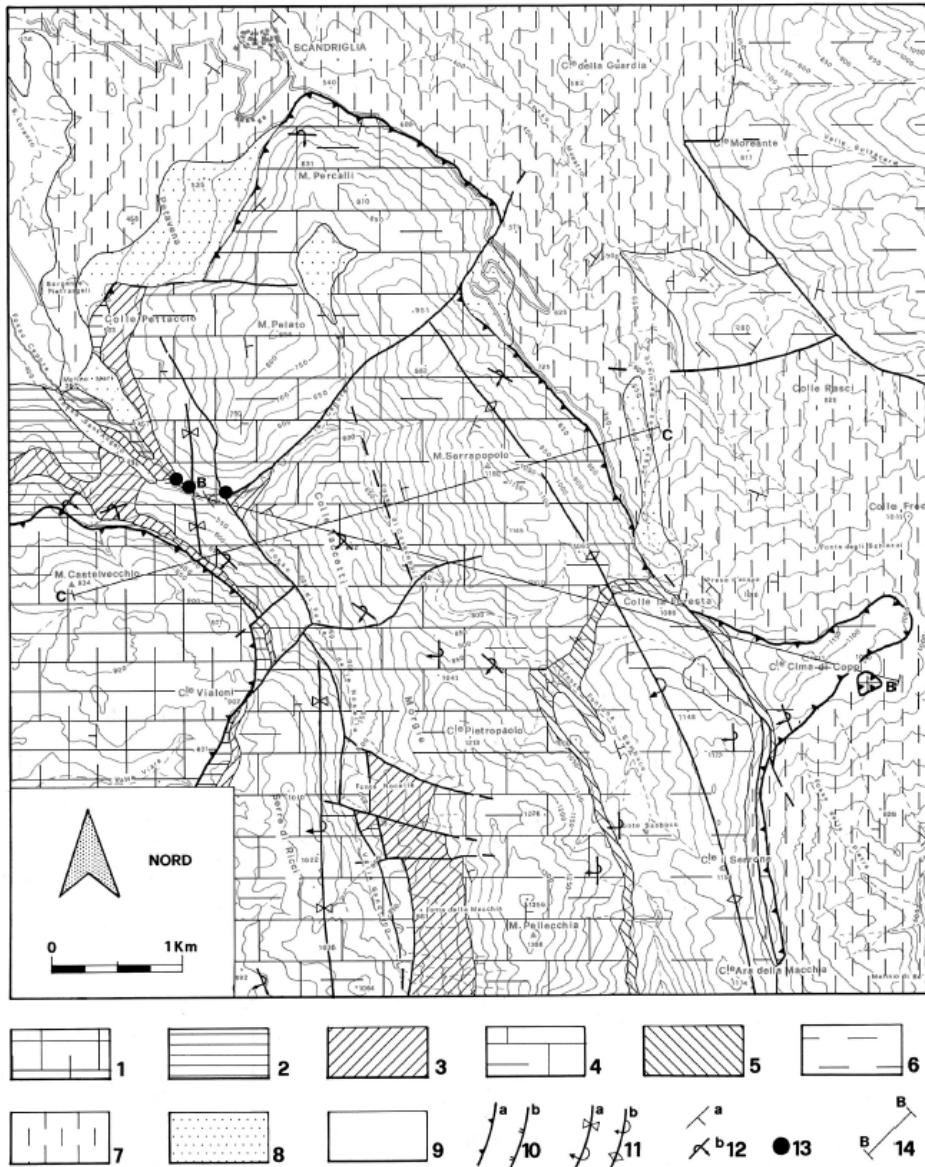


tra le quote 400 e 500 m lungo un fronte di 2 km. La geometria e la circolazione che caratterizzano l'area di ricarica delle sorgenti è resa complessa dai motivi strutturali e dalla natura della successione sabina che presenta un'alternanza di litoformazioni a vario grado di permeabilità. In conseguenza di quanto detto, la superficie piezometrica risulta articolata su più orizzonti separati tra loro da Complessi a bassa permeabilità e/o da superfici tettoniche che arrivano ad interessare anche le formazioni Paleogeniche dell'Unità basale. Il gradiente medio della tavola d'acqua è di conseguenza elevato (> del 1%).

La recente realizzazione di opere di captazione delle sorgenti, mediante gruppi di dreni sub-orizzontali, ha messo in luce che le pressioni idrauliche alle Capore basse a fondo foro (circa 70 m dalla superficie) sono meno elevate che nei dreni eseguiti nella zona S. Angelo, posti 75 m più a monte e che, inoltre, le sorgenti alte non hanno un regime molto dissimile da quelle basse.

Alcune considerazioni sull'entità delle risorse e delle riserve dell'acquifero che alimenta le sorgenti delle Capore-S. Angelo possono essere fatte sia sulla base delle schematizzazioni riportate nei profili in figura sia tenendo presente l'andamento altimetrico della superficie di tamponamento dell'unità lungo il suo margine settentrionale compreso tra i 450 e i 700 m s.l.m. Nei profili B e C in figura viene riportata la traccia della superficie piezometrica (gradiente 1-2%). Nel corso dei rilievi idrologici la portata globale delle sorgenti Capore-S. Angelo ha subito variazioni dell'ordine del 280%. L'esame degli schemi idrogeologici proposti mediante i profili ci fornisce una prima idea sulle potenzialità idriche della struttura.

Il bacino idrogeologico delle sorgenti delle Capore corrisponde grosso modo alla metà settentrionale della sottounità 2a. Il rimanente settore, a partire dalla culminazione del piano di accavallamento tra le Unità 2 e 3 (posta in corrispondenza di Colle Cannavina-Colle Cima di Coppi) va ad alimentare i rami alti e le piccole sorgenti appartenenti al bacino del fosso Licenza. La diffusa presenza in affioramento di complessi litoformazionali a dominante marnosa (basso grado di infiltrazione efficace) rende questo settore meridionale assai meno produttivo.



TAV. I — Carta dei complessi idrogeologici dell'area di ricarica delle sorgenti Capore-S. Angelo. 1) Complesso dei calcari ad ooidi ed oncoidi (Calcare Massiccio), Lias inferiore. Spessore ca. 700 m, elevata permeabilità secondaria; 2) Complesso dei calcari marnosi con frequenti intercalazioni argillose (Corniola), Lias medio. Spessore ca. 250 m, media permeabilità; 3) Complesso dei calcari marnosi nodulari, marne e marne argillose (Rosso Ammonitico), Lias superiore. Spessore ca. 60 m, permeabilità molto bassa; 4) Complesso dei calcari granulari, calcari micritici e calcari detritici con selce e delle marne e marne argillose (Calcari granulari, Diaspri, Marne ad Aptici, Maiolica), Dogger-Cretacico inferiore pp.. Spessore ca. 400 m, permeabilità buona; 5) Complesso delle marne e marne argillose (Marne a Fucoidi), Cretacico inferiore pp.. Spessore ca. 50 m, impermeabile; 6) Complesso dei calcari marnosi, calcari detritici e micritici (Scaglia), Cretacico superiore-Eocene medio. Spessore ca. 300 m, permeabilità da bassa a media; 7) Complesso delle marne e brecciole, marne calcaree e calcareniti (Formazione di Guadagnolo), Miocene inferiore. Spessore ca. 400 m, permeabilità bassa; 8) Complesso delle coperture recenti costituite da terre rosse, coperture eluviali, tufi pedogenizzati e detriti di falda, Pleistocene-Olocene. Permeabilità variabile; 9) Complesso dei depositi clastici eterogenei, Pleistocene. Permeabilità variabile; 10) *a* - faglia inversa e fronte di sovrascorrimento; *b* - faglia diretta; 11) *a* - sinclinale rovescia; *b* - anticlinale rovescia; 12) immersione ed inclinazione degli strati, *a* - strati diritti; *b* - strati rovesciati; 13) sorgenti; 14) traccia di profilo.

Figura f.3 - Stralcio della carta idrogeologica (Capelli et al., 1987) ricostruita per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili)

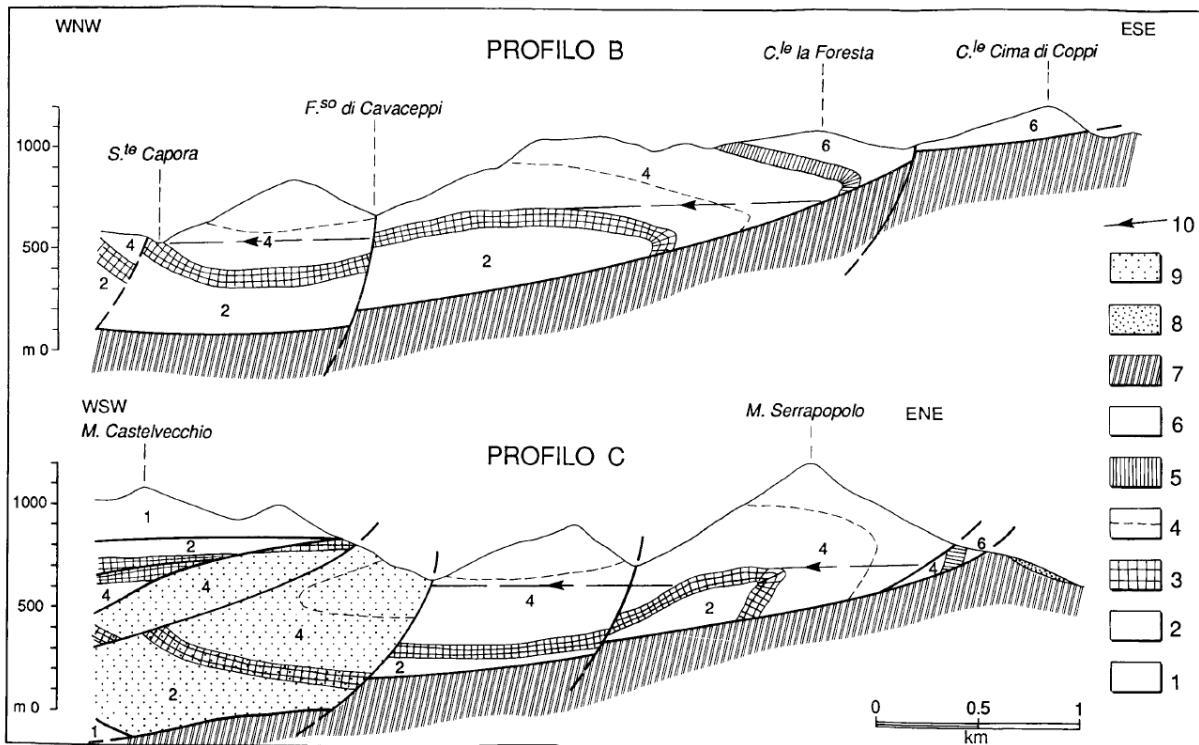


Fig. 12 — Profili idrogeologici attraverso l'acquifero delle sorgenti Capore-S. Angelo. (1-8) per la descrizione dei Complessi vale la didascalia della tavola I; 9) formazioni con ridotta permeabilità a seguito delle intense azioni tettoniche; 10) traccia della superficie piezometrica e direzione di flusso.
 — Hydrogeological sections across Capore-S. Angelo springs aquifer. (1-8) for these complexes see plate I; 9) lithoformations with very low permeability due to intense tectonic stresses; 10) piezometric line, the arrow shows the flow direction.

Figura f.4 - Stralcio dei profili idrogeologici (Capelli et al., 1987) ricostruiti per l'area meridionale sabina (Monti Lucretili)

Le sorgenti Le Capore, ubicate nella valle del Torrente Farfa, in prossimità di Frasso Sabino, di portata media pari a 5 m³/s, sono completamente captate per l'approvvigionamento idrico di Roma e hanno un bacino d'alimentazione che comprende tutta la struttura idrogeologica dei Monti Sabini Occidentali, ma che si estende anche verso Est e soprattutto verso Sud, nei Monti Sabini Meridionali (Figura f.3). La circolazione idrica sotterranea nei Monti Sabini Settentrionali è parzialmente separata da quella nei Monti Sabini Centrali e Meridionali attraverso il sistema tettonico che definisce il sovrascorrimento del M. Tancia, determinando un limitato scambio idrico e localmente un probabile limite a flusso nullo. Conseguentemente, il drenaggio della falda basale dei Monti Sabini Settentrionali è indirizzato verso le sorgenti delle Gole di Montoro-Stifone in Umbria, a nordovest dell'area in esame, mentre quello della dorsale dei Monti Sabini Centrali verso la Sorgente Le Capore.



- Complesso calcareo-marnoso (Cretacico medio-Eocene medio). È costituito dalle Marne a Fucoidi (marne, calcari e calcari marnosi selciferi) e da Scaglia Bianca e Scaglia Rossa (calcari marnosi selciferi). Lo spessore complessivo è di circa 400 m. È presente in affioramento sulle dorsali montuose, costituisce l'acquifero carbonatico superiore della zona esaminata. È sede di imponente circolazione idrica sotterranea. La formazione delle Marne a Fucoidi ha una permeabilità molto bassa e costituisce l'aquiclude basale delle formazioni calcaree sovrastanti. Le altre formazioni hanno permeabilità molto elevata per fratturazione e carsismo; gli intervalli marnosi possono costituire localmente il livello di base per falde locali e sospese che danno origine a sorgenti di portata variabile da 1 fino a circa 100 l/s. Infiltrazione efficace stimabile in 500-600 mm/anno per i termini carbonatici. Grado di permeabilità relativa: medio.

Nel Miocene superiore l'area viene coinvolta nella formazione della catena appenninica e attraverso un'attività tettonica polifasica si forma un sistema di falde impilate verso i quadranti orientali. Per ciascuna dorsale si individuano diverse unità strutturali separate da superfici di sovrascorrimento di importanza regionale che comprendono termini via via più giovani passando da falde geometricamente più rilevate ad ovest a quelle a quota minore ad est. La Successione Sabina tipica, qui affiorante, è caratterizzata da una sedimentazione essenzialmente carbonatica in facies neritica, dal Trias superiore al Lias inferiore, e da termini calcareo-silico-marnosi, anche ricchi in selce, dal Lias medio al Miocene Inferiore³⁵. La paleo-morfologia del bacino indica nella media valle del fiume Turano la presenza in sinistra idrografica di affioramenti carbonatici poco estesi, localizzati a quote più basse rispetto a quelli sul versante opposto dove, in corrispondenza dell'alto strutturale del Monte Pelato, affiorano i termini più antichi della successione: Calcari e Marne a Posidonia, Calcari Diasprigni e Maiolica³⁶. Nel Pliocene superiore, lungo il bordo orientale del bacino si individua una master fault orientata N160° che determina una paleomorfologia ad alti strutturali e l'inizio di una intensa sedimentazione continentale fluvio-lacustre³⁷. Il ribassamento del substrato carbonatico

³⁵ Corda & Mariotti, 1986; Galluzzo & Santantonio, 2002

³⁶ Servizio Geologico, 2013

³⁷ Cavinato et alii, 1989; Cavinato et alii, 1992b; Cavinato, 1993



favorisce l'impostazione di un paleo-reticolo fluviale che erode e smantella la catena portando alla deposizione dei conglomerati villafranchiani e delle alluvioni.