



Università di Camerino
Scuola di Scienze e Tecnologie
Sezione di Geologia

LA SORGENTE DI PESCARA D'ARQUATA



Prof. Marco Materazzi

Collaboratori:

Dott.ssa Margherita Bufalini

Dott. Francesco Lampa

1 Caratteristiche della sorgente e dell'impianto di captazione

La sorgente di Pescara d'Arquata, captata per scopi idropotabili, emerge ad una quota di circa 890m s.l.m. lungo il versante sud-occidentale del Monte Macchialta, all'interno del territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini.

L'impianto di captazione, il cui ingresso è ubicato ad una quota di circa 850m s.l.m., è stato completato nel 1954 ed è costituito da gallerie drenanti scavate nella Scaglia Rosata e disposte in senso longitudinale e trasversale. L'opera è collegata quindi all'esterno mediante una galleria (Fig.1).



Figura 1 - La sorgente di Pescara d'Arquata: in alto (a sinistra e a destra) ubicazione dell'opera di captazione e caratteristiche dell'impianto; in basso a sinistra particolare dell'ingresso dell'opera di captazione, al centro e a destra particolare dell'interno dell'opera stessa.

L'acqua captata dalle gallerie drenanti confluisce in una vasca di raccolta, per poi passare in una vasca di decantazione provvista di stramazzo. Parte del quantitativo drenato viene successivamente immesso in condotta mentre quello in esubero viene incanalato e mandato in scarico all'interno del Fosso Cavone. Nella condotta dell'acquedotto, alle acque della sorgente Pescara d'Arquata si sommano quelle prelevate dalla sorgente Capodacqua.

Lungo lo stesso versante sono presenti altre due sorgenti denominate Sorgente bassa superiore e Sorgente Bassa inferiore (rispettivamente ubicate a quota 852m e 792m s.l.m.). L'acqua di ambedue le sorgenti, pochi litri al secondo in totale) non viene attualmente

utilizzata e viene incanalata all'interno del Fosso Cavone più o meno in corrispondenza del ponte della vecchia S.S. n.4 nei pressi dello scarico della sorgente Pescara d'Arquata.

Per la sorgente di Pescara d'Arquata è disponibile una lunga serie storica di dati di portata:

- dati di portata del Servizio Idrografico (dal 1933 al 1946);
- dati C.I.I.P. S.p.A. (dal 1960 al 2021).

Più in particolare le portate sorgive medie mensili sono state misurate con continuità (ad esclusione del periodo che va dal 1980 al 1985), per circa 88 anni.

Dal grafico di Fig.2 (relativo al periodo 1933-2011 – Celico, 2011), appare molto evidente il trend recessivo dei valori di portata medi durante tutto il periodo di osservazione, trend sicuramente connesso alla variazione del regime pluviometrico e nivometrico di tutto l'areale dei Monti Sibillini.

2

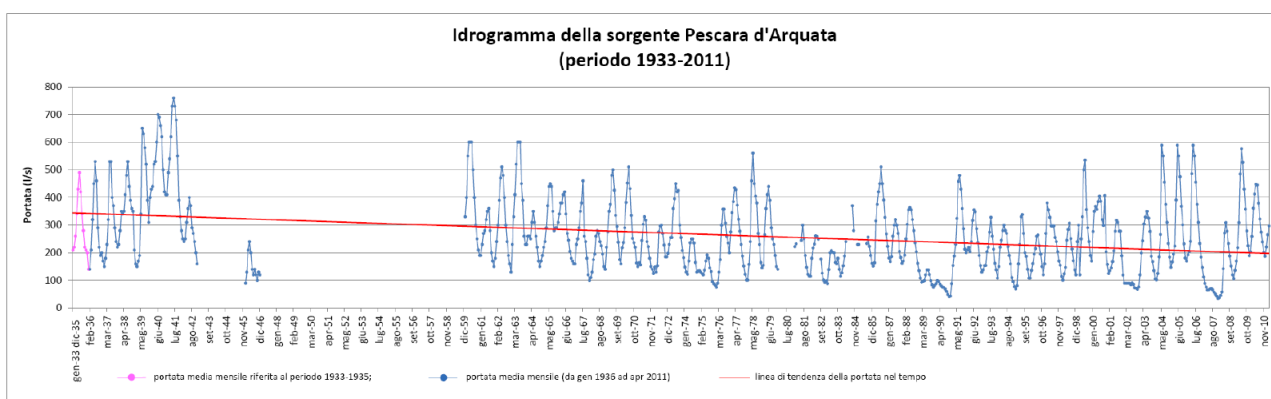


Figura 2 – Grafico (da Celico, 2011) delle portate medie mensili della sorgente Pescara d'Arquata (periodo 1933-2011) (dati Servizio Idrografico – dal 1933 al 1946, dati CIIP – dal 1960 al 2011).

Tale andamento, osservato anche negli ultimi 15 anni (2006-2021), è divenuto recentemente ancora più marcato a seguito della crisi sismica che ha interessato il territorio a partire dal mese di agosto 2016 (Fig.3); dato, quest'ultimo, da considerare con cautela essendo stato il periodo 2016-2021 caratterizzato anche da almeno tre stagioni particolarmente siccitose, come di seguito evidenziato:

Anno	Portata media (l/s)
2017	150
2018	208
2019	93
2020	54
2021 (parziali)	115

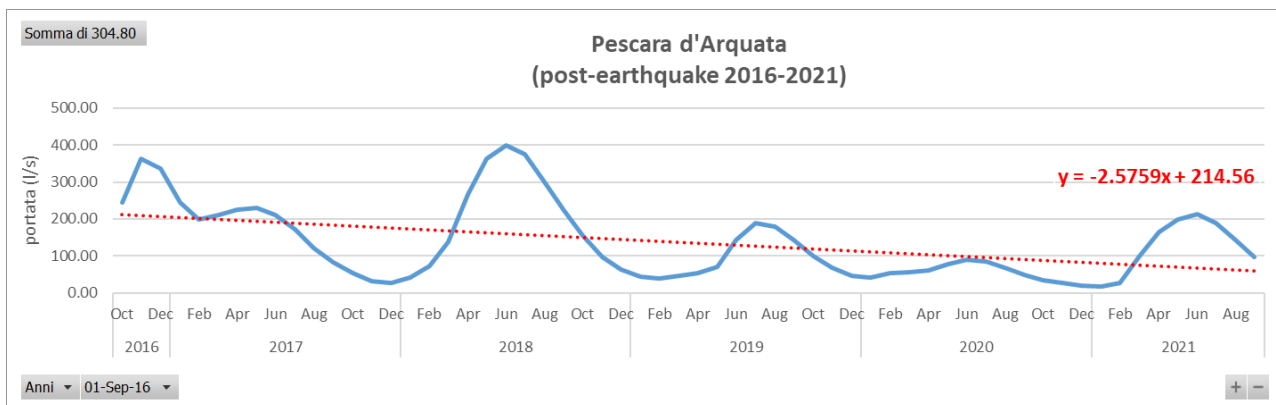
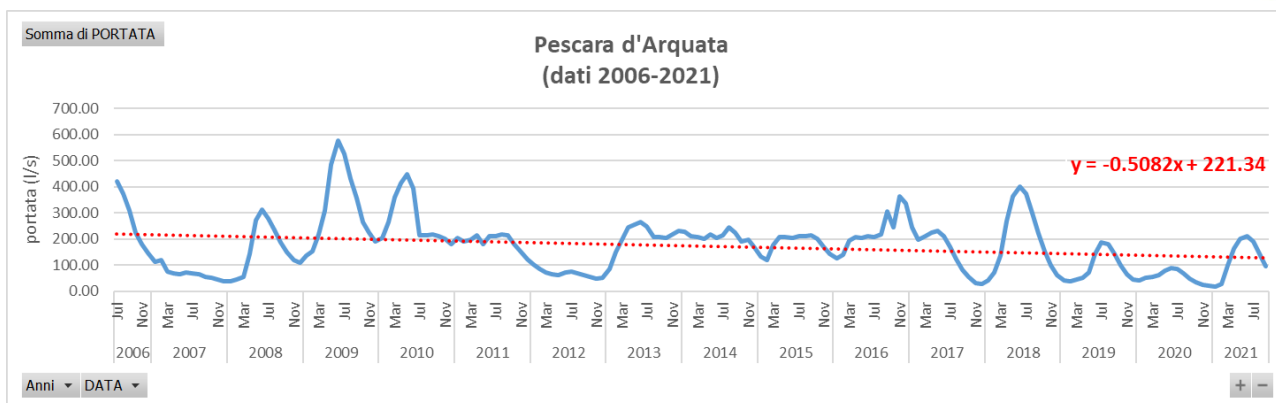


Figura 3 – In alto, andamento delle portate della sorgente di Pescara nel periodo 2006-2015; in basso, andamento delle portate nel periodo post-sisma. E' evidente l'incremento di pendenza del trend recessivo.

Tenuto conto di quanto detto, per la determinazione della portata media e del coefficiente di variazione della sorgente e, più in generale, per la stima del bilancio idrologico, ci si è basati sui dati giornalieri registrati a partire dal 2017 che, seppure meno "solidi" dal punto di vista statistico, fotografano più realisticamente le condizioni attuali.

L'analisi dei dati permette di attribuire alla sorgente di Pescara d'Arquata una portata media di circa 125 l/s valore che colloca la sorgente stessa all'interno della classe 3 secondo la classificazione di Meinzer (Fig.4).

Classificazione delle sorgenti secondo Meinzer (1927)		
Classe	Portata minima annua	
	m3/sec	l/sec
1	> 10	>10000
2	da 10 a 1	da 10000 a 1000
3	da 1 a 0,1	da 1000 a 100
4	da 0,1 a 0,01	da 100 a 10
5	da 0,01 a 0,001	da 10 a 1
6	da 0,001 a 0,0001	da 1 a 0,1
7	da 0,0001 a 0,00001	da 0,1 a 0,01
8	< 0,00001	< 0,01

Figura 4 - Classificazione delle sorgenti secondo Meinzer.

Utilizzando gli stessi dati è stata effettuata una valutazione della variabilità del regime utilizzando lo SCVP (Spring Coefficient of Variation Parameter), ovvero il rapporto fra la deviazione standard e il valore di portata media della sorgente. Tale parametro è definito sulla base dei seguenti range di valori dell'SCVP:

SCVP	Variabilità del regime di portata
<20%	bassa
20-40%	media
40-100%	alta
100-150%	molto alta
>150%	estremamente alta

Il valore ottenuto del 75% attribuisce alla sorgente di Pescara d'Arquata un grado di variabilità alto, tipico di una sorgente caratterizzata da stabilità medio-bassa.

2 Caratteri idrogeologici

La sorgente di Pescara d'Arquata emerge ad una quota di circa 890 metri s.l.m. lungo il versante sud-occidentale del Monte Macchialta, in sinistra idrografica del fiume Tronto, nell'estrema porzione meridionale dei Monti Sibillini. Il territorio in esame si caratterizza per la presenza di rilievi elevati che generalmente superano i 1500m fino agli oltre 2000m s.l.m. del Monte Vettoreto.

Dal punto di vista stratigrafico, l'area è caratterizzata dalla presenza di litologie prevalentemente calcaree, calcareo-marnose e dolomitiche, appartenenti alla nota Successione Umbro-Marchigiana (Pierantoni et al., 2013 e annessa bibliografia), una serie di ambiente prevalentemente pelagico e di età giurassico-cretacica che va dalla formazione del Calcare massiccio (la più antica affiorante, età Hettangiano-Carixiano p.p.) alla Scaglia rossa (età Turoniano inferiore p.p. – Luteziano p.p.) (Fig.5).

Dal punto di vista geologico-strutturale, il Massiccio dei Monti Sibillini, si inserisce in un contesto caratterizzato da un'associazione di pieghe, a macro e a mesoscala, sovrascorrimenti con associati splay-thrust, e faglie di tipo prevalentemente dip-slip e/o trastensive, tipiche di questo settore dell'Appennino centrale. L'andamento di queste strutture (prevalentemente NNW-SSE e N-S) mostra una chiara vergenza orientale, risultato di una fase tettonica compressiva di età neogenica che ha prodotto la sovrapposizione dei termini calcarei della Successione umbro-marchigiana, sui più recenti membri emipelagici e terrigeni terziari che caratterizzano le zone pedemontane.

Elementi tettonici fondamentali per la ricostruzione dell'assetto tettonico dell'area sono inoltre rappresentati da faglie normali di età giurassica, che hanno controllato anche lo sviluppo dei paleoambienti e le variazioni di facies e di spessore delle coeve e successive formazioni sedimentarie.

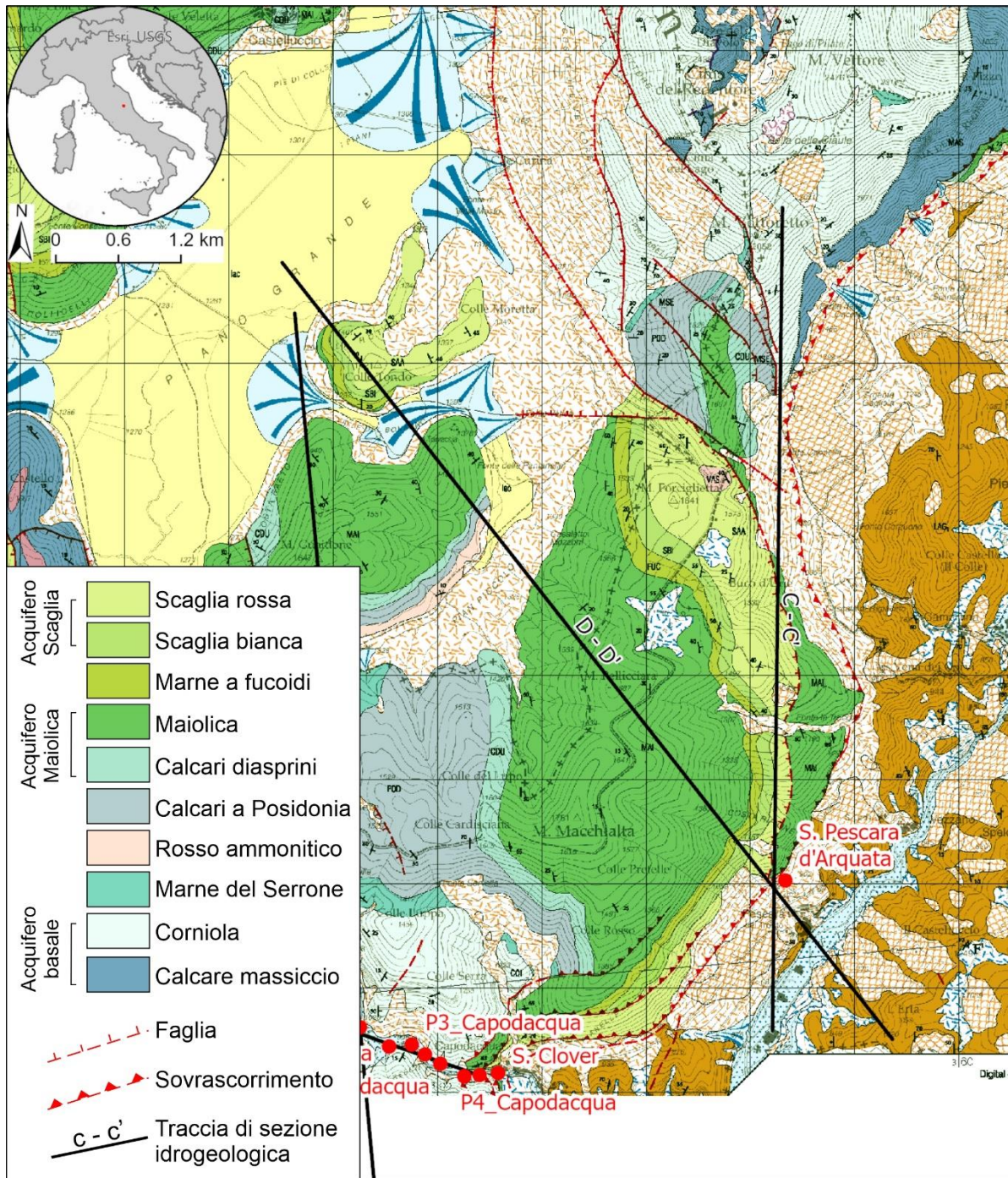


Figura 5 - Carta geologica dell'area di studio (modificata da Pierantoni et al., 2013) con indicazione delle tracce di sezioni idrogeologiche descritte di seguito nel capitolo

Faglie normali quaternarie ad andamento NW-SE e con generale immersione verso SW e faglie trasversali ad alto angolo e ad andamento ENE-WSW, infine, dissecano la struttura plicativa principale. Tutti questi elementi mostrano diverse cinematiche che possono essere associate sia a strutture transpressive, sviluppatesi durante la fase compressiva miocenica, che a strutture transtensive legate probabilmente a riattivazioni durante la fase estensionale quaternaria.

Dal punto di vista idrogeologico, l'acquifero che alimenta la sorgente si colloca in corrispondenza del fronte di sovrascorrimento dei Monti Sibillini che ne costituisce sia la soglia (a SE) che il limite inferiore.

Come visibile nei profili idrogeologici di Fig.6, esso si estenderebbe verso nord fino al Monte Vettoreto mentre il limite occidentale si collocherebbe in corrispondenza del livello a bassa permeabilità delle Marne a Fucoidi.

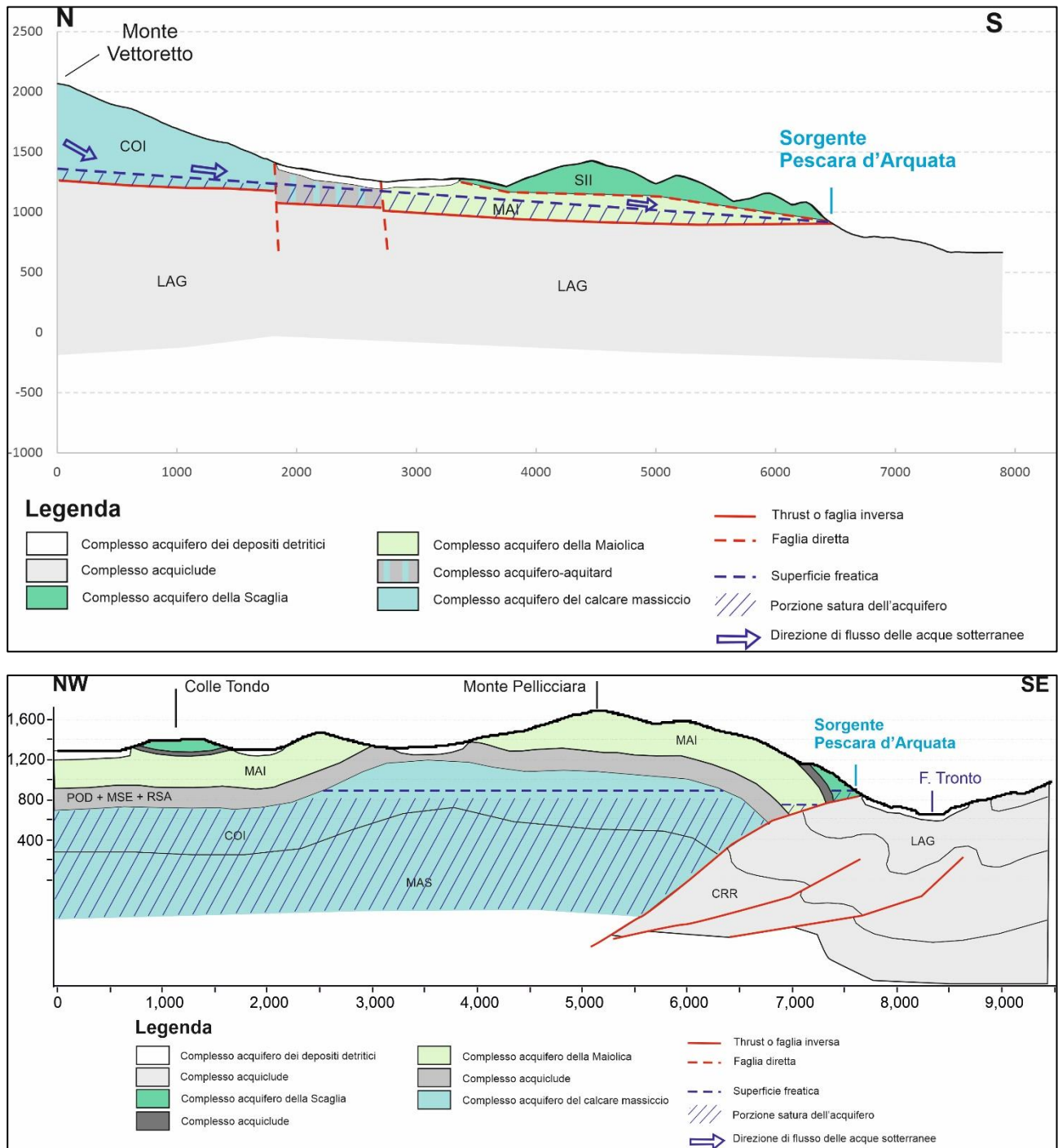


Figura 6 - Profili idrogeologici (rispettivamente orientati N-S e NW-SE in corrispondenza della sorgente di Pescara d'Arquata.

L'acquifero in questione, come visibile nel profilo in alto di Fig.6, sarebbe contenuto all'interno di una sorta di "scaglia" tettonica, costituita dalle formazioni della Corniola, della Maiolica e della Scaglia; anche le formazioni tradizionalmente a bassa permeabilità come le Marne del Monte Serrone, i Calcari a posidonia ed i Calcari diasprini, dato il contesto geologico-strutturale, avrebbero qui un comportamento di acquifero-aquitard che permette

il collegamento idraulico fra la formazione della Corniola del Monte Vettoretto ed i termini calcarei più a sud.

Verso NW, la formazione delle Marne a fucoidi separa l'acquifero da un altro complesso permeabile costituito dalla formazione della Maiolica affiorante in corrispondenza dei rilievi di Monte Macchialta e Monte Pellicciara; tale complesso, che alimenta il Canale Tufo (come descritto anche nella relazione di Celico, 2011) risulterebbe saturo ad una quota compresa fra 730 e 750m s.l.m.

Il suddetto complesso è separato a sua volta più ad W, tramite il complesso a bassa permeabilità costituito dalle Marne con Serrone, dai Calcari a Posidonia e dai Calcari diasprini, dall'acquifero basale che alimenta verso sud il gruppo sorgentizio di Capodacqua, saturo ad una quota intorno agli 850-870m s.l.m.

Sulla base di quanto detto, la ricarica della sorgente avverrebbe prevalentemente dallo spartiacque in corrispondenza del Monte Vettoretto verso sud; minimi contributi arriverebbero da una piccola porzione del versante di Colle Petrella, in corrispondenza del sovrascorrimento. Il modello idrogeologico proposto è sostanzialmente in linea con quanto proposto da Dragoni et al., (2003) e da Celico (2011) sebbene quest'ultimo proponga un contributo più consistente proprio da quest'ultimo settore (Fig.7).

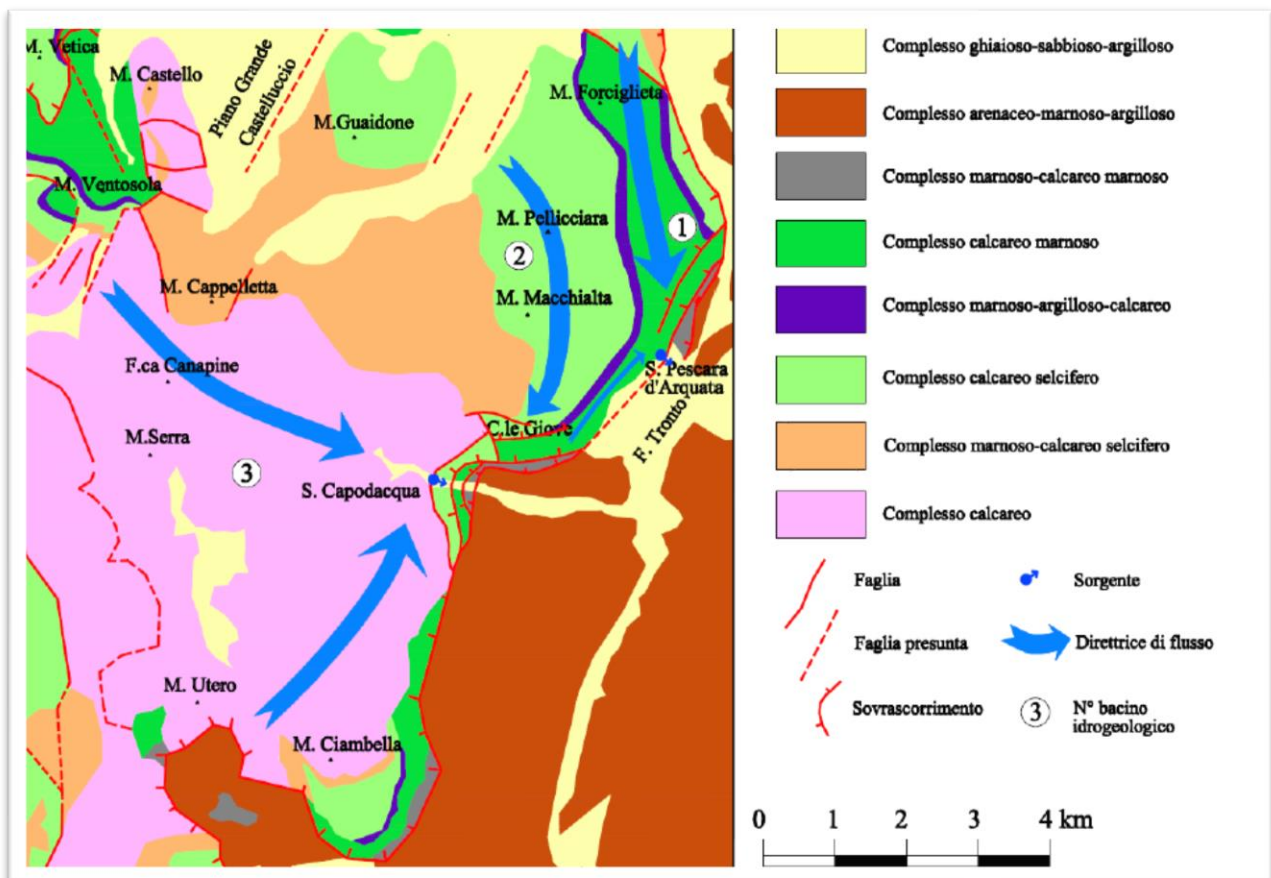


Figura 7 - Schema idrogeologico del bacino di alimentazione della sorgente Pescara d'Arquata (modificato da Celico, 2011)

Il modello è altresì in accordo con lo studio condotto da Petitta et al (2011), sebbene l'areale calcolato dagli autori con metodi quantitativi, basati prevalentemente sul bilancio idrologico, abbia restituito valori leggermente più elevati.

Gli eventi sismici del 2016, come per altre sorgenti nel settore meridionale dei Monti Sibillini, hanno avuto influenza sia sul regime delle portate che sulle modalità di circolazione all'interno dell'acquifero; la persistenza di tali effetti, tuttavia, è ancora difficile da valutare.

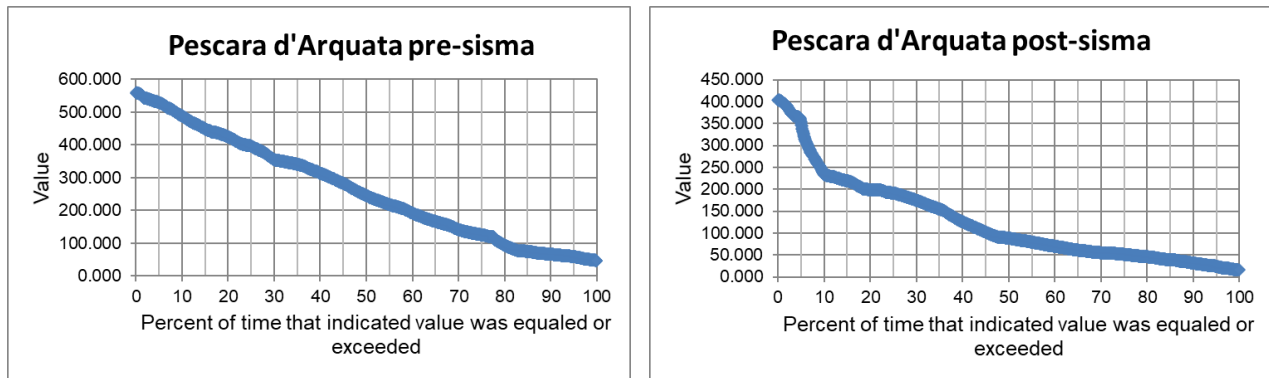
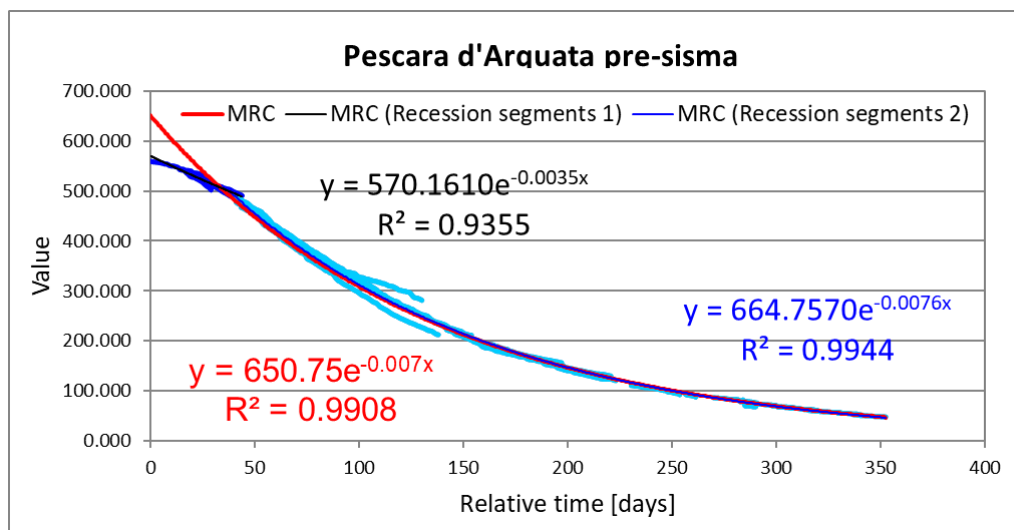


Figura 8 - Andamento delle portate della sorgente di Pescara d'Arquata nel periodo pre (2012-2016) e post (2017-2021) sisma (fonte CIIP S.p.A.).

Partendo proprio dal regime delle portate (Fig.8), è evidente come nel periodo post-sisma ci sia una drastica riduzione in percentuale della durata dei valori di portata più elevati; portate superiori ai 200 l/s, ad esempio, passano dal 60% a circa il 20-25%

Anche lo studio delle curve di recessione della portata sorgentizia, che esprime la “velocità” di svuotamento del serbatoio ed è funzione anche delle differenti modalità di circolazione all'interno dell'acquifero ha evidenziato dei cambiamenti fra i due periodi (pre e post sisma). Più in particolare, l'analisi è stata realizzata utilizzando un tool specifico per Microsoft Excel messo a punto in collaborazione con il Prof. Kristijan Posavec del Department of Geology and Geological Engineering dell'Università di Zagabria (Posavec et al., 2017)

I risultati delle analisi sono mostrati in Fig.9.



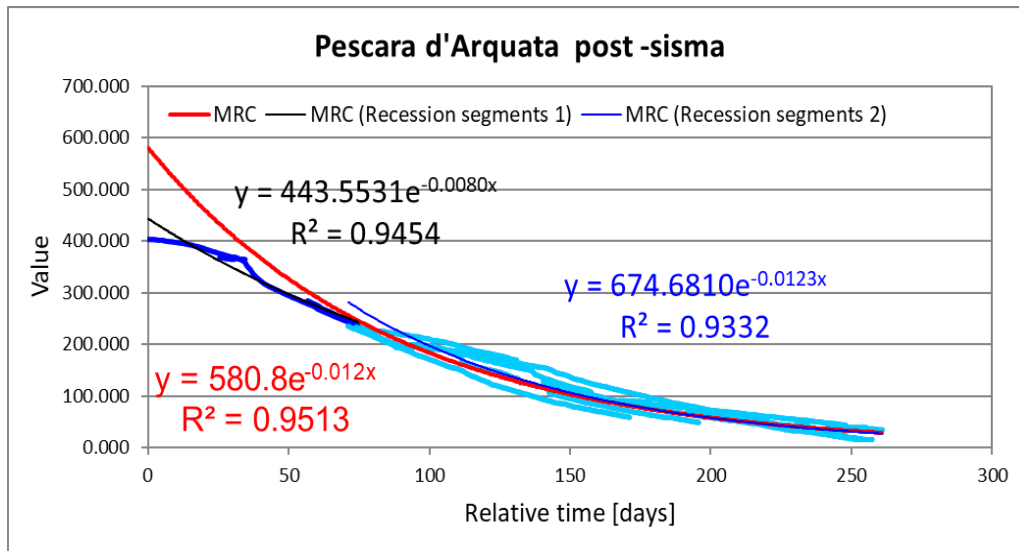


Figura 9 - Master Recession Curves della sorgente di Pescara d'Arquata relative al periodo pre-sisma (in alto) e post-sisma (in basso).

Il software in questione permette di confrontare più periodi di recessione contemporaneamente e di trovare la curva (e l'equazione caratteristica) che meglio approssima tale andamento (Master Recession Curve – MRC); dall'equazione è poi possibile ricavare il *coefficiente di recessione* α che esprime la pendenza della curva e, indirettamente, la “velocità” di svuotamento dell'acquifero permettendo di formulare ipotesi sulla modalità di circolazione delle acque sotterranee.

Nel dettaglio, osservando l'andamento di diverse recessioni, è stata ipotizzata l'esistenza di due tratti distinti (caratterizzati da pendenze differenti) all'interno delle curve, che dimostrerebbero la presenza di due distinti sistemi di fratture (e di conseguenza di circolazione); nel periodo pre-sisma, tale differenza non è così marcata, tenuto conto che il coefficiente α passa da un valore di 0.035 nel primo tratto a 0.0076 nel secondo. Un cambiamento molto evidente si osserva invece nel periodo post-sisma quando ambedue i tratti mostrano un incremento della pendenza; nel primo tratto questo cambiamento è meno consistente con valori che passano da 0.0035 a 0.0080, mentre nel secondo tratto l'incremento è di quasi un ordine di grandezza passando dall'iniziale 0.0076 a 0.0123.

Tali incrementi confermerebbero, come osservato in altre sorgenti a seguito della crisi sismica, un aumento della velocità di svuotamento; nel caso specifico, tale aumento interesserebbe indifferentemente tutto il complesso acquifero costituito, come detto, dalle formazioni della Corniola, della Maiolica e della Scaglia.

Il bilancio idrologico è stato invece calcolato, come accennato all'inizio del documento, sulla base dei dati giornalieri registrati nel periodo gennaio 2017 – ottobre 2021. Per quanto riguarda i dati di precipitazione, sulla base dei dati disponibili sul database della Regione Marche relativamente alle stazioni di Capodacqua, Monte Prata, Montemonaco e Arquata del Tronto sono stimati valori medi per l'area di studio di circa 1900mm per l'anno 2017, 2100mm per il 2018, 1920mm per il 2019 e 1750mm per il 2020. Per quanto riguarda l'evapotraspirazione media annuale (ET₀, calcolata secondo la formula di Hargreaves) sulla base di studi recenti (Gentilucci et al., 2019 e 2021) è stato stimato un valore medio annuo di 510mm (Fig.10).

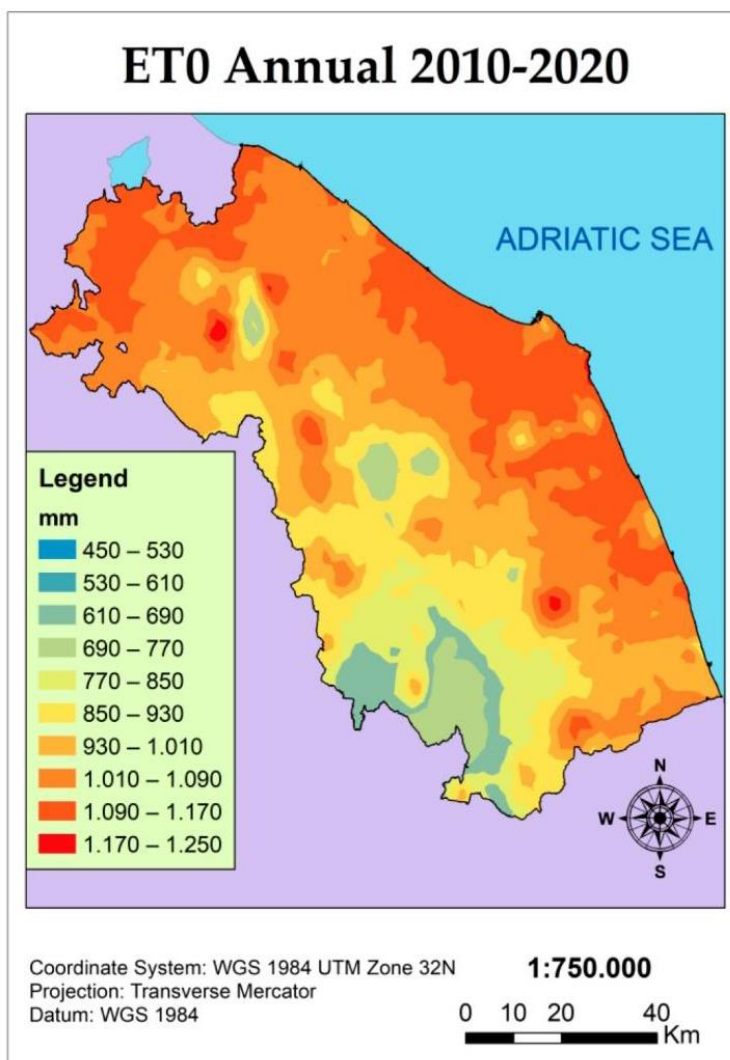


Figura 10 - Carta dell'evapotraspirazione media annuale della Regione Marche (modificato da Gentilucci et al., 2019 e 2021)

La pioggia efficace risulterebbe di conseguenza 1390mm per il 2017, 1590mm per il 2018, 1410mm per il 2019 e 1240mm per il 2020. Considerando poi la presenza in superficie di litologie francamente calcaree, è possibile ipotizzare un Coefficiente di Infiltrazione Potenziale (c.i.p.) molto alto e compreso fra l'80% ed l'85%. I risultati del bilancio per tre annualità 2017-2018-2019 sono mostrati in Fig.11.

RECESSIONE 2018									
Q ₀ (l/s)	Q _t (l/s)	T (d)	α	P (mm)	ETR (mm)	P _{eff} (mm)	I _{eff} (mm)	V _{tot} (m ³ /y)	
368	35	186	0.0123	2100	510	1590	1272	6567955	
W ₀ (m ³)	W _t (m ³)	ΔW (m ³)	T _{rin} (%)	t _{rin} (yr)	DT _t (d)	R (m ³ /y)	I _{eff} (mm)		
2584975.61	262410.10	2322565.51	0.898486	1.112983	86.75538	6614400	1263.06827		

RECESSIONE 2017									
Q ₀ (l/s)	Q _t (l/s)	T (d)	α	P (mm)	ETR (mm)	P _{eff} (mm)	I _{eff} (mm)	V _{tot} (m ³ /y)	
230	25	206	0.0123	1900	510	1390	1112	4721000	
W ₀ (m ³)	W _t (m ³)	ΔW (m ³)	T _{rin} (%)	t _{rin} (yr)	DT _t (d)	R (m ³)	I _{eff} (mm)		
1615609.756	128243.45	1487366.30	0.920622	1.086222	59.35647	4781600	1097.90698		

RECESSIONE 2019									
Q ₀ (l/s)	Q _t (l/s)	T (d)	α	P (mm)	ETR (mm)	P _{eff} (mm)	I _{eff} (mm)	V _{tot} (m ³ /y)	
194	39	154	0.0123	1920	510	1410	1128	2923432	
W ₀ (m ³)	W _t (m ³)	ΔW (m ³)	T _{rin} (%)	t _{rin} (yr)	DT _t (d)	R (m ³)	I _{eff} (mm)		
1362731.707	205047.77	1157683.94	0.849532	1.177119	60.84039	2932800	1124.39692		

LEGENDA	
Q ₀ (l/s)	= portata inizio recessione
Q _t (l/s)	= portata fine recessione
T (g)	= tempo recessione
α = coeff. Recessione	
W ₀ (m ³)	= immagazzinamento dinamico
W _t (m ³)	= immagazzinamento fine recessione
ΔW (m ³)	= volume liberato durante la recessione
T _{rin} (%)	= tasso di rinnovamento
t _{rin} (a)	= tempo di rinnovamento
DT _t (d)	= delay time
P (mm)	= precipitazioni
ETR (mm)	=evapotraspirazione reale
P _{eff} (mm)	=precipitazioni efficaci
I _{eff} (mm)	=infiltrazione efficace
R (m ³)	= ricarica durante l'anno idrologico

Figura 11 - Bilancio idrologico della sorgente di Pescara d'Arquata relativo agli anni 2017, 2018 e 2019.

Osservando i dati è facile notare come i risultati siano molto contrastanti, soprattutto per quanto riguarda l'areale di alimentazione potenziale. Tali discordanze sono solamente in parte attribuibili alle anomalie dei valori pluviometrici e soprattutto nivometrici, registrate negli anni 2017, 2019 e 2020.

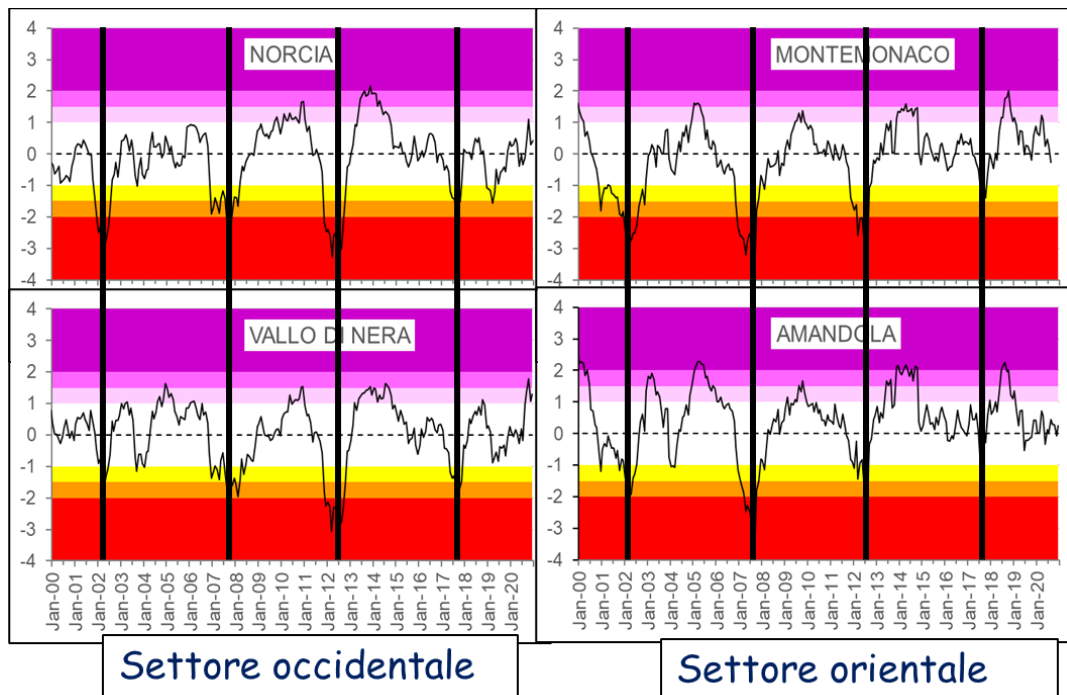


Figura 12 – Andamento dell'indice SPI-12 nei due settori (occidentale ed orientale) dei Monti Sibillini, nel ventennio 2010-2020 (modificato da Mastroiillo et al., 2021).

Come evidenziato recentemente da alcuni autori infatti (Mastrorillo et al., 2021, Fig.12), l'indice SPI-12 (Standard Precipitation Index a 12 mesi, sviluppato da McKee et al. 1993), che definisce gli stati siccitosi o umidi rapportando alla deviazione standard la differenza degli apporti pluviometrici rispetto alla precipitazione media di un determinato intervallo di tempo, sembra mostrare nell'ultimo quadriennio condizioni di siccità meno «severe» rispetto ai periodi precedenti.

Il deficit idrico osservato negli anni successivi al 2016, come evidenziato dall'andamento delle curve di recessione e della curva di durata della portata sorgentizia, confermerebbe di conseguenza il ruolo predominante degli eventi sismici sulla variazione del regime idrologico della sorgente. Più in particolare, la diminuzione del volume di ricarica sarebbe da associare, come evidenziato per la sorgente di Foce di Montemonaco, allo "spostamento" verso est dello spartiacque dinamico che separa la circolazione (verso est o verso ovest) all'interno dell'acquifero basale del sistema Monte Vettore-Bacino tettonico di Castelluccio-Bacino tettonico di Norcia (Fig.13).

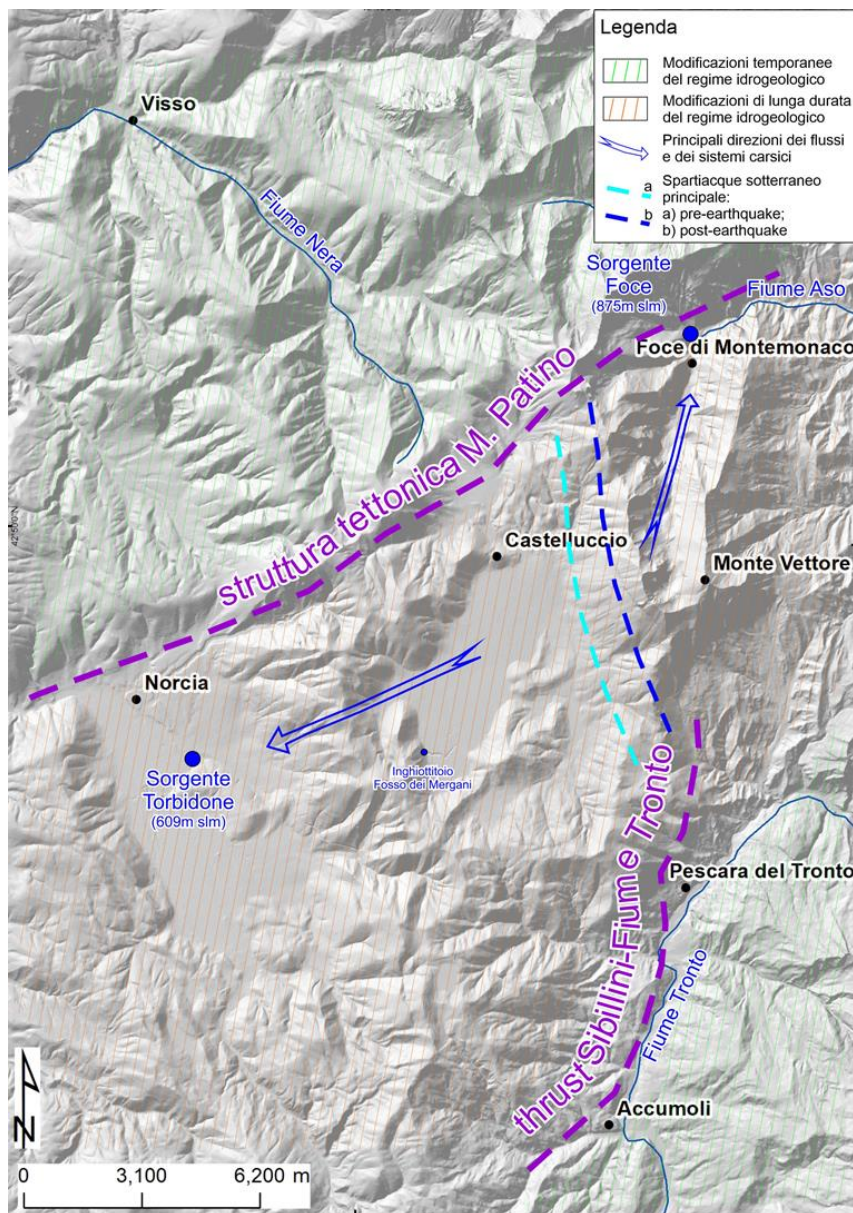


Figura 13 – Modificazione dei circuiti idrogeologici nell'area dei Monti Sibillini a seguito degli eventi sismici del 2016

Per la definizione dell'areale di alimentazione e degli altri indici desumibili dal bilancio idrologico, si propone di conseguenza di far riferimento ai valori ottenuti dall'elaborazione dell'anno 2018, ritenuti meno influenzati.

I risultati di tale bilancio indicano un areale di alimentazione di circa 5.2 kmq, in linea (seppur per difetto) con quello ipotizzato da Celico (2011) e riportato in Fig.14.

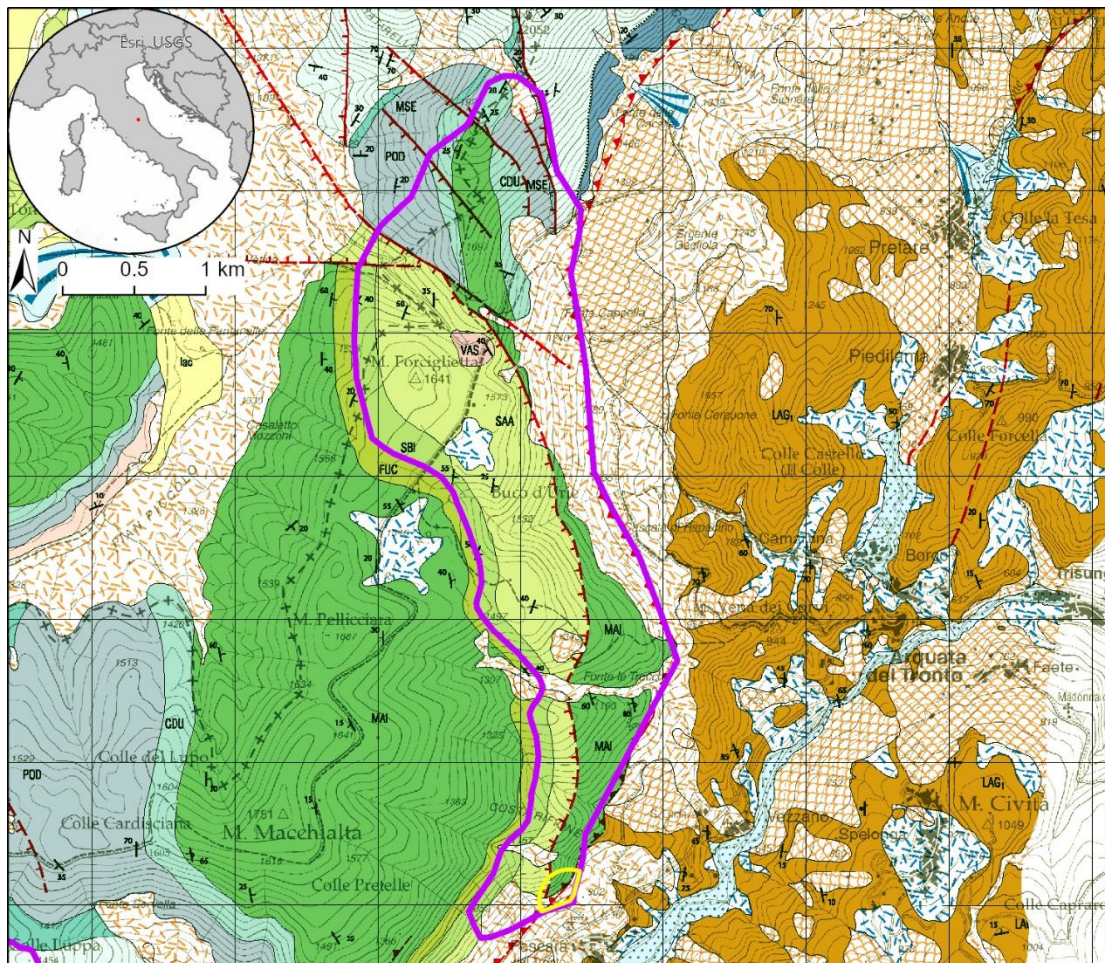


Figura 14 - Area di alimentazione della sorgente di Pescara d'Arquata (in viola)

I valori del Tasso di rinnovamento (Trin) in percentuale (89%) e del Tempo di rinnovamento (trin) in anni (1.11), indicherebbero tuttavia un acquifero con una bassa capacità di autoregolamentazione delle portate con una ricarica costituita da acque infiltratesi generalmente nell'anno idrologico.

3 Vulnerabilità all'inquinamento e proposta di delimitazione delle aree di salvaguardia della sorgente di Capodacqua

Come per altre sorgenti captate di questo settore dei Sibillini, il rischio da inquinamento è relativamente basso data la bassa presenza di insediamenti produttivi o di particolari centri di potenziale pericolo.

Per la stima del grado di vulnerabilità, come in altri casi, si è utilizzato il Metodo di Civita (2005) basato sul tempo di dimezzamento della portata sorgentizia (Fig.15).

Sulla base dei valori osservati e riportati nel bilancio di Fig.11 la sorgente di Pescara d'Arquata, con un tempo di dimezzamento sempre superiore ai 50 giorni, si può collocare nella situazione D.



Figura 15 - Abaco per la determinazione della situazione di vulnerabilità in funzione del tempo di dimezzamento (da Civita, 2005)

Tipo di opera	Situazione	Soggiacenza (m)	D (m)	d (m)
Alla sorgente	A	nulla	40	10
	B	nulla	30	5
	C	nulla	20	5
	D	nulla	10	2
In acquifero	A	> 20	30	5
	B	> 20	20	4
	C	> 20	15	3
	D	> 20	10	2

Figura 16 - Valori indicativi di D e d per il dimensionamento della ZTA secondo il "Metodo Civita"

Tenuto conto del contesto idrogeologico dell'area e della captazione si è deciso di utilizzare il criterio temporale sia per la Zona di Tutela Assoluta (ZTA) che per la Zona di Rispetto (ZR); un criterio puramente idrogeologico, basato sulla valutazione dell'areale di ricarica, è stato invece scelto per la Zona di Protezione (ZP).

Per la ZTA, sono stati utilizzati i valori indicati dal Metodo Civita (10m a partire dall'opera di presa), riportati nella tabella di Fig.15 e Fig.16.

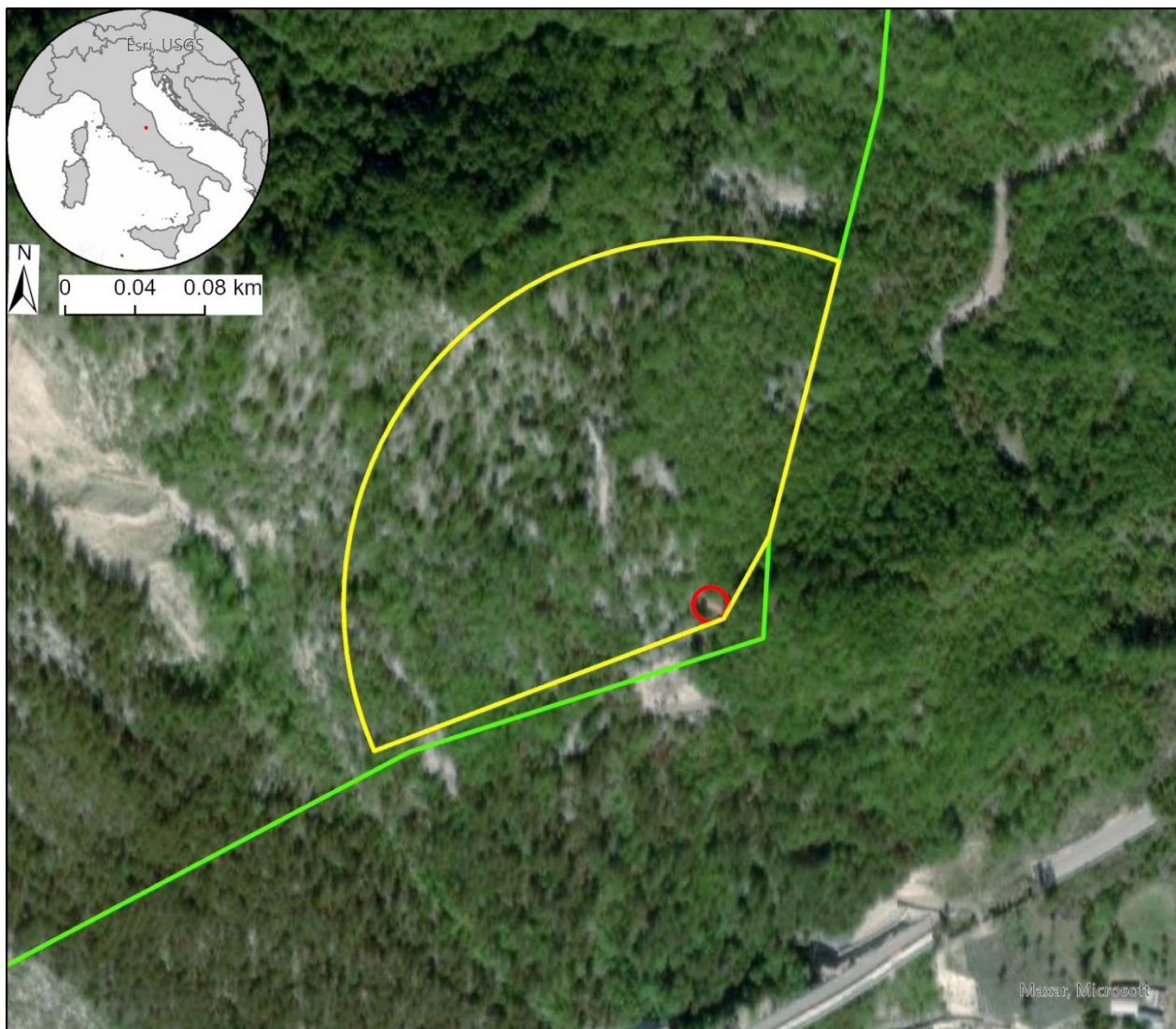


Figura 17 - Proposta di perimetrazione della ZTA (in rosso) e della ZR (in giallo) per la sorgente di Pescara d'Arquata

Anche per quanto riguarda la ZR (Fig.17), è stato definito un areale seguendo le indicazioni riportate in Fig.18 (curva di involuppo di raggio 200m intorno alle singole opere di captazione).

Situazione	Estensione a monte	Note
A	Tutta l'area di alimentazione	Efficacia limitata
B	Tutta l'area di alimentazione	Riducibile a 2000 m in caso di acquifero protetto in superficie
C	L = 400 m	
D	L = 200 m	

Figura 18 - Dimensionamento della ZR nelle diverse situazioni di vulnerabilità (modificato da Civita, 1988 e 2005)

La Zona di Protezione (ZP), infine, come da normativa, è stata tracciata comprendendo tutta la possibile area di ricarica dell'acquifero (Fig.19).



Figura 19 - Proposta di perimetrazione della ZP (in colore verde) per la sorgente di Pescara d'Arquata

4 Bibliografia essenziale

Celico, P.B. (2011) - Studio idrogeologico per la redazione dello S.I.A. necessario per il rinnovo della concessione di derivazione della sorgente Pescara d'Arquata (Arquata del Tronto - AP). CIIP S.p.A., Report interno.

Dragoni, W., Speranza, G., Valigi, D. (2003) – Impatto delle variazioni climatiche sui sistemi idrogeologici: il caso della sorgente Pescara d'Arquata (Appennino Umbro-Marchigiano, Italia). *Geologia tecnica e ambientale*, 3, pagg. 27-35.

Gentilucci, M., Bufalini, M., Materazzi M., Barbieri M., Aringoli D., Farabollini P.; Pambianchi G. (2021) - Calculation of Potential Evapotranspiration and Calibration of the Hargreaves Equation Using Geostatistical Methods over the Last 10 Years in Central Italy. *Geosciences* 2021, 11, 348.

Gentilucci M., Materazzi M., Pambianchi G., Burt P., Guerriero G. (2019) - Assessment of variations in the temperature-rainfall trend in the province of Macerata (Central Italy), comparing the last three climatological standard normals (1961–1990; 1971–2000; 1981–2010) for biosustainability studies. *Environ. Process.* 2019, 6, 391–412.

Mastrorillo, L., Viaroli, S., Banzato, F., Bolzonella, E., Bufalini, M., Ianni, C., Materazzi, M., Petitta, M., Tonelli, M. (2021) - Co-occurrence of climatic and post-seismic events depleting groundwater resources of fractured carbonate aquifers of Sibillini Mts. (Central Italy). *Convegno Flowpath 2021, Oral Presentation.*

Petitta, M. (2011) - Studio idrogeologico per l'identificazione e la caratterizzazione degli acquiferi che alimentano le sorgenti dei corsi d'acqua perenni dei Monti Sibillini, esteso all'intera area del Parco Nazionale. Università La Sapienza di Roma, relazione finale.

Pierantoni P.P., Deiana G, Galdenzi S. (2013) - Stratigraphic and structural features of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy). *Ital J Geosci* 132(3):497–520. <https://doi.org/10.3301/IJG.2013.08>