

## Convenzione ISPRA – Ente Parco Nazionale dei Monti Sibillini

Studio delle variazioni delle condizioni di pericolosità da frana  
e da fenomeni di dissesto lungo la rete sentieristica  
e della circolazione delle acque sotterranee e superficiali  
avvenute in seguito agli eventi sismici del 2016 e 2017

### Relazione finale delle attività idrogeologiche svolte



*luglio 2020*

**Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia**  
Servizio per la Geologia Applicata, la Pianificazione di Bacino  
e la gestione del rischio idrogeologico, l'idrogeologia  
e l'idrodinamica delle acque sotterranee

**ISPRA**

## Sommario

<b>INTRODUZIONE</b> .....	<b>3</b>
<b>1. BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO</b> .....	<b>5</b>
<b>2. RISULTATI</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' IDROGEOLOGICHE</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2. SINTESI DELLE OSSERVAZIONI NEI SITI STUDIATI</b> .....	<b>16</b>
<b>2.2.1. INQUADRAMENTO METEO-CLIMATICO</b> .....	<b>34</b>
<b>2.2.2. AREA TORBIDONE - PIANA DI NORCIA - MARCITE</b> .....	<b>47</b>
<b>2.2.3. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME NERA</b> .....	<b>53</b>
<b>2.2.4. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME TENNA</b> .....	<b>57</b>
<b>2.2.5. AREA DEL LAGO DI PILATO</b> .....	<b>61</b>
<b>3. CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI RIGUARDO AL MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE DI STUDIO</b> .....	<b>74</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	<b>80</b>

### TAVOLE FUORI TESTO

<b>TAV. IDRO.1</b>	<b>Carta Idrogeologica dell'area della Piana di Norcia - Rio Torbidone Marcite (scala 1:20.000)</b>
<b>TAV. IDRO.2</b>	<b>Carta Idrogeologica dell'area delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Tenna (scala 1:20.000)</b>
<b>TAV. IDRO.3</b>	<b>Carta Idrogeologica dell'area delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera (scala 1:15.000)</b>
<b>TAV. IDRO.4</b>	<b>Carta Idrogeologica dell'area del Lago di Pilato (scala 1:10.000)</b>

## Il Gruppo di Lavoro per l'idrogeologia

Per le attività previste dalla Convenzione, il cui Responsabile scientifico è Paolo Maria Guarino, è stato creato un Gruppo di Lavoro, che, per quanto concerne lo “Studio delle variazioni della circolazione delle acque sotterranee e superficiali avvenute in seguito agli eventi sismici del 2016 e 2017”, è articolato come segue:

- Lucio Martarelli (Responsabile tecnico)
- Rossella Gafà
- Francesco La Vigna
- Gennaro Maria Monti
- Luca Maria Puzzilli (indagini geofisiche)
- Valerio Ruscito (indagini geofisiche)
- Angelantonio Silvi

*In copertina: l'area sorgiva del Torbidone a maggio 2018 (in alto a sinistra); l'alta valle del Fiume Tenna in morbida a maggio 2018 (in alto a destra); il Lago di Pilato a settembre 2018 (in basso a sinistra); il Fiume Nera a Castelsantangelo a novembre 2018 (in basso a destra)*

## INTRODUZIONE

In questo Report si riportano i risultati delle attività idrogeologiche svolte nell'ambito della Convenzione tra ISPRA e l'Ente Parco Nazionale dei Monti Sibillini (periodo complessivo da giugno 2018 a luglio 2020) finalizzata allo studio delle variazioni occorse a carico della circolazione idrica sotterranea e superficiale in alcune aree del territorio del Parco, avvenute in seguito agli eventi sismici del Centro Italia nel periodo agosto 2016 – marzo 2017. Le variazioni di cui sopra hanno interessato le portate sorgive, la quota dei livelli piezometrici e le portate fluviali e sono state riscontrate in molti siti nell'intorno dell'area interessata dal sisma.

Una sequenza sismica con eventi di Mw 5.0–6.5 ha interessato l'Italia Centrale tra agosto 2016 e marzo 2017 con effetti sulla dinamica delle acque sotterranee degli acquiferi carbonatici fratturati. Come conseguenza si sono riscontrate variazioni di portate sorgive, di posizione dei livelli piezometrici e di portate fluviali.

Le principali scosse telluriche della sequenza sismica del 2016-2017 sono state generate dal sistema di faglie Monte Gorzano-Monte Vettore-Monte Bove. Con il primo evento sismico del 24 agosto 2016 (Mw 6.0) è avvenuta una rottura nella faglia del Monte Vettore lungo un segmento di circa 10 km con uno spostamento in superficie di circa 30 cm. La successiva scossa del 30 ottobre 2016 (Mw 6.5) ha causato molte rotture superficiali in tutto il sistema della faglia Monte Vettore-Monte Bove e creato altri spostamenti superficiali a carico delle superfici di faglia mobilizzate in precedenza (Smeraglia et al., 2017).

La stima dell'incremento di portata di fiumi e sorgenti nel corso dei primi mesi successivi agli eventi sismici è di circa 10 m<sup>3</sup>/s ed ha provocato oltre 0,1 km<sup>3</sup> di rilascio di acque sotterranee in più rispetto alle medie annuali degli anni precedenti. Probabilmente, la causa di queste alterazioni è attribuibile ad un aumento delle pressioni idrauliche negli acquiferi e ad un concomitante aumento della loro conducibilità idraulica in massa, che ha portato ad un incremento dei livelli piezometrici nelle aree di recapito basali ed una loro conseguente diminuzione in alcune delle aree di ricarica. Non sono da escludere anche processi quali scuotimento, compressione e rottura di barriere ai limiti degli acquiferi (Petitta et al., 2018).

Nell'ambito di questo scenario, è stato condotto il presente studio sulle variazioni delle condizioni idrogeologiche avvenute a carico di alcune sorgenti, corsi d'acqua e laghi montani dei Monti Sibillini, finalizzato alla definizione di modelli idrogeologici concettuali che possano contribuire ad adottare le più opportune azioni per la gestione sostenibile di queste ingenti quantità di risorsa idrica sotterranea.

Si riporta che le aree scelte come oggetto di studio sono (Fig. 1): 1) la sorgente del Rio Torbidone; 2) le risorgive delle Marcite; 3) le sorgenti e l'alto corso del Fiume Nera; 4) le sorgenti e l'alto corso del Fiume Tenna; 5) il Lago di Pilato.

Il presente studio è stato impostato secondo le metodologie dell'idrogeologia quantitativa (e.g., Boni & Bono, 1982; Boni et al., 1986; Mastroiello et al., 2009) che si basano su informazioni e dati acquisiti con il rilevamento idrogeologico di campagna.

Anche se le aree d'interesse del presente studio sono di estensione limitata rispetto a quella dell'insieme dei Monti Sibillini e quindi sono rappresentative di situazioni che possono essere considerate sostanzialmente locali, esse rivestono un ruolo chiave per importanza idrogeologica e strategica nella gestione delle risorse idriche sibilline.

In tutto il periodo di monitoraggio ed in funzione degli obiettivi delle attività da svolgere, in ciascuna delle aree di studio è stato adottato il criterio generale (distribuzione spaziale dei punti di controllo e dell'intervallo temporale tra le campagne di misura) che prometteva di ottenere un ottimale rapporto costi/risultati.

Nel presente rapporto sono state riassunte le considerazioni dei precedenti due report (dicembre 2018 e luglio 2019), che sono state in alcuni casi ampliate e opportunamente riesaminate in considerazione delle nuove conoscenze acquisite durante quest'ultimo periodo di indagine e di ulteriore raccolta di dati, anche pregressi.

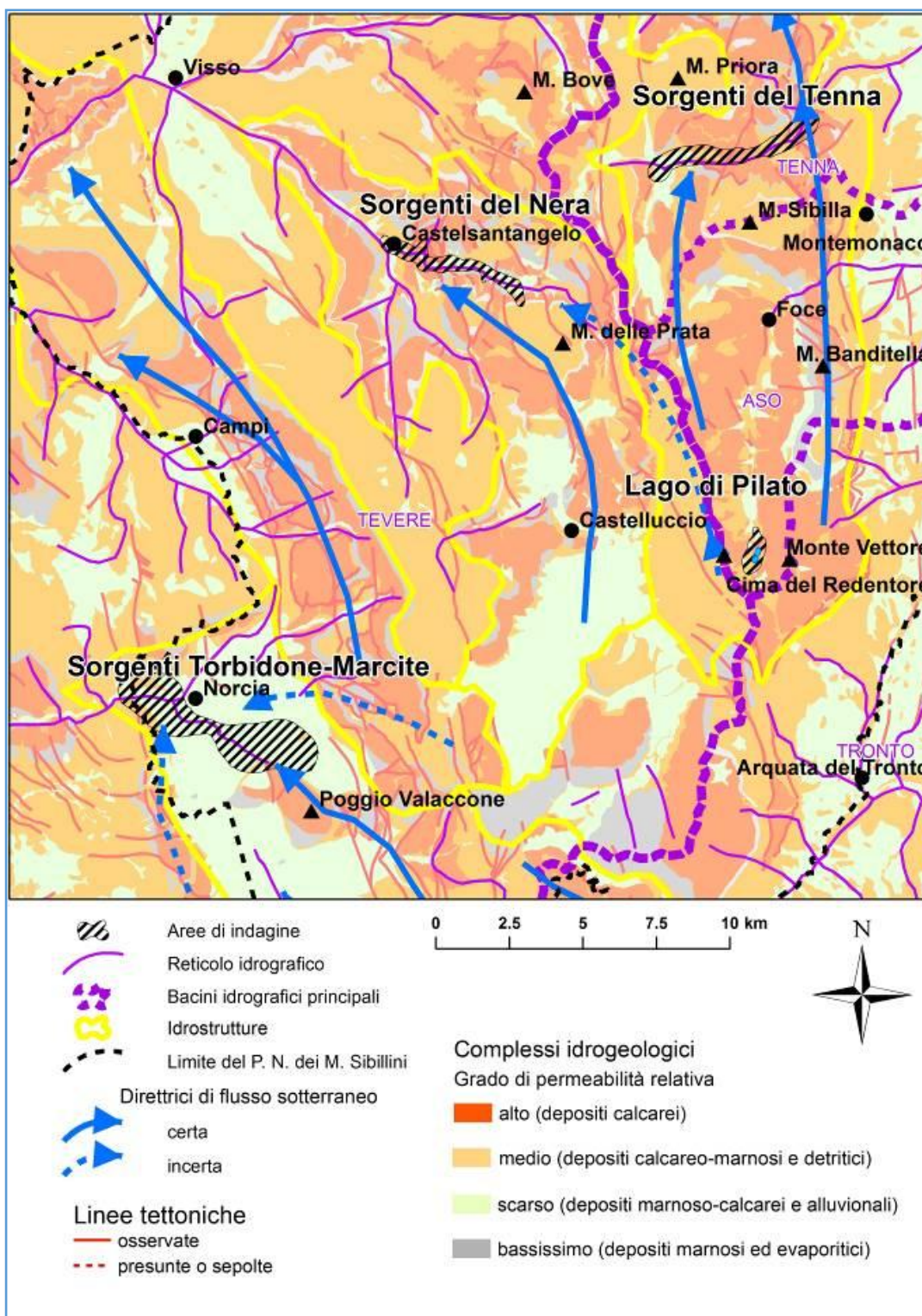


Figura 1: Schema idrogeologico dei settori del Parco Nazionale dei Monti Sibillini in cui ricadono le aree oggetto delle indagini svolte dal Servizio Geologico d'Italia di ISPRA

## 1. BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'area dei Monti Sibillini è situata nella parte centrale della catena appenninica e consiste in una struttura meso-cenozoica a pieghe e sovrascorrimenti sviluppatasi nell'intervallo Miocene superiore-Quaternario. È costituita da una successione sedimentaria pre-orogena triassico-miocenica sovrascorsa su sedimenti sinorogenici mio-pliocenici, caratterizzata da una grande variabilità di facies e spessori. Il dominio di piattaforma carbonatica dell'Appennino Laziale-Abruzzese (con una sequenza sedimentaria di circa 500 m di spessore) interessa limitatamente la parte SE dei Monti Sibillini, mentre nella restante parte (Appennino Umbro-Marchigiano) è presente un'unità di piattaforma carbonatica del Giurassico inferiore sovrascorsa su sedimenti pelagici stratificati del Liassico medio-Miocene inferiore (2500-3000 m di spessore). La tettonica distensiva olocenica potrebbe essere la causa dell'attività sismica che interessa l'area di studio (Cello et al., 1998).

Riguardo allo schema della circolazione sotterranea, nell'area dei Monti Sibillini la dorsale carbonatica fratturata ospita gli acquiferi principali che alimentano molte sorgenti perenni con un regime piuttosto costante, poste al margine periferico degli stessi acquiferi. Il flusso idrico delle acque sotterranee si sviluppa in tempi relativamente brevi nelle rocce serbatoio carbonatiche fessurate e subordinatamente carsificate (e.g., Petitta, 2009; Amoroso et al., 2014; Fiorillo et al., 2015). I sedimenti silicoclastici sinorogenici mio-pliocenici hanno funzione di acquitardo (Petitta et al., 2011). I suddetti litotipi carbonatici fessurati e carsificati, anche in aree endoreiche, hanno un elevato grado d'infiltrazione efficace (da 500 a 700 ed anche fino a 900 mm/a) ed in totale alimentano un flusso di acque sotterranee di circa 300 m<sup>3</sup>/s (Boni et al., 1986, 2010).

La complessa tettonica occorsa nell'area ha portato alla differenziazione del rilievo montuoso dei Monti Sibillini in varie unità idrogeologiche. Nel dettaglio, l'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite ricade nell'unità idrogeologica caratterizzata dagli elementi orografici M.Utero-Piana di Norcia, l'area dell'alta valle del F. Nera nell'unità Piano Grande-M. delle Prata-Alta Valnerina e le aree delle sorgenti del F. Tenna e del lago di Pilato nell'unità M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo.

I terreni che costituiscono la dorsale dei Monti Sibillini possono essere raggruppati in diversi complessi Idrogeologici (e.g., Boni et al., 2010). In questo elaborato, per evitare la proliferazione del numero dei complessi, i litotipi caratterizzati prevalentemente da bassissima permeabilità sono stati accorpati nei complessi dei litotipi maggiormente permeabili cui fanno in genere da livello acquicludo basale (e.g., Marne a Fucoidi e Rosso Ammonitico) nella sequenza stratigrafica diretta.

I complessi idrogeologici distinti sono (dal basso verso l'alto):

- Complesso calcareo basale (alto grado di permeabilità relativa; Giurassico inferiore), comprende le formazioni del Calcare Massiccio (calcarei cristallini e brecciati; potenza 500-700 m), della Corniola (calcarei stratificati con marne alla sommità; 200-300 m) e del Bugarone (successione carbonatica condensata), tutte caratterizzate da considerevole permeabilità per fessurazione e subordinatamente per carsismo. È sede dell'Acquifero Basale. L'infiltrazione efficace è superiore a 800 mm/a nei termini calcarei, ma molto più bassa in quelli marnosi.

- Complesso calcareo superiore (alto grado di permeabilità relativa; Giurassico medio-Cretacico inferiore), costituito dalla formazione della Maiolica (calcarei stratificati a grana fine; potenza 200-250 m), generalmente caratterizzata da notevole permeabilità per fessurazione e subordinatamente per carsismo, e dall'insieme delle sottostanti formazioni calcareo-silico-marnose caratterizzate da bassa permeabilità (Calcarei e Marne del Sentino, Formazione del Bosso, Rosso Ammonitico, Calcarei e Marne a Posidonie, Calcareniti di Monte Valvasseto, Calcareniti nocciola della Valnerina, Calcarei Diasprigni; spessore totale 150-250 m; evidenziati in grigio). Tale complesso può ospitare un acquifero indipendente (Acquifero della Maiolica) laddove l'insieme delle suddette formazioni calcareo-silico-marnose si comporta come un acquicludo locale. Dove quest'acquicludo ha spessore molto ridotto si

può avere continuità idraulica tra l'Acquifero della Maiolica e l'Acquifero Basale. L'infiltrazione efficace è superiore a 800 mm/a nei termini calcarei, ma molto più bassa in quelli marnosi.

- Complesso calcareo-marnoso (medio grado di permeabilità relativa; Cretacico medio-Eocene medio), comprende le formazioni mediamente permeabili per fessurazione e subordinariamente carsismo della Scaglia Bianca, Scaglia Rossa e Scaglia Variegata (calcarei silico-marnosi; potenza 200-300 m) e la formazione a bassa permeabilità delle Marne a Fucoidi (marne e calcari silico-marnosi; 30-50 m). Ospita l'Acquifero della Scaglia Calcarea. La formazione delle Marne a Fucoidi (evidenziata in grigio) può costituire un limite idraulico tra l'Acquifero della Maiolica e quello della Scaglia calcarea e un livello di base di acquiferi sospesi. L'infiltrazione efficace è 500-600 mm/a per i terreni calcarei.

- Complesso marnoso-calcareo e marnoso (scarso grado di permeabilità relativa; Eocene superiore-Miocene superiore), costituito dalle formazioni della Scaglia Cinerea (marne e calcari marnosi detritici con livelli argillosi; potenza 50-150 m) e del Bisciario, dello Schlier, delle Marne a Pteropodi e delle Marne con Cerrognana (calcarei marnosi e marne calcaree con livelli marnoso-argillosi; spessore totale circa 200 m), caratterizzato da bassa permeabilità e privo, quindi, di acquiferi di rilievo. L'infiltrazione efficace è variabile tra 200 e 300 mm/anno, nei termini più marnosi è minore di 200 mm/a.

- Complesso dei flysch (scarso grado di permeabilità relativa; Miocene superiore), include la Formazione della Laga, la Formazione Gessoso-Solfifera e le Arenarie di Camerino (depositi torbiditici; potenza fino a oltre 1000 m), caratterizzate da bassa permeabilità e prive di acquiferi significativi, tranne in alcuni orizzonti con granulometria più grossolana e quindi maggiormente permeabili. L'infiltrazione efficace è minore di 200 mm/a, può raggiungere i 200-300 mm/anno nei termini più permeabili.

- Complesso sabbioso-conglomeratico e detritico (medio grado di permeabilità relativa; Pliocene superiore-Pleistocene), comprende conglomerati poligenici cementati e stratificati, sabbie ed argille sabbiose e conoidi e depositi di versante, talvolta cementati. Presentano caratteristiche granulometriche molto eterogenee e spessore totale fino ad alcune decine di metri. Ospita acquiferi locali. Infiltrazione efficace: variabile tra 300 e 500 mm/anno.

- Complesso dei depositi alluvionali, morenici e lacustri (scarso grado di permeabilità relativa; Quaternario). I depositi lacustri sono presenti nelle depressioni di Castelluccio di Norcia e di Norcia, con spessori fino a qualche centinaio di metri e sono costituiti prevalentemente da alternanze di depositi limoso-argillosi, a luoghi con torbe. I depositi alluvionali e morenici presentano caratteristiche granulometriche molto eterogenee e spessori fino a decine di metri. Questi depositi sono caratterizzati da bassa permeabilità, ma al loro interno, negli orizzonti più permeabili, possono contenere modesti acquiferi sospesi, liberi o multistrato, alimentati da apporti sia zenitali sia laterali provenienti dai complessi contigui. Tali acquiferi non hanno rilevanza nell'ambito idrogeologico regionale, ma possono avere importanza locale. L'infiltrazione efficace è minore di 200 mm/a.

## 2. RISULTATI

### 2.1. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITA' IDROGEOLOGICHE

L'indagine è consistita in rilievi di campagna volti ad accertare le principali modifiche delle condizioni idrogeologiche di sorgenti e corsi d'acqua verificatesi nel territorio del Parco a seguito degli eventi sismici del periodo agosto 2016 – marzo 2017.

Il supporto del Parco ha garantito la concessione, per quanto di competenza, dei permessi necessari per raggiungere le aree sottoposte a vincoli e la fornitura dei dati idrogeologici pregressi in suo possesso e recentemente acquisiti. Inoltre, le amministrazioni comunali di Montefortino e Montemonaco hanno gentilmente concesso i permessi di loro competenza per avvicinarsi il più possibile con auto di servizio ISPRA agli accessi della Valle del Tenna e della Valle del Lago di Pilato e, pertanto, si rivolge loro un sentito ringraziamento per la fattiva collaborazione.

E' stata attuata una raccolta dei dati disponibili presso altri Enti coinvolti nello studio degli effetti sismici sulle risorse idriche dei Monti Sibillini (Regioni Umbria e Marche, Autorità di Distretto Idrografico dell'Italia Centrale, CNR, INGV, Università di Roma-La Sapienza, di Perugia, di Urbino, delle Marche, di Camerino) e gli Enti gestori della risorsa idrica (Acquedotto del Nera, Acquedotto del Tennacola, Cicli Integrati Impianti Primari S.p.A., Azienda Specializzata Settore Multiservizi S.p.A., Acqua Nera S.p.A.). Si ringraziano quegli Enti che hanno messo a disposizione i loro dati. Per le aree dove questi dati sono stati forniti, è stato possibile elaborare un quadro conoscitivo dell'evoluzione della situazione idrogeologica dal pre- al post-sisma.

Negli areali di studio segnalati (sorgente del Torbidone; risorgive delle Marcite; sorgenti e corso dell'alta valle del F. Nera; sorgenti del F. Tenna; lago di Pilato; Fig. 1) ISPRA ha effettuato sopralluoghi e rilievi geologici e geomorfologici. Nella seconda parte del 2019, sono state eseguite alcune indagini geofisiche e tramite volo drone che hanno consentito di approfondire, rispettivamente, le conoscenze riguardo alle geometrie del sottosuolo e del DTM nell'area del Lago di Pilato. Per le indagini geofisiche, ci si è avvalsi dell'ausilio del Comando per la Tutela della Biodiversità e dei Parchi dell'Arma dei Carabinieri per il trasporto in elicottero della voluminosa strumentazione necessaria. Si ringrazia anche codesto Comando per la fattiva ed indispensabile collaborazione.

Le misure effettuate con cadenza mensile o bimestrale nei due anni idrologici nel periodo giugno 2018-luglio 2020 rispecchiano la situazione delle fasi di magra 2018 e 2019, delle fasi di morbida (dopo la ricarica inverno-primavera) 2018-2019 e 2019-2020 e l'inizio della fase di magra 2020.

I risultati di tutte le attività di cui sopra hanno permesso di consolidare la conoscenza dello stato della risorsa idrica superficiale e sotterranea degli areali indicati dall'Ente Parco e un'elaborazione di modelli concettuali della circolazione idrica sotterranea.

La tabella 1 riporta le coordinate e le quote di riferimento dei principali punti di controllo selezionati, mentre i dati raccolti in tutti i siti in studio (misure di portata in alveo e sorgiva; misure di livello piezometrico nei pozzi della Piana di Norcia; rilevamento di parametri chimico-fisici delle acque - temperatura, conducibilità elettrica specifica e pH) sono riassunti nelle tabelle 2, 3, 4, 5 e 6.

Nel dettaglio, nell'area che comprende la sorgente del Rio Torbidone, la Piana di Norcia e le risorgive delle Marcite sono state svolte misure di portata sorgiva e fluviale in alveo e misure di livello piezometrico nei pozzi. In quella delle sorgenti e del corso dell'alta valle del F. Nera sono invece state eseguite esclusivamente misure di portata sorgiva e fluviale in alveo. Nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del F. Tenna è stato possibile condurre le misure di portata in alveo solo nei periodi

giugno-ottobre 2018, marzo-dicembre 2019 e giugno-luglio 2020, per la presenza di innevamento e gelo in quota e delle connesse situazioni di potenziale insicurezza nei periodi esclusi. Nell'area del Lago di Pilato, i sopralluoghi e rilievi previsti (misure di portata sorgiva; rilevamento delle coordinate lungo i margini del lago) sono stati interrotti per i periodi da dicembre 2018 a maggio 2019 e da ottobre 2019 a maggio 2020, sempre a causa dell'innnevamento e, riguardo al secondo intervallo, anche per l'avvenuto prosciugamento del lago. L'interruzione di tutte le misure tra marzo e maggio 2020 è stata dovuta a cause di forza maggiore connesse alle limitazioni per l'emergenza sanitaria Covid-19.

In parallelo alle indagini di campagna, si è proceduto alla caratterizzazione meteo-climatica degli areali in studio mediante l'acquisizione e l'analisi delle serie di dati disponibili. Le fonti dei dati sono il Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Marche, il Servizio Idrografico della Regione Umbria, l'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio e gli Annali Idrologici. In particolare, sono stati acquisiti i dati delle precipitazioni (anche nevose, laddove disponibili) e di temperatura in un arco temporale almeno trentennale, ove possibile; le medie su lungo periodo sono state utilizzate per valutare gli scostamenti dalla media dei singoli anni e le serie temporali sono state analizzate per individuare e valutare eventuali trend. Oltre ad avere acquisito ed elaborato i dati di tutte le stazioni attive nell'intorno degli areali studiati, sono state in particolare prese come riferimento per ciascun sito di interesse le stazioni di Norcia, per l'area del Torbidone, Visso (Endesa) e Castelsantangelo sul Nera (Nerea), per l'area dell'alta Valnerina e Montemonaco e Monte Prata, per le aree dell'alta valle del Tenna e del Lago di Pilato. E' stata verificata la presenza, fra le stazioni scelte, di lacune significative nelle serie temporali che si è tentato di colmare, valutando i dati delle altre stazioni con caratteristiche di localizzazione e quota tali da poter essere considerate indicative delle condizioni climatiche degli areali in studio.

L'implementazione della banca dati e del GIS dedicato, già costituiti, ha consentito la redazione e l'aggiornamento di carte e schemi esplicativi delle indagini svolte sul terreno, alcuni dei quali sono stati utilizzati per il presente report.

Le informazioni geologiche di base utilizzate per questo lavoro provengono dalle cartografie geologiche alla scala 1:10.000 disponibili nei siti web della Regione Marche e della Regione Umbria e, per il solo territorio della Regione Marche, da Pierantoni et al. (2013).

**Tab. 1 – Coordinate geografiche nel sistema WGS84 e quote di riferimento dei principali punti di controllo selezionati**

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			
Stazione di misura	Latitudine	Longitudine	Quota (m s.l.m.)
F.Torbidone sorgente	42°46'49"N	13°06'44"E	623
F.Sordo a valle San Martino	42°47'11"N	13°06'04"E	602
F.Sordo pista ciclabile	42°47'20"N	13°05'29"E	580
F.Sordo C.Passerini	42°47'41"N	13°04'27"E	550
Pozzo P10	42°46'34"N	13°06'19"E	627
Pozzo P11	42°47'01"N	13°07'12"E	641
Pozzo P12bis	42°47'19"N	13°06'23"E	631
Pozzo P14	42°46'30"N	13°05'33"E	620
Pozzo P20	42°47'13"N	13°05'07"E	581
Pozzo P21	42°47'21"N	13°05'01"E	574
Pozzo P36	42°46'55"N	13°07'08"E	630
Pozzo P37	42°46'23"N	13°05'29"E	624
<b>BACINO FIUME TENNA</b>			
Stazione di misura	Latitudine	Longitudine	Quota (m s.l.m.)
S.te Tenna (troppo pieno)	42°54'46"N	13°14'14"E	1178
F.Tenna C. le Cerasa	42°54'48"N	13°14'11"E	1178
F.Tenna dopo F.so Valle Lunga	42°54'46"N	13°14'17"E	1175
F.Tenna a valle delle Vene	42°54'49"N	13°15'41"E	990
F.Tenna a monte laghetto	42°54'51"N	13°15'44"E	985
F.Tenna a valle sentiero San Leonardo	42°55'05"N	13°16'22"E	945
F.Tenna al sasso piramidale	42°55'08"N	13°16'27"E	941
F.Tenna al guado delle Pisciarelle	42°55'17"N	13°16'46"E	845
Fossi lato sentiero S.Leonardo	42°55'04"N	13°16'14"E	970-945
Le Pisciarelle	42°55'19"N	13°16'47"E	925-845
<b>BACINO FIUME NERA</b>			
Stazione di misura	Latitudine	Longitudine	Quota (m s.l.m.)
F.te Spugna 2	42°53'05"N	13°11'41"E	1000
F.so Ravarro dell'Acqua	42°53'18"N	13°10'54"E	925
Sorgenti del Nera	42°53'24"N	13°10'20"E	844
F. Nera a Vallinfante	42°53'25"N	13°09'53"E	815
F.Nera all'oasi faunistica	42°53'33"N	13°09'43"E	767
F.Nera all'altezza di San Chiodo	42°53'33"N	13°09'40"E	760
F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo	42°53'33"N	13°09'40"E	759
F.Nera area pic-nic S.Trita	42°53'34"N	13°09'34"E	758
F.Nera a Castelsantangelo	42°53'40"N	13°09'08"E	730
F.Nera a Castelsantangelo a valle del Rapegna	42°53'41"N	13°09'06"E	730
<b>BACINO DEL LAGO DI PILATO</b>			
Stazione di misura	Latitudine	Longitudine	Quota (m s.l.m.)
Fonte del Lago	42°49'41"N	13°15'56"E	1955

**Tab. 2 – Principali dati di portata misurati nell'area Torbidone-Piana di Norcia-Marcite, situata nell'ambito del Bacino idrografico del Fiume Sordo**

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			<b>Portata</b>						
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>						
		m	<b>giu-18</b>	<b>lug-18</b>	<b>ago-18</b>	<b>set-18</b>	<b>ott-18</b>	<b>nov-18</b>	
<b>F.Torbidone sorgente</b>	sorgente	623	0.589	0.654	0.684	0.466	0.606	0.667	
<b>F.Sordo a valle San Martino</b>	a valle San Martino	602	0.879	0.931	0.932	0.675	0.851	0.894	
<b>F.Sordo pista ciclabile</b>	pista ciclabile	580	0.797	0.865	0.833	0.929	0.919	0.816	
<b>F.Sordo C.Passerini</b>	C.Passerini	550	1.782	2.113	2.035	2.307	1.934	1.907	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>						
		m	<b>dic-18</b>	<b>gen-19</b>	<b>feb-19</b>	<b>mar-19</b>	<b>apr-19</b>	<b>mag-19</b>	
<b>F.Torbidone sorgente</b>	sorgente	623	0.525	0.452	0.428	0.371	0.275	0.250	
<b>F.Sordo a valle San Martino</b>	a valle San Martino	602	0.764	0.644	0.612	0.545	0.475	0.446	
<b>F.Sordo pista ciclabile</b>	pista ciclabile	580	0.698	0.694	0.624	0.653	0.473	0.440	
<b>F.Sordo C.Passerini</b>	C.Passerini	550	1.852	1.703	1.679	1.464	1.480	1.456	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>						
		m	<b>giu-19</b>	<b>lug-19</b>	<b>ago-19</b>	<b>set-19</b>	<b>ott-19</b>	<b>nov-19</b>	
<b>F.Torbidone sorgente</b>	sorgente	623	0.231	0.230	0.216	0.169	0.124	0.103	
<b>F.Sordo a valle San Martino</b>	a valle San Martino	602	0.422	0.356	0.362	0.309	0.259	0.260	
<b>F.Sordo pista ciclabile</b>	pista ciclabile	580	0.440	0.343	0.296	0.256	0.231	0.271	
<b>F.Sordo C.Passerini</b>	C.Passerini	550	1.259	1.213	1.114	1.099	0.962	1.181	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>						
		m	<b>dic-19</b>	<b>gen-20</b>	<b>feb-20</b>	<b>giu-20</b>	<b>lug-20</b>		
<b>F.Torbidone sorgente</b>	sorgente	623	0.084	0.065	0.052	0.008	0.001		
<b>F.Sordo a valle San Martino</b>	a valle San Martino	602	0.227	0.241	0.210	0.160	0.137		
<b>F.Sordo pista ciclabile</b>	pista ciclabile	580	0.203	0.214	0.181	0.105	0.133		
<b>F.Sordo C.Passerini</b>	C.Passerini	550	1.048	1.054	1.034	0.985	0.830		

**Tab. 3 – Dati di livello statico (LS) della falda idrica sotterranea della Piana di Norcia nei punti di controllo selezionati (n.d.= non disponibile)**

Sigla pozzo	Quota piano campagna (PC) m s.l.m.	Profondità del pozzo da PC m	Quota LS m s.l.m.						
			m s.l.m.						
			giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18	
P10	627	70	599.48	599.34	599.23	598.78	598.64	598.62	
P11	641	40	619.01	617.64	618.40	618.00	617.79	617.42	
P12bis	631	n.d.	609.80	609.72	609.66	609.48	609.47	609.19	
P14	620	50	-----	599.57	599.37	595.59	598.44	598.93	
P20	581	n.d.	576.50	576.40	576.30	576.17	576.22	576.31	
P21	574	n.d.	570.80	570.74	570.68	570.74	570.72	570.74	
P36	630	n.d.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
P37	624	n.d.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Sigla pozzo	m s.l.m.	m	m s.l.m.						
			m s.l.m.						
			dic-18	gen-19	feb-19	mar-19	apr-19	mag-19	
P10	627	70	598.11	597.83	597.55	597.35	597.15	596.87	
P11	641	40	616.99	616.63	616.24	615.96	615.70	615.37	
P12bis	631	n.d.	608.98	608.74	608.49	608.34	608.17	607.97	
P14	620	50	598.57	597.58	598.05	597.90	597.87	597.46	
P20	581	n.d.	576.05	576.01	575.96	575.89	575.80	575.72	
P21	574	n.d.	570.78	570.67	570.67	570.64	570.62	570.61	
P36	630	n.d.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
P37	624	n.d.	-----	-----	-----	-----	-----	-----	
Sigla pozzo	m s.l.m.	m	m s.l.m.						
			m s.l.m.						
			giu-19	lug-19	ago-19	set-19	ott-19	nov-19	
P10	627	70	596.80	596.47	596.38	596.28	596.00	595.87	
P11	641	40	615.10	614.77	614.64	614.57	615.34	614.17	
P12bis	631	n.d.	607.80	607.63	607.53	607.45	607.32	607.20	
P14	620	50	597.24	597.07	596.85	596.75	596.68	596.57	
P20	581	n.d.	575.65	575.56	575.47	575.45	575.50	575.50	
P21	574	n.d.	570.10	570.53	570.45	570.51	570.48	570.53	
P36	630	n.d.	615.43	615.20	614.81	614.81	615.64	615.52	
P37	624	n.d.	596.77	596.77	595.14	596.59	596.43	596.30	
Sigla pozzo	m s.l.m.	m	m s.l.m.						
			m s.l.m.						
			dic-19	gen-20	feb-20	giu-20	lug-20		
P10	627	70	-----	596.08	595.80	595.30	594.76		
P11	641	40	-----	614.45	614.37	613.23	612.69		
P12bis	631	n.d.	-----	607.10	606.97	606.45	606.10		
P14	620	50	596.57	596.97	596.62	595.97	595.45		
P20	581	n.d.	575.65	575.70	575.52	575.48	575.12		
P21	574	n.d.	570.49	570.60	570.55	570.45	570.30		
P36	630	n.d.	-----	614.50	614.41	613.41	611.70		
P37	624	n.d.	596.29	596.71	596.46	595.78	-----		

**Tab. 4 – Principali dati di portata misurati nell'area delle sorgenti del Fiume Tenna**

<b>BACINO FIUME TENNA</b>			<b>Portata</b>			
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>			
		m	<b>giu-18</b>	<b>ago-18</b>	<b>ott-18</b>	
<b>S.te Tenna (sfioro)</b>	S.te Tenna (sfioro)	1178	0.028	0.000	0.000	
<b>F.Tenna C. le Cerasa</b>	C. le Cerasa	1178	0.175	0.000	0.000	
<b>F.Tenna dopo F.so Valle Lunga</b>	a valle F.so Valle Lunga	1175	0.194	0.000	0.000	
<b>F.Tenna a valle delle Vene</b>	a valle delle Vene	990	0.945	0.199	0.028	
<b>F.Tenna a monte laghetto</b>	a monte laghetto	985	0.802	0.208	0.033	
<b>F.Tenna a valle sentiero San Leonardo</b>	a valle sent. San Leon.	945	0.822	0.213	0.035	
<b>F.Tenna al sasso piramidale</b>	sasso piramidale	941	0.900	0.184	0.020	
<b>F.Tenna al guado delle Pisciarelle</b>	guado delle Pisciarelle	845	0.802	0.197	0.010	
<b>Le Pisciarelle</b>	Le Pisciarelle	925-845	0.020	0.010	0.005	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>			
		m	<b>mar-19</b>	<b>apr-19</b>	<b>mag-19</b>	<b>lug-19</b>
<b>S.te Tenna (sfioro)</b>	S.te Tenna (sfioro)	1178	0.000	0.000	0.020	0.000
<b>F.Tenna C. le Cerasa</b>	C. le Cerasa	1178	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>F.Tenna dopo F.so Valle Lunga</b>	a valle F.so Valle Lunga	1175	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>F.Tenna a valle delle Vene</b>	a valle delle Vene	990	0.057	0.058	0.423	0.172
<b>F.Tenna a monte laghetto</b>	a monte laghetto	985	0.060	0.109	0.468	0.178
<b>F.Tenna a valle sentiero San Leonardo</b>	a valle sent. San Leon.	945	0.065	0.119	0.483	0.188
<b>F.Tenna al sasso piramidale</b>	sasso piramidale	941	0.105	0.076	0.601	0.172
<b>F.Tenna al guado delle Pisciarelle</b>	guado delle Pisciarelle	845	0.010	0.100	0.554	0.244
<b>Le Pisciarelle</b>	Le Pisciarelle	925-845	0.010	0.015	0.017	0.015
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>			
		m	<b>ago-19</b>	<b>set-19</b>	<b>ott-19</b>	<b>nov-19</b>
<b>S.te Tenna (sfioro)</b>	S.te Tenna (sfioro)	1178	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>F.Tenna C. le Cerasa</b>	C. le Cerasa	1178	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>F.Tenna dopo F.so Valle Lunga</b>	a valle F.so Valle Lunga	1175	0.000	0.000	0.000	0.000
<b>F.Tenna a valle delle Vene</b>	a valle delle Vene	990	0.078	0.049	0.016	0.152
<b>F.Tenna a monte laghetto</b>	a monte laghetto	985	0.043	0.056	0.027	0.150
<b>F.Tenna a valle sentiero San Leonardo</b>	a valle sent. San Leon.	945	0.053	0.061	0.032	0.170
<b>F.Tenna al sasso piramidale</b>	sasso piramidale	941	0.085	0.071	0.035	0.236
<b>F.Tenna al guado delle Pisciarelle</b>	guado delle Pisciarelle	845	0.075	0.082	0.020	0.200
<b>Le Pisciarelle</b>	Le Pisciarelle	925-845	0.010	0.012	0.010	0.012
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	<b>m<sup>3</sup>/s</b>			
		m	<b>dic-19</b>	<b>giu-20</b>	<b>lug-20</b>	
<b>S.te Tenna (sfioro)</b>	S.te Tenna (sfioro)	1178	0.000	0.002	0.001	
<b>F.Tenna C. le Cerasa</b>	C. le Cerasa	1178	0.000	0.000	0.000	
<b>F.Tenna dopo F.so Valle Lunga</b>	a valle F.so Valle Lunga	1175	0.000	0.000	0.000	
<b>F.Tenna a valle delle Vene</b>	a valle delle Vene	990	0.194	0.141	0.051	
<b>F.Tenna a monte laghetto</b>	a monte laghetto	985	0.173	0.102	0.043	
<b>F.Tenna a valle sentiero San Leonardo</b>	a valle sent. San Leon.	945	0.198	0.117	0.046	
<b>F.Tenna al sasso piramidale</b>	sasso piramidale	941	0.278	0.160	0.079	
<b>F.Tenna al guado delle Pisciarelle</b>	guado delle Pisciarelle	845	0.224	0.152	0.047	
<b>Le Pisciarelle</b>	Le Pisciarelle	925-845	0.015	0.012	0.010	

**Tab. 5 – Principali dati di portata misurati nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Nera**

BACINO FIUME NERA			Portata						
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	m <sup>3</sup> /s						
		m	giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18	
F.te Spugna 2	F.te Spugna 2	1117	0.020	0.020	0.010	0.003	0.002	0.0005	
F.so Ravarro dell'Acqua	F.so Ravarro dell'Acqua	1000	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	
<b>Sorgenti del Nera</b>	Sorgenti	844	0.166	0.121	0.066	0.038	0.035	0.024	
<b>F. Nera a Vallinfante</b>	Vallinfante	815	0.180	0.176	0.097	0.051	0.063	0.046	
<b>F.Nera all'oasi faunistica</b>	oasi	767	0.353	0.163	0.104	0.057	0.059	0.048	
<b>F.Nera all'altezza di San Chiodo</b>	San Chiodo	760	0.277	0.234	0.229	0.134	0.153	0.107	
<b>F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo</b>	dopo San Chiodo	759	0.877	0.834	0.829	0.634	0.753	0.807	
<b>F.Nera area pic-nic S.Trita</b>	area pic-nic	758	1.500	1.400	1.200	1.300	1.200	1.200	
<b>F.Nera a Castelsantangelo</b>	Castelsantangelo	730	2.600	2.400	2.100	2.100	2.000	2.100	
<b>F.Nera a valle del Rapegna</b>	a valle Rapegna	730	2.800	2.520	2.220	2.220	2.090	2.180	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	m <sup>3</sup> /s						
		m	dic-18	gen-19	feb-19	mar-19	apr-19	mag-19	
F.te Spugna 2	F.te Spugna 2	1117	-----	0.001	0.001	0.002	0.005	0.010	
F.so Ravarro dell'Acqua	F.so Ravarro dell'Acqua	1000	-----	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
<b>Sorgenti del Nera</b>	Sorgenti	844	0.019	0.017	0.029	0.025	0.027	0.051	
<b>F. Nera a Vallinfante</b>	Vallinfante	815	0.042	0.031	0.047	0.048	0.053	0.067	
<b>F.Nera all'oasi faunistica</b>	oasi	767	0.030	0.033	0.046	0.039	0.047	0.063	
<b>F.Nera all'altezza di San Chiodo</b>	San Chiodo	760	0.093	0.026	0.053	0.049	0.056	0.086	
<b>F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo</b>	dopo San Chiodo	759	0.643	0.576	0.553	0.549	0.456	0.536	
<b>F.Nera area pic-nic S.Trita</b>	area pic-nic	758	1.200	1.400	1.000	1.000	1.000	1.100	
<b>F.Nera a Castelsantangelo</b>	Castelsantangelo	730	1.900	1.600	1.600	1.700	1.600	1.700	
<b>F.Nera a valle del Rapegna</b>	a valle Rapegna	730	1.980	1.680	1.680	1.780	1.680	1.800	
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	m <sup>3</sup> /s						
		m	giu-19	lug-19	ago-19	set-19	ott-19	nov-19	
F.te Spugna 2	F.te Spugna 2	1117	0.018	0.010	0.010	0.007	0.004	0.001	
F.so Ravarro dell'Acqua	F.so Ravarro dell'Acqua	1000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
<b>Sorgenti del Nera</b>	Sorgenti	844	0.062	0.047	0.041	0.026	0.023	0.023	
<b>F. Nera a Vallinfante</b>	Vallinfante	815	0.075	0.064	0.069	0.039	0.032	0.026	
<b>F.Nera all'oasi faunistica</b>	oasi	767	0.077	0.082	0.068	0.053	0.026	0.029	
<b>F.Nera all'altezza di San Chiodo</b>	San Chiodo	760	0.133	0.088	0.067	0.048	0.036	0.022	
<b>F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo</b>	dopo San Chiodo	759	0.633	0.688	0.616	0.598	0.536	0.522	
<b>F.Nera area pic-nic S.Trita</b>	area pic-nic	758	1.100	1.100	1.100	1.200	1.100	1.100	
<b>F.Nera a Castelsantangelo</b>	Castelsantangelo	730	1.700	1.800	1.700	1.600	1.600	1.600	
<b>F.Nera a valle del Rapegna</b>	a valle Rapegna	730	1.820	1.930	1.820	1.710	1.700	1.720	

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME NERA			Portata				
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	$m^3/s$				
		m	dic-19	gen-20	feb-20	giu-20	giu-20
<b>F.te Spugna 2</b>	F.te Spugna 2	1117	0.003	0.020	0.022	0.025	0.010
<b>F.so Ravarro dell'Acqua</b>	F.so Ravarro dell'Acqua	1000	0.000	0.010	0.000	0.000	0.000
<b>Sorgenti del Nera</b>	Sorgenti	844	0.024	0.061	0.056	0.034	0.026
<b>F. Nera a Vallinfante</b>	Vallinfante	815	0.041	0.082	0.094	0.073	0.041
<b>F.Nera all'oasi faunistica</b>	oasi	767	0.037	0.085	0.082	0.067	0.035
<b>F.Nera all'altezza di San Chiodo</b>	San Chiodo	760	0.066	0.087	0.079	0.057	0.045
<b>F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo</b>	dopo San Chiodo	759	0.566	0.587	0.579	0.557	0.545
<b>F.Nera area pic-nic S.Trita</b>	area pic-nic	758	1.100	1.000	1.100	1.100	1.100
<b>F.Nera a Castelsantangelo</b>	Castelsantangelo	730	1.700	1.600	1.600	1.550	1.500
<b>F.Nera a valle del Rapegna</b>	a valle Rapegna	730	1.850	1.730	1.730	1.670	1.620

**Tab. 6 - Tabella riassuntiva dei valori medi, massimi e minimi dei parametri idrochimici dei principali punti di controllo selezionati (CE= conducibilità elettrica; tra parentesi quadre dopo il nome è indicato il numero di misure)**

Denominazione	Corso d'acqua	Quota m s.l.m.	CE			T <sub>H2O</sub>			pH		
			μS/cm			°C					
			media	max	min	media	max	min	media	max	min
<b>Sorgente Torbidone (polla) [8]</b>	Torbidone	623	477	487	459	10.8	11.6	10.3	7.3	7.6	7.1
<b>Sorgente Torbidone (Rio) [22]</b>	Torbidone	623	529	554	474	11.0	18.5	8.2	7.5	7.8	7.1
<b>Sorgente San Martino-Praterella [21]</b>	San Martino	602	643	661	633	11.7	14.8	9.3	7.6	8.2	7.1
<b>F.Sordo pista ciclabile [22]</b>	Sordo	580	560	629	529	12.2	15.5	8.4	8.1	8.6	7.4
<b>F.Sordo C.Passerini [22]</b>	Sordo	550	572	592	552	12.7	15.5	8.8	8.1	8.6	7.3
<b>F.so in dx a C.Passerini [9]</b>	Sordo	550	605	622	581	11.9	14.6	7.3	7.6	7.8	7.2
<b>F.so C. le Cerasa [1]</b>	C.le Cerasa	1178	211	-----	-----	8.3	-----	-----	8.2	-----	-----
<b>Capotenna (sfioro) [13]</b>	Capotenna	1178	219	224	212	9.0	15.6	4.6	7.7	8.3	7.1
<b>F.so Valle Lunga + Capotenna [1]</b>	Valle Lunga	1175	217	-----	-----	7.1	-----	-----	7.8	-----	-----
<b>F.Tenna a monte delle Vene [14]</b>	Tenna	990	231	254	219	7.5	9.7	5.3	7.6	8.1	7.2
<b>F.so Le Vene [9]</b>	Le Vene	990	209	231	176	7.5	13.1	1.9	7.5	7.9	7.2
<b>F.Tenna a monte laghetto [14]</b>	Tenna	985	229	243	214	7.7	9.6	5.4	7.6	8.2	7.2
<b>Fossi lato S.Leonardo [7]</b>	S. Leonardo	970-945	275	282	268	8.8	11.0	7.9	7.6	7.8	7.3
<b>F.Tenna al sasso piramidale [13]</b>	Tenna	941	240	255	222	8.2	11.6	4.8	7.7	8.2	7.3
<b>S.te in dx al sasso piramidale [1]</b>	Tenna	941	261	-----	-----	8.0	-----	-----	7.9	-----	-----
<b>F.Tenna al guado delle Pisciarelle [10]</b>	Tenna	845	239	247	222	8.2	11.6	4.8	7.7	8.2	7.3
<b>Le Pisciarelle [12]</b>	Pisciarelle	925-845	246	252	239	11.4	17.3	4.5	7.6	8.1	7.3
<b>F.te Spugna [22]</b>	Spugna	1117	238	251	231	7.9	9.5	6.6	7.6	8.0	7.1
<b>F.so Ravarro dell'Acqua [4]</b>	Ravarro dell'Acqua	1000	328	343	313	10.9	16.6	3.9	7.7	7.8	7.5
<b>Sorgenti del Nera [24]</b>	Nera	844	289	299	284	8.4	10.4	4.1	7.7	8.1	7.3
<b>F. Nera a Vallinfante [23]</b>	Nera	815	289	313	267	8.7	11.1	4.7	8.3	8.6	8.0
<b>F.Nera all'oasi faunistica [23]</b>	Nera	767	288	297	279	9.1	12.7	4.1	8.3	8.6	8.1
<b>F.Nera all'altezza di San Chiodo [23]</b>	Nera	760	289	300	280	9.2	12.5	5.4	8.3	8.6	8.0
<b>S.te in dx all'altezza di San Chiodo [18]</b>	S. Chiodo	759	296	300	292	8.5	10.2	7.5	7.5	8.2	7.1
<b>F.so cascata in dx alla Centrale idroelettrica [17]</b>	Centrale idroelettrica	755	307	311	299	8.7	10.1	7.6	7.9	8.2	7.6
<b>Lago Pilato, bacino a monte (sud) [9]</b>	Lago di Pilato	1941	118	129	97	11.6	15.0	4.2	8.8	9.2	8.4
<b>Lago Pilato, bacino a valle (nord) [9]</b>	Lago di Pilato	1941	119	139	98	12.3	16.4	4.6	8.8	9.1	8.5
<b>Fonte del Lago [1]</b>	Valle del Lago di Pilato	1941	133	-----	-----	3.6	-----	-----	8.3	-----	-----

## 2.2. SINTESI DELLE OSSERVAZIONI NEI SITI STUDIATI

Sono stati caratterizzati gli scambi idrici reciproci tra acque sotterranee e superficiali tramite l'elaborazione dei calcoli di bilancio lungo le aste fluviali delle portate rilevate in ciascuna campagna di misura (Tabb. 7, 8 e 9). Inoltre, sono state stimate le variazioni stagionali della quantità di risorsa idrica disponibile al fine di avere indicazioni, laddove possibile, sulla probabile evoluzione di tali quantità idriche nel breve-medio termine.

In alcune delle aree di studio, i dati resi disponibili dalla letteratura o da rapporti inediti di enti pubblici e privati hanno reso possibile un primo confronto tra dati "storici" e la situazione attuale, dedotta dalle misure eseguite tra giugno 2018 e luglio 2020.

Per quanto concerne i parametri idrochimici (conducibilità elettrica specifica, temperatura e pH) delle acque campionate nei punti di controllo selezionati nelle varie aree di studio, le temperature delle acque sono confrontabili con le variazioni di temperatura dell'aria alle medesime quote nei periodi stagionali di riferimento.

Per quanto concerne il pH delle acque, questo parametro ha mostrato, invece, in media una sostanziale similitudine di valori durante i due anni idrologici di monitoraggio, mostrando che le acque ricadono in generale nel campo di acque da debolmente a mediamente alcaline.

Sono state inoltre riscontrate solo limitate differenze tra i valori di conducibilità elettrica specifica (CE) nei periodi stagionali dei due anni idrologici di riferimento. Sono state invece evidenziate sostanziali differenze tra le aree di studio riguardo ai valori di CE. Infatti, nell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite, le acque hanno sempre valori di CE (459-661  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) più elevati rispetto a quelli, più bassi e sostanzialmente più simili tra loro, misurati nelle aree sorgive del Tenna (176-282  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) e del Nera (231-343  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). Poiché nei corpi idrici i valori di CE delle acque sotterranee e superficiali sono connessi ai processi di interazione lungo percorsi sotterranei tra tali acque ed i litotipi dei complessi idrogeologici da cui provengono, che le hanno ospitate o che da esse sono stati attraversati, i valori di CE che caratterizzano le diverse acque analizzate in questo studio sono stati utilizzati quale indizio, verificato con la esecuzione di sezioni idrogeologiche interpretative, per la realizzazione dei primi tentativi di modelli idrogeologici concettuali degli acquiferi, che saranno presentati più avanti nel testo. In estrema sintesi, è stato possibile evidenziare che le differenti caratteristiche idrochimiche delle acque derivano dalle proprietà delle rocce serbatoio degli acquiferi; ossia, le acque che emergono nella Piana di Norcia hanno interagito con le rocce che costituiscono l'Acquifero della Maiolica e l'Acquifero della Scaglia calcarea, le acque dell'area del Tenna provengono principalmente dall'Acquifero della Maiolica e da quello calcareo basale, e subordinatamente dall'Acquifero della Scaglia calcarea, mentre per l'area del Nera l'origine delle acque è principalmente dall'Acquifero calcareo basale e subordinatamente dall'Acquifero della Maiolica e da quello della Scaglia calcarea.

La poca differenza dei valori dei parametri idrochimici misurati nelle acque durante le varie campagne dei due anni idrologici di riferimento è a favore della buona persistenza nel tempo dei percorsi che caratterizzano la circolazione idrica sotterranea e della loro continua interazione con le tipologie dei litotipi delle rocce serbatoio degli acquiferi nell'area dei Monti Sibillini.

Per ciascuna area di studio sono state elaborate le carte idrogeologiche schematiche (Tav. da IDRO.1 a IDRO.4), nelle quali sono rappresentate, in forma sintetica e descrittiva, le informazioni e le caratteristiche idrogeologiche che sono state oggetto di discussione. Le informazioni riportate seguono, per quanto possibile riguardo alla differente scala di rappresentazione e finalità della cartografia, le indicazioni delle Linee Guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia (ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, 2018).



Tab. 7 – Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo nell'area d'indagine del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite

BACINO FIUME SORDO			Campagna misure di giugno 2018				Campagna misure di luglio 2018				Campagna misure di agosto 2018			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.589				0.654				0.684		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.29				0.277				0.248			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.879</b>				<b>0.931</b>				<b>0.932</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.797				0.865				0.833		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>-0.082</b>	<b>-33</b>			<b>-0.066</b>	<b>-26</b>			<b>-0.099</b>	<b>-40</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			1.710				2.040				1.970		
6 Tubo C. Passerini	550		0.072				0.073				0.065			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.782</b>				<b>2.113</b>				<b>2.035</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>0.985</b>	<b>394</b>			<b>1.248</b>	<b>499</b>			<b>1.202</b>	<b>481</b>

BACINO FIUME SORDO			Campagna misure di settembre 2018				Campagna misure di ottobre 2018				Campagna misure di novembre 2018			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.466				0.606				0.667		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.209				0.245				0.227			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.675</b>				<b>0.851</b>				<b>0.894</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.929				0.919				0.816		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>0.254</b>	<b>102</b>			<b>0.068</b>	<b>27</b>			<b>-0.078</b>	<b>-31</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			2.230				1.880				1.810		
6 Tubo C. Passerini	550		0.077				0.054				0.097			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>2.307</b>				<b>1.934</b>				<b>1.907</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>1.378</b>	<b>551</b>			<b>1.015</b>	<b>406</b>			<b>1.091</b>	<b>436</b>

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di dicembre 2018				Campagna misure di gennaio 2019				Campagna misure di febbraio 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m.	Tratto drenante/ disperdente	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.525				0.452				0.428		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.239				0.192				0.184			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.764</b>				<b>0.644</b>				<b>0.612</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.698				0.694				0.624		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>-0.066</b>	<b>-26</b>			<b>0.050</b>	<b>20</b>			<b>0.012</b>	<b>5</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			1.750				1.650				1.650		
6 Tubo C. Passerini	550		0.102				0.053				0.029			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.852</b>				<b>1.703</b>				<b>1.679</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>1.154</b>	<b>462</b>			<b>1.009</b>	<b>404</b>			<b>1.055</b>	<b>422</b>
<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di marzo 2019				Campagna misure di aprile 2019				Campagna misure di maggio 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m.	Tratto drenante/ disperdente	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.371				0.275				0.25		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.174				0.2				0.196			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.545</b>				<b>0.475</b>				<b>0.446</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.653				0.473				0.44		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>0.108</b>	<b>43</b>			<b>-0.002</b>	<b>-1</b>			<b>-0.006</b>	<b>-2</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			1.430				1.440				1.420		
6 Tubo C. Passerini	550		0.034				0.04				0.036			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.464</b>				<b>1.480</b>				<b>1.456</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>0.811</b>	<b>324</b>			<b>1.007</b>	<b>403</b>			<b>1.016</b>	<b>406</b>

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di giugno 2019				Campagna misure di luglio 2019				Campagna misure di agosto 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m.	Tratto drenante/ disperdente	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.231				0.23				0.216		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.191				0.126				0.146			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.422</b>				<b>0.356</b>				<b>0.362</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.44				0.343				0.296		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>0.018</b>	<b>7</b>			<b>-0.013</b>	<b>-5</b>			<b>-0.066</b>	<b>-26</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			1.223				1.188				1.090		
6 Tubo C. Passerini	550		0.036				0.025				0.024			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.259</b>				<b>1.213</b>				<b>1.114</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>0.819</b>	<b>328</b>			<b>0.870</b>	<b>348</b>			<b>0.818</b>	<b>327</b>
<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di settembre 2019				Campagna misure di ottobre 2019				Campagna misure di novembre 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m.	Tratto drenante/ disperdente	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari	Fiume Sordo	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km
	(m)	(km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.169				0.124				0.103		
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602		0.140				0.135				0.157			
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.309</b>				<b>0.259</b>				<b>0.260</b>		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.256				0.231				0.271		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		2.5			<b>-0.053</b>	<b>-21</b>			<b>-0.028</b>	<b>-11</b>			<b>0.011</b>	<b>4</b>
5 F.Sordo C.Passerini	550			1.070				0.941				1.170		
6 Tubo C. Passerini	550		0.029				0.021				0.011			
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.099</b>				<b>0.962</b>				<b>1.181</b>		
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>		2.5			<b>0.843</b>	<b>337</b>			<b>0.731</b>	<b>292</b>			<b>0.910</b>	<b>364</b>

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di dicembre 2019				Campagna misure di gennaio 2020				Campagna misure di febbraio 2020				
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	
1 F.Torbidone sorgente	623	2.5	0.143	0.084			0.176	0.065			0.158	0.052			
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602														
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.227</b>				<b>0.241</b>				<b>0.21</b>			
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.203				0.214				0.181			
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>					<b>-0.024</b>	<b>-10</b>			<b>-0.027</b>	<b>-11</b>			<b>-0.029</b>	<b>-12</b>	
5 F.Sordo C.Passerini	550	2.5	0.008	1.040			1.050				1.030				
6 Tubo C. Passerini	550														
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>1.048</b>				<b>1.054</b>				<b>1.034</b>			
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>					<b>0.845</b>	<b>338</b>			<b>0.840</b>	<b>336</b>			<b>0.853</b>	<b>341</b>	

<b>BACINO FIUME SORDO</b>			Campagna misure di giugno 2020				Campagna misure di luglio 2020								
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Sordo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)					
1 F.Torbidone sorgente	623	2.5	0.152	0.008			0.136	0.001							
2 Sorgenti San Martino-Praterella	602														
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			<b>0.160</b>				<b>0.137</b>							
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.105				0.133							
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>					<b>-0.055</b>	<b>-22</b>			<b>-0.004</b>	<b>-2</b>					
5 F.Sordo C.Passerini	550	2.5	0.003	0.982			0.826								
6 Tubo C. Passerini	550														
7 F.Sordo dopo tubo C.Passerini (5+6)	550			<b>0.985</b>				<b>0.830</b>							
<b>Calcolo scambio idrico: 7-4</b>					<b>0.880</b>	<b>352</b>			<b>0.697</b>	<b>279</b>					

**Tab. 8 – Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo nell'area d'indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Tenna**

BACINO FIUME TENNA			Campagna misure di giugno 2018				Campagna misure di agosto 2018				Campagna misure di ottobre 2018			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.175				0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (troppo pieno)	1175		0.019				0.000				0.000			
3 S.te Tenna (troppo pieno)	1178		0.028				0.000				0.000			
4 <b>Calcolo scambio idrico: 3-2</b>		0.2			<b>-0.009</b>	<b>-45</b>			<b>0.000</b>	<b>0</b>			<b>0.000</b>	<b>0</b>
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione:1+2)	1175			<b>0.194</b>				<b>0.000</b>				<b>0.000</b>		
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.873				0.198				0.028		
<b>Calcolo scambio idrico: 6-5</b>		1.8			<b>0.679</b>	<b>377</b>			<b>0.198</b>	<b>110</b>			<b>0.028</b>	<b>16</b>
7 F.sso Le Vene	990		0.072				0.001				0.000			
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			<b>0.945</b>				<b>0.199</b>				<b>0.028</b>		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.802				0.208				0.033		
<b>Calcolo scambio idrico: 9-8</b>		0.3			<b>-0.143</b>	<b>-477</b>			<b>0.009</b>	<b>30</b>			<b>0.005</b>	<b>17</b>
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.020				0.010				0.005			
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			<b>0.822</b>				<b>0.218</b>				<b>0.038</b>		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.900				0.184				0.020		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		1			<b>0.078</b>	<b>78</b>			<b>-0.034</b>	<b>-34</b>			<b>-0.018</b>	<b>-18</b>
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.802				0.197				0.010		
<b>Calcolo scambio idrico: 13-12</b>		0.6			<b>-0.098</b>	<b>-163</b>			<b>0.013</b>	<b>22</b>			<b>-0.010</b>	<b>-17</b>
14 Le Pisciarelle	925-845		0.020				0.010				0.005			

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME TENNA</b>			<b>Campagna misure di marzo 2019</b>				<b>Campagna misure di aprile 2019</b>				<b>Campagna misure di maggio 2019</b>			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.000				0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (troppo pieno)	1175		0.000				0.000				0.000			
3 S.te Tenna (troppo pieno)	1178		0.000				0.000				0.020			
4 <b>Calcolo scambio idrico: 3-2</b>		0.2			0.000	0			0.000	0			-0.020	-100
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione:1+2)	1175		0.000				0.000				0.000			
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.052				0.030				0.367		
<b>Calcolo scambio idrico: 6-5</b>		1.8			0.052	29			0.030	17			0.367	204
7 F.sso Le Vene	990		0.005				0.028				0.056			
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			0.057				0.058				0.423		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.060				0.109				0.468		
<b>Calcolo scambio idrico: 9-8</b>		0.3			0.003	10			0.051	170			0.045	150
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.005				0.015				0.015			
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			0.065				0.124				0.483		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.105				0.076				0.601		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		1			0.040	40			-0.048	-48			0.118	118
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.107				0.100				0.554		
<b>Calcolo scambio idrico: 13-12</b>		0.6			0.002	3			0.024	40			-0.047	-78
14 Le Pisciarelle	925-845		0.010				0.015				0.017			

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME TENNA			Campagna misure di luglio 2019				Campagna misure di agosto 2019				Campagna misure di settembre 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.000				0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (troppo pieno)	1175		0.000				0.000				0.000			
3 S.te Tenna (troppo pieno)	1178		0.010				0.000				0.000			
4 <b>Calcolo scambio idrico: 3-2</b>		0.2			-0.010	-50			0.000	0			0.000	0
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione:1+2)	1175			0.000				0.000				0.000		
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.171				0.078				0.040		
<b>Calcolo scambio idrico: 6-5</b>		1.8			0.171	95			0.078	43			0.040	22
7 F.sso Le Vene	990		0.001				0.000				0.009			
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			0.172				0.078				0.049		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.178				0.043				0.056		
<b>Calcolo scambio idrico: 9-8</b>		0.3			0.006	20			-0.035	-117			0.007	23
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.010				0.010				0.005			
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			0.188				0.053				0.061		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.172				0.085				0.071		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		1			-0.016	-16			0.032	32			0.010	10
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.244				0.075				0.082		
<b>Calcolo scambio idrico: 13-12</b>		0.6			0.072	120			-0.010	-17			0.011	18
14 Le Pisciarelle	925-845		0.015				0.010				0.012			

(segue)



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME TENNA			Campagna misure di ottobre 2019				Campagna misure di novembre 2019				Campagna misure di dicembre 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.000				0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (troppo pieno)	1175		0.000				0.000				0.000			
3 S.te Tenna (troppo pieno)	1178		0.000				0.000				0.000			
4 <b>Calcolo scambio idrico: 3-2</b>		0.2			0.000	0			0.000	0			0.000	0
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione:1+2)	1175			0.000				0.000				0.000		
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.016				0.102				0.169		
<b>Calcolo scambio idrico: 6-5</b>		1.8			0.016	9			0.102	57			0.169	94
7 F.sso Le Vene	990		0.000				0.050				0.025			
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			0.016				0.152				0.194		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.027				0.150				0.173		
<b>Calcolo scambio idrico: 9-8</b>		0.3			0.011	37			-0.002	-7			-0.021	-70
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.005				0.020				0.025			
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			0.032				0.170				0.198		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.035				0.236				0.278		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		1			0.003	3			0.066	66			0.080	80
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.020				0.200				0.224		
<b>Calcolo scambio idrico: 13-12</b>		0.6			-0.015	-25			-0.036	-60			-0.054	-90
14 Le Pisciarelle	925-845		0.010				0.012				0.015			

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME TENNA</b>			<b>Campagna misure di giugno 2020</b>				<b>Campagna misure di luglio 2020</b>			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Tenna (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo	Drenaggio o Perdita/km
					(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)			(m <sup>3</sup> /s)	(l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (troppo pieno)	1175		0.000				0.000			
3 S.te Tenna (troppo pieno)	1178		0.002				0.001			
4 <b>Calcolo scambio idrico: 3-2</b>		0.2			-0.002	-10			-0.001	-5
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione:1+2)	1175		<b>0.000</b>				<b>0.000</b>			
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.109				0.050		
<b>Calcolo scambio idrico: 6-5</b>		1.8			0.109	61			0.050	28
7 F.sso Le Vene	990		0.032				0.001			
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			<b>0.141</b>				<b>0.051</b>		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.102				0.043		
<b>Calcolo scambio idrico: 9-8</b>		0.3			-0.039	-130			-0.008	-27
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.015				0.003			
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			<b>0.117</b>				<b>0.046</b>		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.160				0.079		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		1			0.043	43			0.033	33
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.152				0.047		
<b>Calcolo scambio idrico: 13-12</b>		0.6			-0.008	-13			-0.032	-53
14 Le Pisciarelle	925-845		0.012				0.010			

Tab. 9 - Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo nell'area d'indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera

BACINO FIUME NERA			Campagna misure di giugno 2018				Campagna misure di luglio 2018				Campagna misure di agosto 2018			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m³/s)	Fiume Nera (m³/s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m³/s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m³/s)	Fiume Nera (m³/s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m³/s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m³/s)	Fiume Nera (m³/s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m³/s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.020		-0.020		0.020		-0.020		0.010		-0.010	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.004		-0.004		0.0001		0.000		0.0000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.166				0.121				0.066		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.180				0.176				0.097		
Calcolo scambio idrico: 4-3		0.5			0.014	28			0.055	110			0.031	62
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.333				0.158				0.101		
Calcolo scambio idrico: 5-4		0.4			0.153	383			-0.018	-45			0.004	10
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.020	0.020			0.005	0.005			0.003	0.003		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.353				0.163				0.104		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.277				0.234				0.229		
Calcolo scambio idrico: 8-7		0.1			-0.076	-760			0.071	710			0.125	1250
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.700	0.700			0.600	0.600			0.600	0.600		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.977				0.834				0.829		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.500				1.400				1.200		
Calcolo scambio idrico: 11-10		0.1			0.523	5230			0.566	5660			0.371	3710
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			2.600				2.400				2.100		
Calcolo scambio idrico: 12-11		0.5			1.100	2200			1.000	2000			0.900	1800
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.200	0.200			0.120	0.120			0.120	0.120		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			2.800				2.520				2.220		

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME NERA			Campagna misure di settembre 2018				Campagna misure di ottobre 2018				Campagna misure di novembre 2018			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.003		-0.003		0.002		-0.002		0.005		-0.005	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.0000		0.000		0.000		0.000		0.0000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.038				0.035				0.024		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.051				0.063				0.046		
Calcolo scambio idrico: 4-3					0.014	27			0.028	56			0.022	44
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.057				0.059				0.048		
Calcolo scambio idrico: 5-4					0.006	14			-0.004	-10			0.002	5
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.057				0.059				0.048		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.134				0.153				0.107		
Calcolo scambio idrico: 8-7					0.077	773			0.094	940			0.059	590
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.600	0.600			0.600	0.600			0.700	0.700		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.734				0.753				0.807		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.300				1.200				1.200		
Calcolo scambio idrico: 11-10					0.566	5660			0.447	4470			0.393	3930
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			2.100				2.000				2.100		
Calcolo scambio idrico: 12-11					0.800	1600			0.800	1600			0.900	1800
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.120	0.120			0.090	0.090			0.080	0.080		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			2.220				2.090				2.180		

(segue)

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

<b>BACINO FIUME NERA</b>			<b>Campagna misure di dicembre 2018</b>				<b>Campagna misure di gennaio 2019</b>				<b>Campagna misure di febbraio 2019</b>			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		-----		-----		0.001		-0.001		0.001		-0.001	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		-----		-----		0.0000		0.000		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.019				0.017				0.029		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.042				0.031				0.047		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		0.5			<b>0.023</b>	<b>46</b>			<b>0.014</b>	<b>28</b>			<b>0.018</b>	<b>36</b>
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.030				0.033				0.046		
<b>Calcolo scambio idrico: 5-4</b>		0.4			<b>-0.012</b>	<b>-30</b>			<b>0.002</b>	<b>5</b>			<b>-0.001</b>	<b>-2</b>
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			<b>0.030</b>				<b>0.033</b>				<b>0.046</b>		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.093				0.026				0.053		
<b>Calcolo scambio idrico: 8-7</b>		0.1			<b>0.063</b>	<b>630</b>			<b>-0.007</b>	<b>-70</b>			<b>0.007</b>	<b>69</b>
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.550	0.550			0.550	0.550			0.500	0.500		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			<b>0.643</b>				<b>0.576</b>				<b>0.553</b>		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.200				1.400				1.000		
<b>Calcolo scambio idrico: 11-10</b>		0.1			<b>0.557</b>	<b>5570</b>			<b>0.824</b>	<b>8240</b>			<b>0.447</b>	<b>4473</b>
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.900				1.600				1.600		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		0.5			<b>0.700</b>	<b>1400</b>			<b>0.200</b>	<b>400</b>			<b>0.600</b>	<b>1200</b>
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.080	0.080			0.080	0.080			0.080	0.080		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			<b>1.980</b>				<b>1.680</b>				<b>1.680</b>		

(segue)



BACINO FIUME NERA			Campagna misure di marzo 2019				Campagna misure di aprile 2019				Campagna misure di maggio 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o
					Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)			Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)			Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.002		-0.002		0.005		-0.005		0.010		-0.010	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.025				0.027				0.051		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.048				0.053				0.067		
Calcolo scambio idrico: 4-3					0.023	46			0.026	52			0.016	33
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.039				0.047				0.063		
Calcolo scambio idrico: 5-4					-0.009	-23			-0.006	-14			-0.004	-10
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.039				0.047				0.063		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.049				0.056				0.086		
Calcolo scambio idrico: 8-7					0.010	103			0.008	81			0.023	233
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.500	0.500			0.400	0.400			0.450	0.450		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.549				0.456				0.536		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.000				1.000				1.100		
Calcolo scambio idrico: 11-10					0.451	4511			0.545	5445			0.564	5637
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.700				1.600				1.700		
Calcolo scambio idrico: 12-11					0.700	1400			0.600	1200			0.600	1200
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.080	0.080			0.080	0.080			0.100	0.100		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			1.780				1.680				1.800		

(segue)



BACINO FIUME NERA			Campagna misure di giugno 2019				Campagna misure di luglio 2019				Campagna misure di agosto 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.018		-0.018		0.010		-0.010		0.010		-0.010	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.0003		-0.0003		0.000		0.000		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.062				0.047				0.041		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.075				0.064				0.069		
Calcolo scambio idrico: 4-3					0.013	26			0.017	34			0.028	56
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.077				0.082				0.068		
Calcolo scambio idrico: 5-4					0.002	5			0.018	45			-0.001	-3
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.077				0.082				0.068		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.133				0.088				0.067		
Calcolo scambio idrico: 8-7					0.056	560			0.006	60			-0.001	-10
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.500	0.500			0.600	0.600			0.550	0.550		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.633				0.688				0.617		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.100				1.100				1.100		
Calcolo scambio idrico: 11-10					0.467	4670			0.412	4120			0.483	4830
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.700				1.800				1.700		
Calcolo scambio idrico: 12-11					0.600	1200			0.700	1400			0.600	1200
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.120	0.120			0.130	0.130			0.120	0.120		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			1.820				1.930				1.820		

(segue)



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME NERA			Campagna misure di settembre 2019				Campagna misure di ottobre 2019				Campagna misure di novembre 2019			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.007		-0.007		0.004		-0.004		0.001		-0.001	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.0000		0.0000		0.000		0.000		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.026				0.023				0.023		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.039				0.032				0.026		
Calcolo scambio idrico: 4-3					0.013	26			0.009	18			0.003	6
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.053				0.026				0.029		
Calcolo scambio idrico: 5-4					0.014	35			-0.006	-15			0.003	8
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.053				0.026				0.029		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.048				0.036				0.022		
Calcolo scambio idrico: 8-7					-0.005	-50			0.010	100			-0.007	-70
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.550	0.550			0.500	0.500			0.500	0.500		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.598				0.536				0.522		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.200				1.100				1.100		
Calcolo scambio idrico: 11-10					0.602	6020			0.564	5640			0.578	5780
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.600				1.600				1.600		
Calcolo scambio idrico: 12-11					0.400	800			0.500	1000			0.500	1000
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.110	0.110			0.100	0.100			0.120	0.120		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			1.710				1.700				1.720		

(segue)



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME NERA			Campagna misure di dicembre 2019				Campagna misure di gennaio 2020				Campagna misure di febbraio 2020			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ dispendente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o	Drenaggio o
					Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)			Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)			Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.003		-0.003		0.020		-0.020		0.022		-0.022	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.0000		0.0000		0.010		-0.010		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.024				0.061				0.056		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.041				0.082				0.094		
Calcolo scambio idrico: 4-3					0.017	34			0.021	42			0.038	76
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.037				0.085				0.082		
Calcolo scambio idrico: 5-4					-0.004	-10			0.003	8			-0.012	-30
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.037				0.085				0.082		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.066				0.087				0.079		
Calcolo scambio idrico: 8-7					0.029	290			0.002	20			-0.003	-30
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.500	0.500			0.500	0.500			0.500	0.500		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.566				0.587				0.579		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.100				1.000				1.100		
Calcolo scambio idrico: 11-10					0.534	5340			0.413	4130			0.521	5210
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.700				1.600				1.600		
Calcolo scambio idrico: 12-11					0.600	1200			0.600	1200			0.500	1000
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.150	0.150			0.130	0.130			0.130	0.130		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			1.850				1.730				1.730		

(segue)



**ISPRA**

Istituto Superiore per la Protezione  
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale  
per la Protezione  
dell'Ambiente

BACINO FIUME NERA			Campagna misure di giugno 2020				Campagna misure di luglio 2020			
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m <sup>3</sup> /s)	Fiume Nera (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita in alveo (m <sup>3</sup> /s)	Drenaggio o Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1000		0.025		-0.025		0.010		-0.010	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	925		0.0000		0.0000		0.000		0.000	
3 Sorgenti del Nera	844			0.034				0.026		
4 F. Nera a Vallinfante	815			0.073				0.041		
<b>Calcolo scambio idrico: 4-3</b>		0.5			0.039	78			0.015	30
5 F.Nera all'oasi faunistica	767			0.067				0.035		
<b>Calcolo scambio idrico: 5-4</b>		0.4			-0.006	-15			-0.006	-15
6 Tubo all'oasi faunistica	767		0.000	0.000			0.000	0.000		
7 F.Nera a valle del tubo oasi faunistica (correzione: 5+6)	767			0.067				0.035		
8 F.Nera all'altezza di San Chiodo	760			0.057				0.045		
<b>Calcolo scambio idrico: 8-7</b>		0.1			-0.010	-100			0.010	100
9 Troppo pieno San Chiodo	759		0.500	0.500			0.500	0.500		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.557				0.545		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			1.100				1.100		
<b>Calcolo scambio idrico: 11-10</b>		0.1			0.543	5430			0.555	5550
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			1.550				1.500		
<b>Calcolo scambio idrico: 12-11</b>		0.5			0.450	900			0.400	800
13 F.Rapegna a Castelsantangelo	730		0.120	0.120			0.120	0.120		
14 F.Nera a valle T.Rapegna (correzione: 13+12)	730			1.670				1.620		

### 2.2.1. Inquadramento meteo-climatico

Per la caratterizzazione meteo-climatica dell'area dei Monti Sibillini, sono state considerate le serie temporali giornaliere e mensili di pioggia e di temperatura di 45 stazioni pluviometriche, collocate fra le Regioni di Umbria, Marche e Lazio. I bacini idrografici interessati dalla ricerca sono: il Tevere, in particolare il sottobacino del Nera, per il versante tirrenico, il Chienti, il Tenna, l'Aso e il Tronto, per il versante adriatico. Le quote delle stazioni sono comprese fra i 392 m s.l.m. (Acquasanta Terme) e i 1891 m s.l.m. (Monte Bove Sud). I dati sono stati sottoposti ad una valutazione di qualità per escludere le serie temporali particolarmente incomplete e di ridotta lunghezza. Dopo una approfondita analisi, è emersa la evidente carenza delle serie temporali a disposizione, per le precipitazioni, a causa della presenza di ampie lacune di registrazione e, per le temperature, a causa della ridotta lunghezza delle serie. In particolare, per le precipitazioni, si segnala la carenza dei dati relativi a due stazioni in quota, Monte Prata e Monte Bove sud, importanti per definire il quadro degli apporti nell'area del Lago di Pilato.

Per poter elaborare le isoiete e le isoterme per l'intera area del Parco, sono state quindi selezionate, rispettivamente, 26 e 18 stazioni (Tab. 10). Il ridotto numero delle stazioni e la mancanza di dati per quote oltre i 1500 m s.l.m., ha reso necessaria la creazione di stazioni fittizie sulla base del calcolo del gradiente pluviometrico medio.

In figura 2 sono rappresentate le isoterme con le deviazioni dalla media dei tre anni di osservazione: gli areali di Norcia e Castelsantangelo sul Nera hanno registrato ogni anno temperature superiori alla media. Il bacino idrografico del Tenna nel 2018 invece ha registrato una deviazione negativa nelle zone più a valle ed una positiva (fra 0 ed 1°C) nella zona più a monte; nel 2019, le temperature sono state decisamente superiori alla media in tutto l'areale. Nella zona del Lago di Pilato, le temperature sono state superiori alla media per l'intero triennio, con un più deciso aumento (>1°C) nel 2019.

In figura 3 sono rappresentate le isoiete con le deviazioni dalla precipitazione media nel triennio di osservazione. Nel 2017, in tutte le aree oggetto di studio sono state registrate precipitazioni inferiori alla media fino a 100 mm. A Norcia, è risultato più secco anche il 2018, sempre con altezze di pioggia inferiori alla media fino a 100 mm; nel 2019 invece sono state registrate precipitazioni superiori alla media fino a 100 mm. Nella zona del Lago di Pilato, come anche nel bacino idrografico del Tenna, le precipitazioni sono state superiori alla media per gli anni 2018 e 2019. Nell'area delle sorgenti del Nera, invece, anche nel 2018 e nel 2019 sono state registrate precipitazioni inferiori alla media annuale.

Le serie temporali selezionate sono state sottoposte al test di Mann Kendall (Kendall et al., 1983), per la valutazione delle eventuali tendenze. Per quanto riguarda le precipitazioni, l'analisi dei trend ha evidenziato che in 6 delle 26 stazioni vi è una significativa tendenza all'aumento delle precipitazioni annue; a livello stagionale, vi sono significativi aumenti delle precipitazioni invernali in 13 stazioni, di quelle primaverili in due stazioni. A Norcia non è stato evidenziato alcun trend stagionale, mentre Montemonaco mostra una tendenza significativa all'aumento delle precipitazioni totali e invernali, e Visso (Endesa), priva di trend stagionale, manifesta solo un leggero trend positivo nel mese di settembre.

Per quanto riguarda la temperatura, le valutazioni delle tendenze hanno evidenziato che Monte Prata dal 2007 al 2019 registra una tendenza significativa all'aumento solo nel mese di ottobre; Montemonaco, dal 2007 al 2019, segnala un deciso aumento della temperatura media annuale e di dicembre, meno marcato in giugno, settembre, ottobre e novembre; Visso (Endesa) dal 1999 al 2016 mostra un aumento significativo nei mesi di aprile e maggio.

Nella stazione di **Norcia**, collocata a 678 m s.l.m., le serie temporali di temperatura e precipitazioni sono purtroppo limitate agli anni compresi fra 1951 ed il 1972 e il 2002 ed il 2019 (Fig. 4). La verifica della presenza di trend nella serie delle temperature è stata attuata per la serie compresa fra il 2002 ed il 2019, sempre con il test di Mann Kendall, che in questo caso evidenzia una significativa tendenza all'aumento delle temperature medie annuali e delle temperature medie del mese di aprile.

La precipitazione annuale media della stazione di Norcia è risultata pari a circa 806 mm. In figura 5 è rappresentato il regime pluviometrico mensile per gli anni 2017, 2018 e 2019, che risulta caratteristico delle regioni climatiche appenniniche. Il confronto con il regime termometrico mette in evidenza le perdite per evapotraspirazione che prevalgono nettamente nel periodo tra giugno e settembre (quando la curva delle T supera l'altezza dell'istogramma) e risultano irrilevanti negli altri periodi (la curva della T si sovrappone all'istogramma).

In Figura 6 è rappresentato lo scarto dalla media dei valori di precipitazione e temperatura dei tre anni e mezzo di osservazione solo nelle condizioni peggiori perché si manifestino precipitazioni efficaci, cioè quando vi siano precipitazioni e temperature rispettivamente minori e maggiori rispetto alla media mensile, con una conseguente riduzione delle precipitazioni efficaci, utili per la ricarica delle falde. Nel 2017 le condizioni peggiori per le precipitazioni efficaci si sono manifestate nei mesi di febbraio, marzo, maggio, giugno luglio e agosto; nel 2018 nei mesi di gennaio, aprile, luglio agosto, settembre, ottobre, novembre; nel 2019, nei mesi di febbraio, marzo, giugno, agosto settembre ottobre e dicembre; nel 2020, i mesi di gennaio, febbraio e marzo sono stati più caldi e secchi della media. In sintesi, nei tre anni e mezzo di osservazione, a Norcia per 6 o 7 mesi l'anno si sono manifestate condizioni sfavorevoli alla ricarica delle falde.

La stazione termo-pluviometrica di **Endesa-Visso** è collocata a 753 m s.l.m. Anche in questo caso, le serie temporali non risultano continue: è stato analizzato l'intervallo temporale compreso fra il 1999 ed il 2016. La precipitazione annuale media è risultata pari a circa 1191 mm. Il Test di Mann Kendall evidenzia tendenze significative all'aumento delle precipitazioni nei mesi di febbraio e maggio ed una riduzione nei mesi di aprile e dicembre. La temperatura media annuale è pari a 11.6°C: l'analisi tendenziale ha evidenziato un significativo trend in aumento per le temperature del mese di aprile ed un trend in diminuzione nel mese di maggio.

Per poter fare considerazioni sulle precipitazioni e le temperature dei tre anni di osservazione, sono stati considerati i dati della stazione termo-pluviometrica di proprietà delle Nerea collocata a **Castelsantangelo sul Nera** ad una quota pari a 715 m s.l.m. Sebbene le serie temporali non siano lunghe, (le precipitazioni sono registrate dall'anno 2009, mentre le temperature dal 2010), i dati sono continui e senza lacune. L'analisi tendenziale non ha messo in evidenza alcun trend per le precipitazioni, mentre per le temperature ha evidenziato un significativo aumento della temperatura media annua. La precipitazione media è pari a 1210 mm/a e la temperatura media annua è pari a 10.2 °C. Il regime pluviometrico è naturalmente di tipo appenninico (Fig. 7).

In figura 8, sono rappresentate le deviazioni di P e T rispetto alla media che evidenziano come nel triennio di osservazione in quattro (2017) o cinque (2018 e 2019) mesi l'anno si sono manifestate condizioni sfavorevoli alla ricarica delle falde con precipitazioni inferiori alla media stagionale e temperature superiori alla media.

La stazione termo-pluviometrica di **Montemonaco** è collocata alla quota di 987 m s.l.m., registra una precipitazione media annua pari a 1117 mm ed una temperatura media annua 11.6°C. Il regime pluviometrico, naturalmente di tipo appenninico, per i tre anni di osservazione è rappresentato in figura 9.

Le condizioni climatiche peggiori per le precipitazioni efficaci (Fig. 10) si sono manifestate, nella stazione di Montemonaco, nel 2017 per più di metà anno, nei mesi che vanno da marzo ad agosto e in ottobre; nel 2018 nei mesi di gennaio, aprile, luglio, novembre e dicembre; nel 2019 in febbraio, marzo, giugno, ottobre e dicembre; nel 2020 in gennaio, febbraio, aprile e maggio.

Un approfondimento specifico è necessario per l'area del Lago di Pilato, in quanto il bilancio idrogeologico è determinato dagli apporti nivo-pluviometrici e dai fenomeni di evaporazione dalla superficie libera dell'acqua. La stazione termo-pluviometrica di riferimento è, come si è detto, **Monte Prata**, situata a quota 1813 m s.l.m. Questa è dotata di un pluviometro riscaldato e di un nivometro per la misura dello spessore del manto nevoso. Quest'ultimo trasmette dati ogni mezz'ora. Il pluviometro in questi anni ha registrato un dato medio di precipitazione annua pari a circa 900 mm, che risulta evidentemente alterato a causa probabilmente dell'esposizione dello strumento a forti venti che possono influire fino al 66% sul dato registrato di precipitazione nevosa (Cugerone, 2012; Lendvai et al., 2015). Per avere dunque una stima più vicina alla realtà degli apporti nevosi, sono stati applicati due metodi i cui risultati sono poi stati confrontati.

Il primo è il classico metodo del calcolo del gradiente pluviometrico locale attraverso la regressione lineare che permette di individuare la legge di variazione della precipitazione con la quota. In figura 11 sono rappresentati i dati di precipitazione media annua delle stazioni del versante orientale dei Sibillini in funzione della quota; sono tracciate anche le rette di regressione lineare e il rispettivo coefficiente di determinazione. Dalle leggi di regressione è stato possibile avere una stima della precipitazione annuale media per la stazione di Monte Prata pari a circa 1500 mm, e la precipitazione di ciascun anno di osservazione (anno 2017, 1482 mm; anno 2018, 1740 mm; anno 2019, 1745 mm).

Nel secondo metodo, è stato considerato il contenuto di acqua dello spessore del manto nevoso. La determinazione della densità della neve fresca ha sempre un elevato grado di incertezza, poiché dipende da diversi fattori ed è caratteristica per ogni area geografica. I fattori da cui dipende sono: la temperatura, l'umidità dell'aria e la velocità del vento durante la nevicata. Recenti studi (Helfricht et al., 2018) hanno potuto valutare dai dati meteorologici orari, quali lo spessore del manto nevoso, la temperatura e la velocità del vento, il contenuto equivalente in acqua e da questo calcolare la densità della neve fresca. Per le stazioni collocate a quote vicine a quella del Lago di Pilato, con temperature sotto 0°C e velocità del vento inferiori ai 5 m/s, la densità della neve calcolata è di circa 60 kg/m<sup>3</sup>; sale invece a 100 kg/m<sup>3</sup>, quando il vento supera i 5 m/s. Quindi, partendo dalle registrazioni orarie dell'altezza di neve e considerando un errore medio di registrazione delle precipitazioni da parte del pluviometro compreso fra il 30 e il 40% (Cugerone et al., 2012), è stato possibile stimare un range di altezza di precipitazione equivalente degli anni 2017, 2018, 2019 pari rispettivamente a 1367-1450, 1568-1664 e 1766-1892 mm. Tali risultati sono compatibili con le stime effettuate con la prima metodologia.

Considerando che il gradiente nivometrico stimato per l'Appennino (Fazzini et al., 2006) è stato calcolato pari a 14cm/100m, si può stimare l'apporto totale alla quota ed esposizione del Lago di Pilato pari a 1510 mm nel 2017, 1768 mm nel 2018, 1773 mm nel 2019.

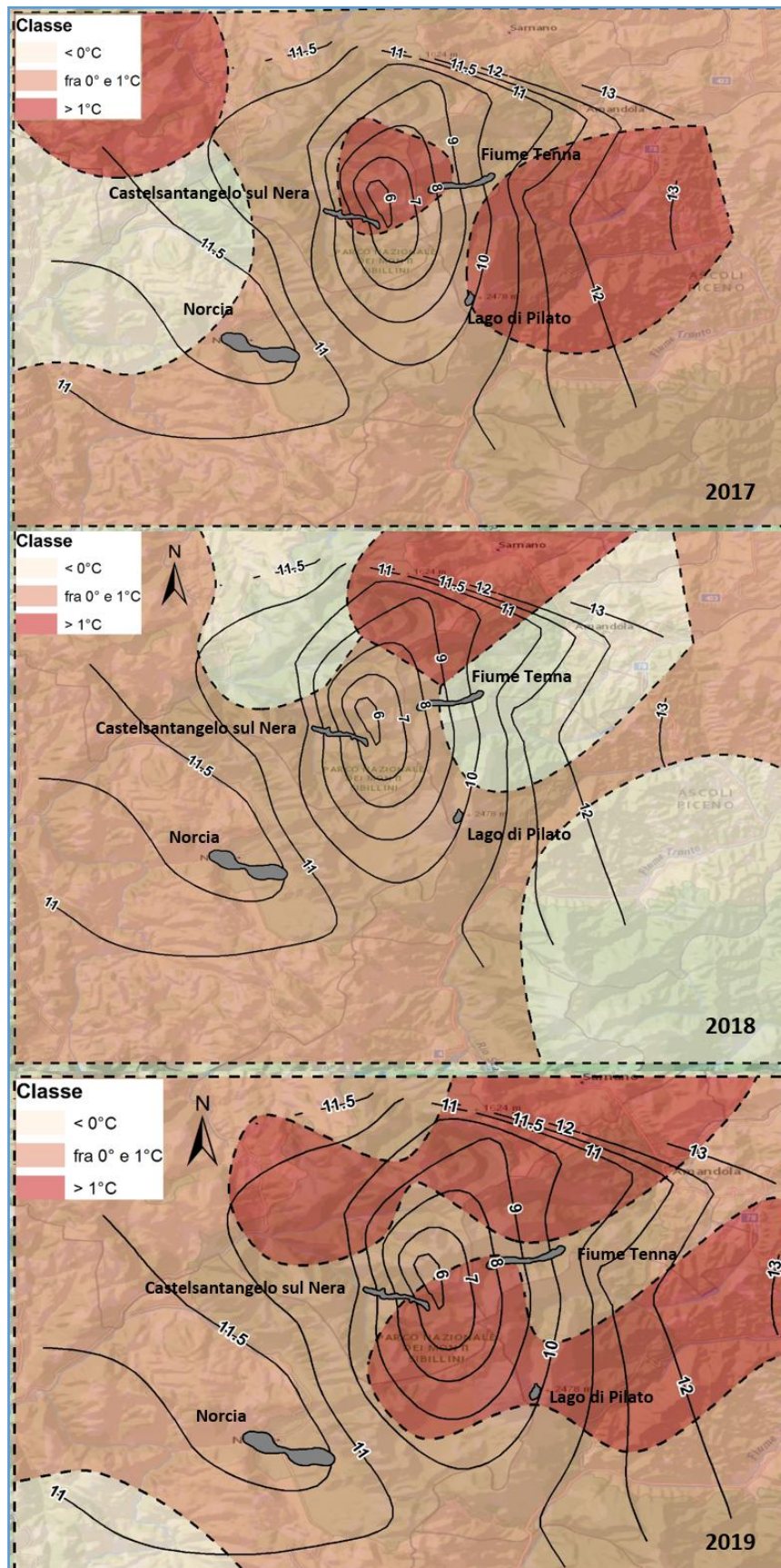


Figura 2: Isotherme medie annue mediate su 10 anni e deviazione dalla media per gli anni 2017, 2018 e 2019 (classi con colori graduati di tono crescente: <0°C; fra 0 e 1°C; >1°C)

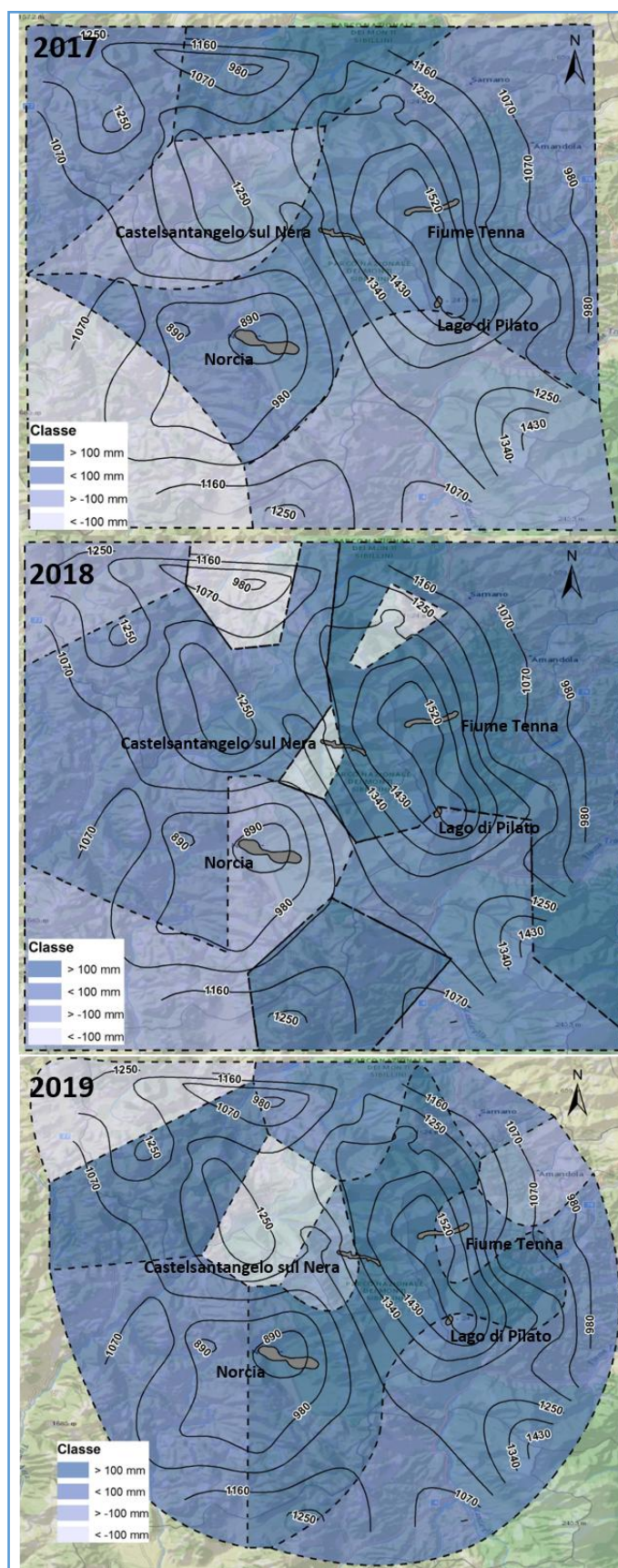


Figura 3: Isoiete delle precipitazioni annue mediate sul trentennio 1989-2019 e deviazione dalla media degli anni 2017, 2018 e 2019 (classi con colori graduati di tono crescente: <-100 mm; >-100 mm; <100 mm; > 100 mm)

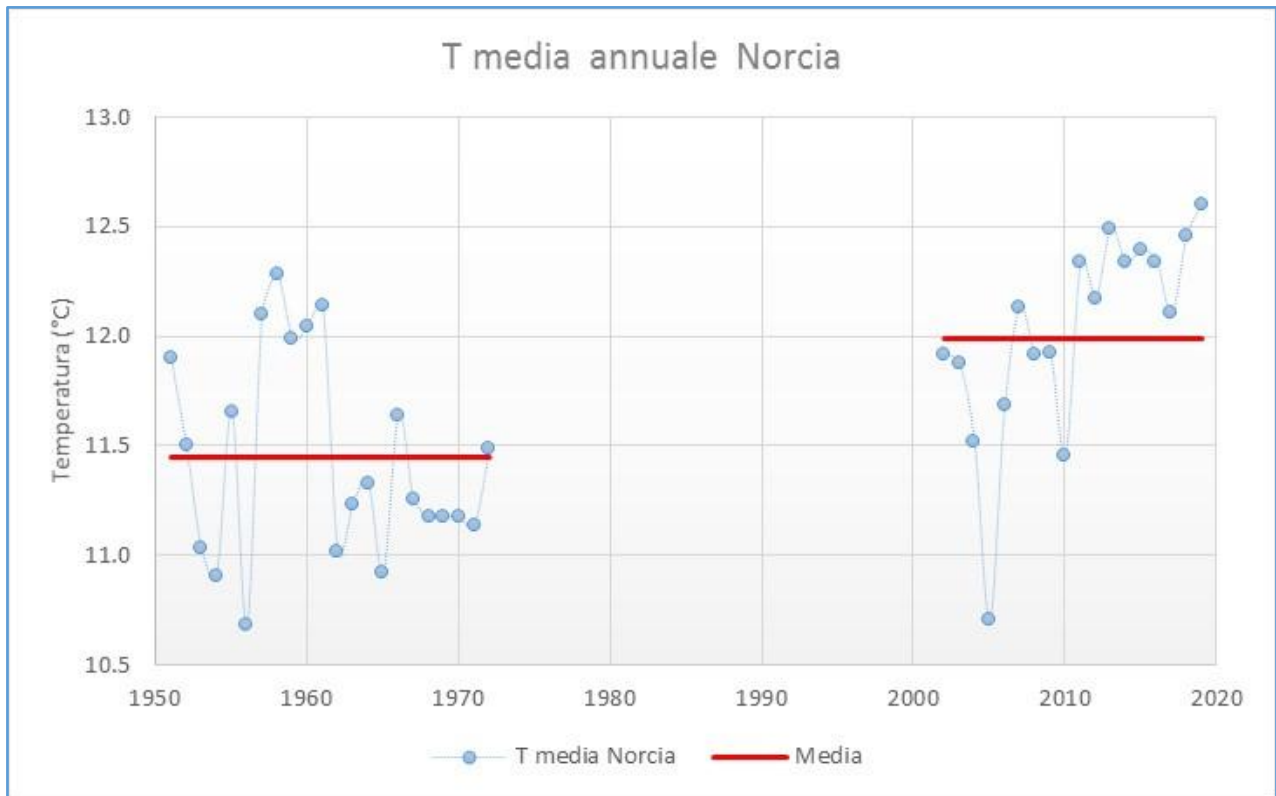


Figura 4: Il grafico riporta le temperature della stazione di Norcia dal 1951 al 1972 e dal 2002 al 2018. La temperatura media del primo periodo è pari a 11.4°C, mentre la temperatura media annuale del periodo compreso fra il 2002 ed il 2019 è pari a 12.0°C

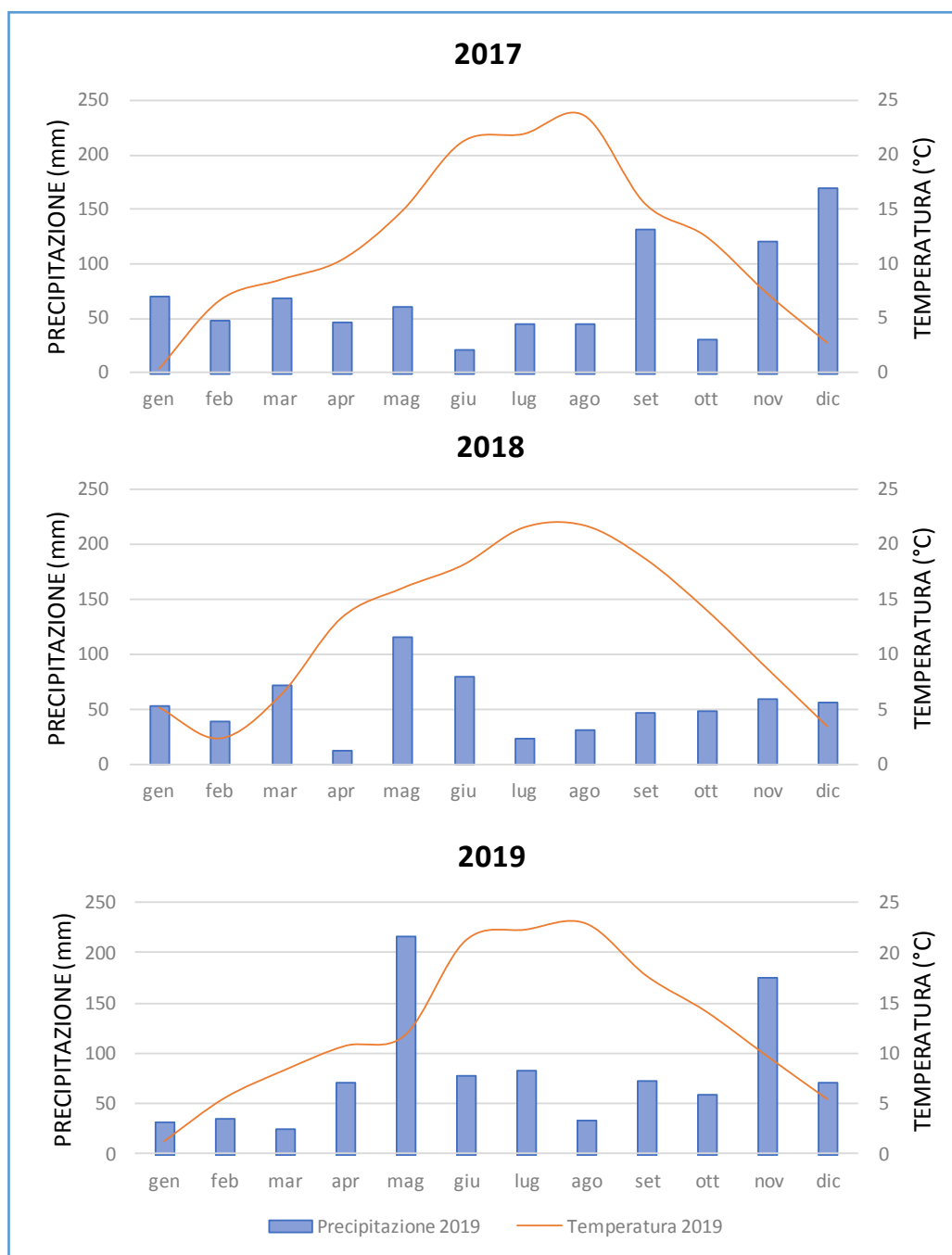


Figura 5: Regime termo-pluviometrico della stazione di Norcia (678 m s.l.m.) nei tre anni dello studio

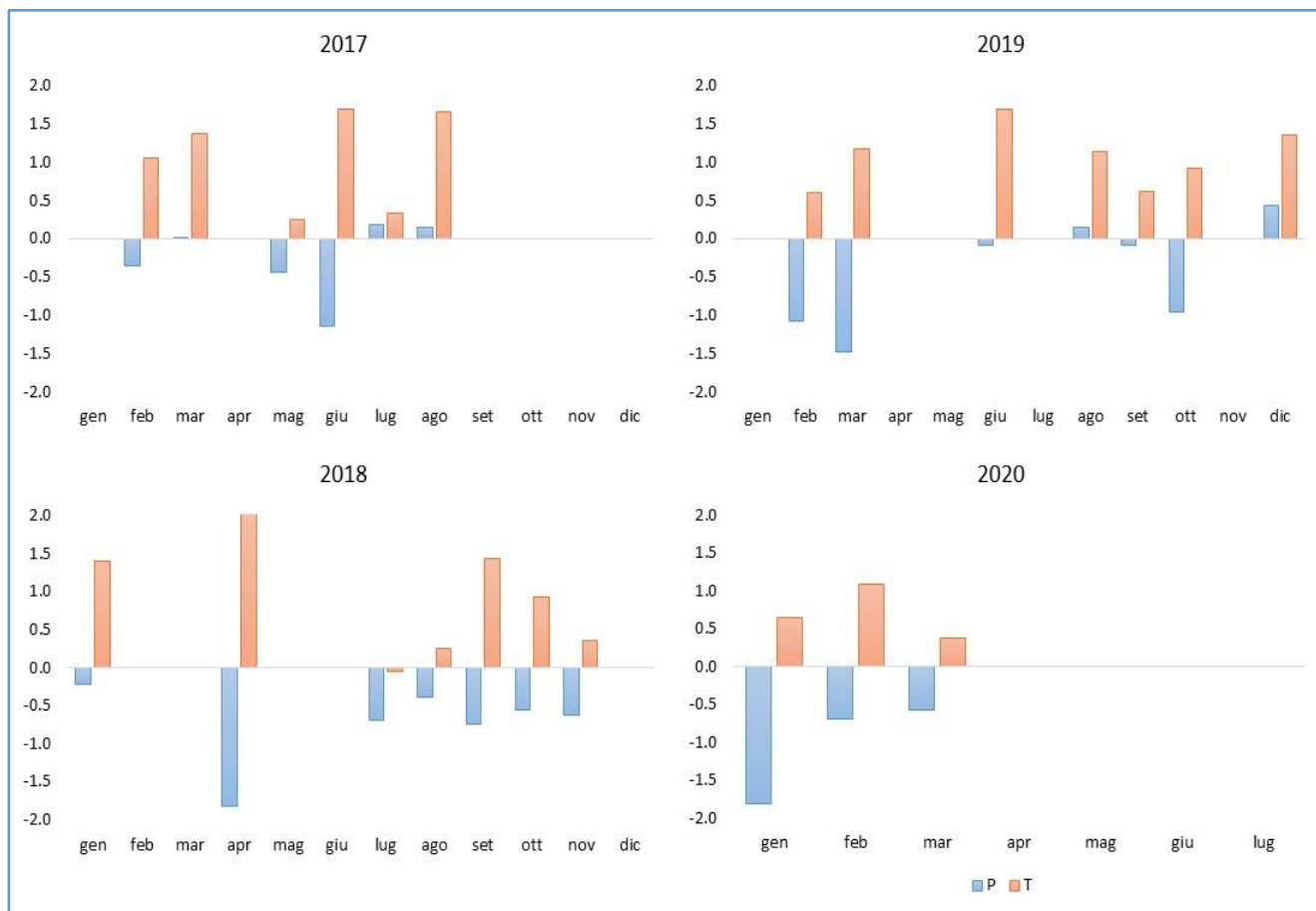


Figura 6: I grafici rappresentano lo scarto dalla media dei valori di precipitazione e temperatura della stazione di Norcia solo nei mesi nei quali si è manifestata la condizione peggiore per le precipitazioni efficaci (minori apporti pluviometrici e maggiori temperature rispetto alle medie)

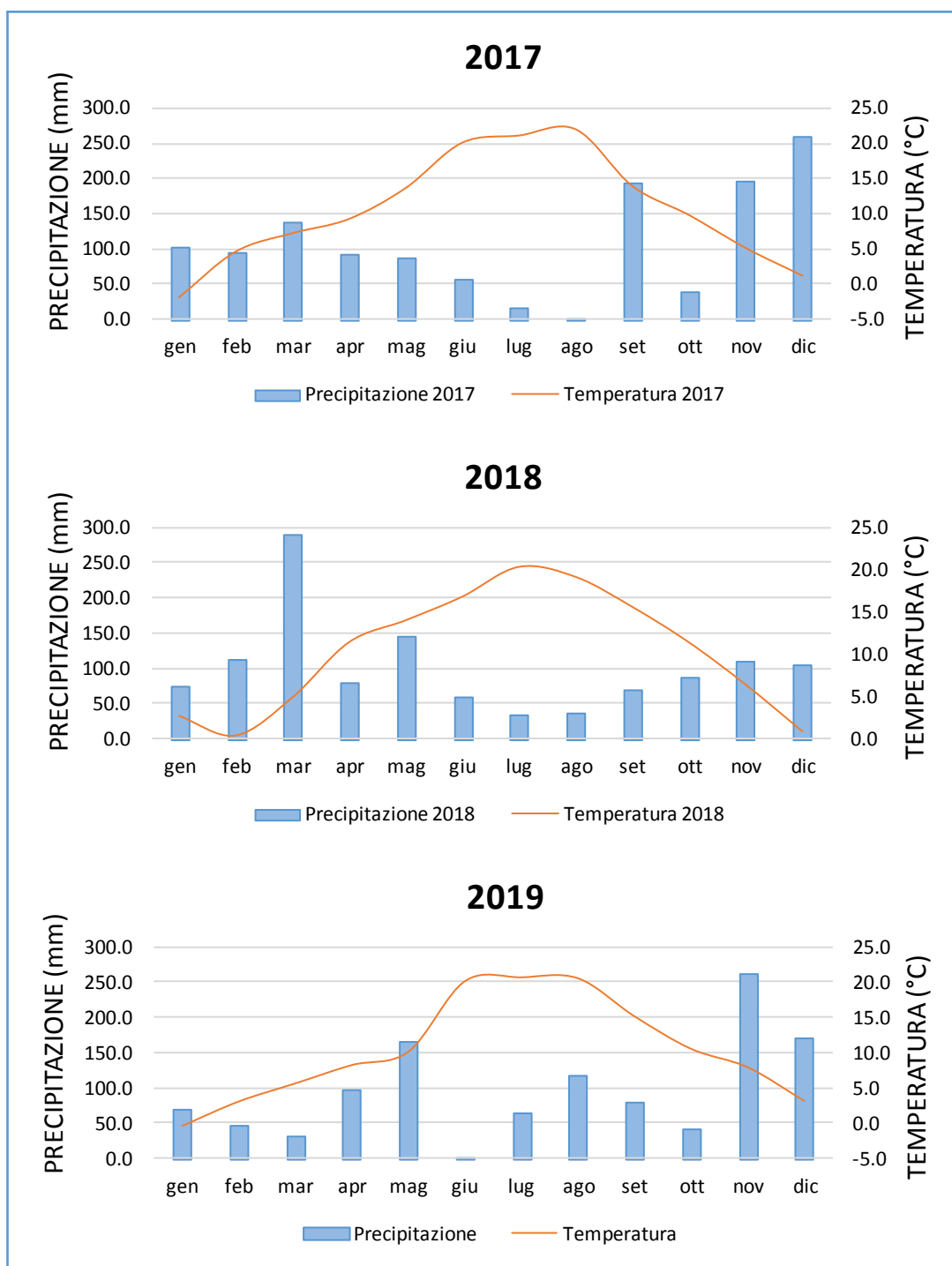


Figura 7: Regime termo-pluviometrico della stazione di Castelsantangelo sul Nera (Nerea; 715 m s.l.m.) nei tre anni dello studio

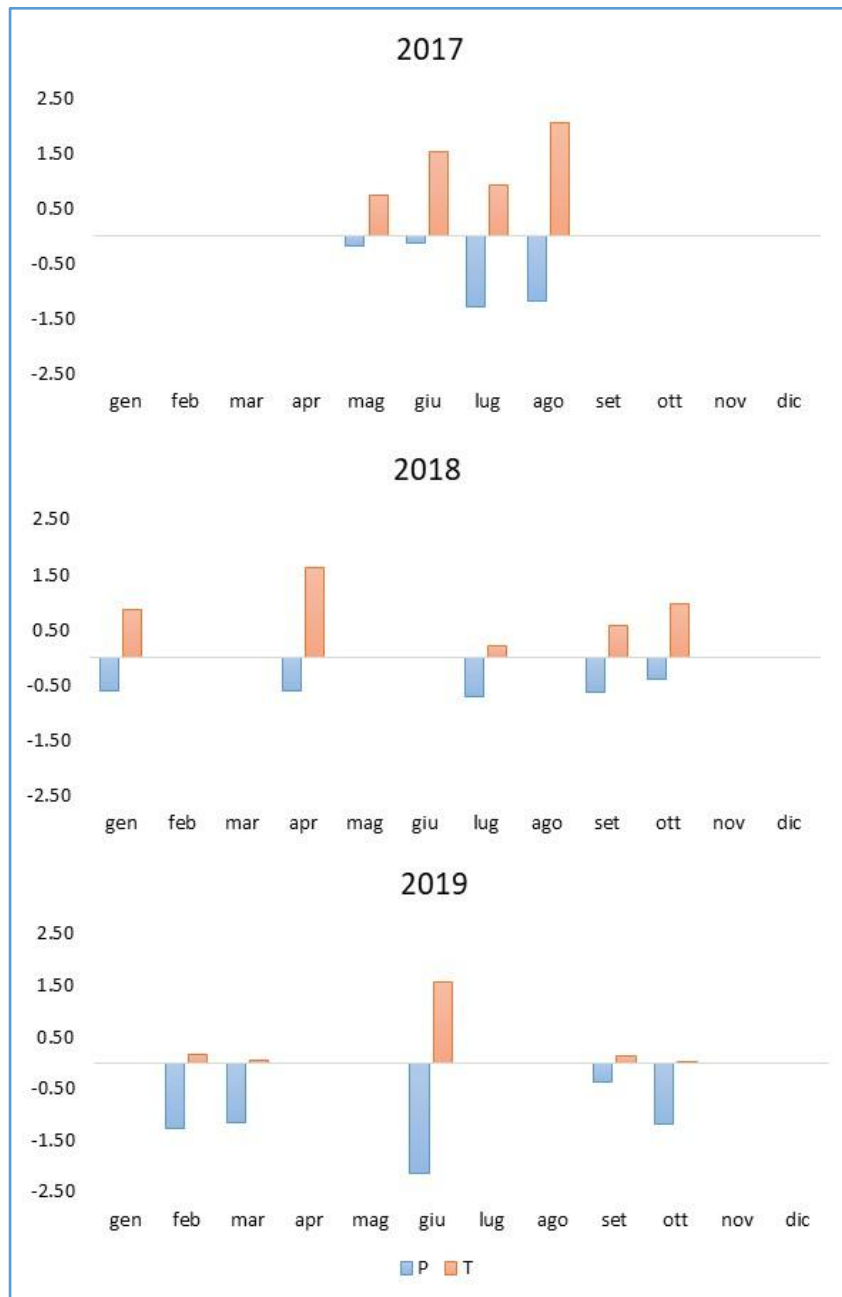


Figura 8: I grafici rappresentano lo scarto dalla media dei valori di precipitazione e temperatura della stazione di Castelsantangelo sul Nera (Nerea) solo nei mesi nei quali si è manifestata la condizione peggiore per la ricarica delle falde (minori apporti pluviometrici e maggiori temperature rispetto alle medie)

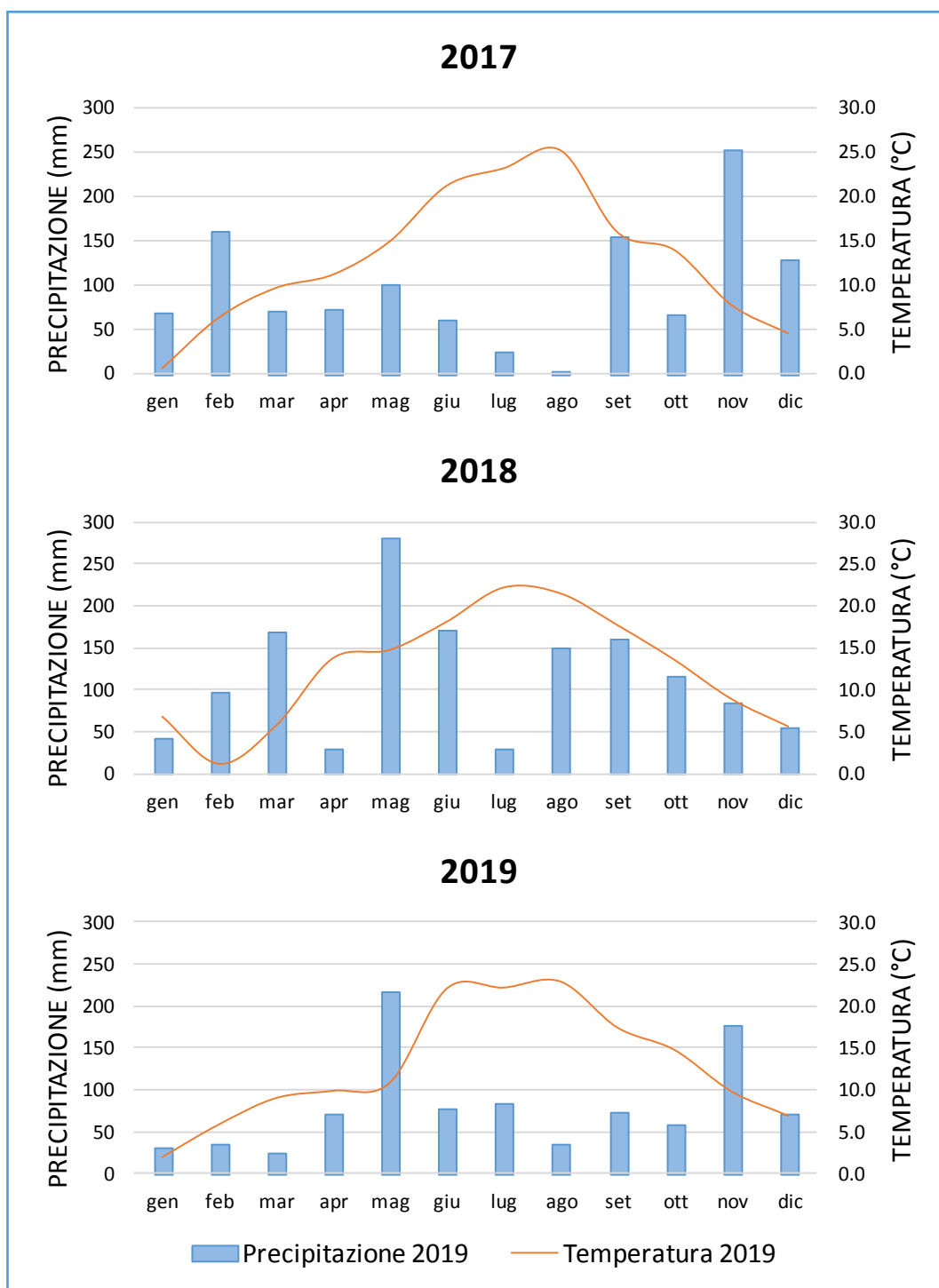


Figura 9: Regime termo-pluviometrico della stazione di Montemonaco (987 m s.l.m.) nei tre anni dello studio

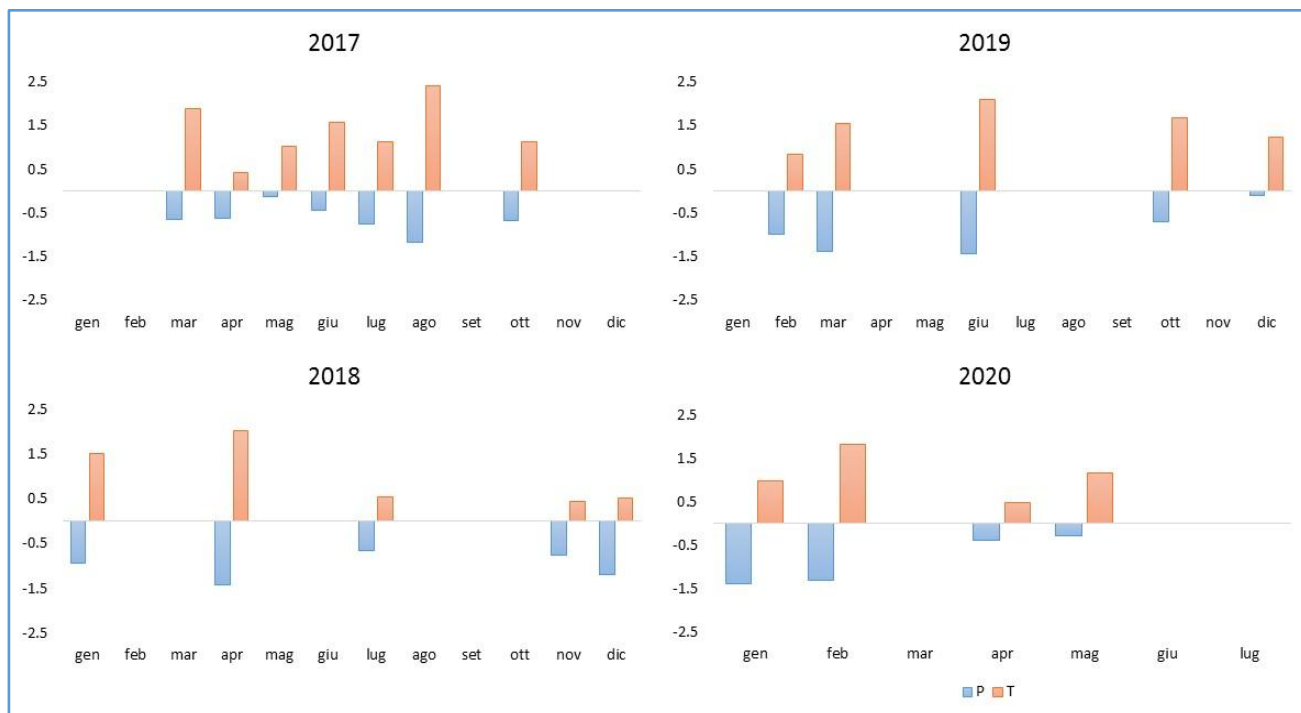


Figura 10: I grafici rappresentano lo scarto dalla media dei valori di precipitazione e temperatura della stazione di Montemonaco solo nei mesi nei quali si è manifestata la condizione peggiore per le precipitazioni efficaci (minori apporti pluviometrici e maggiori temperature rispetto alle medie)

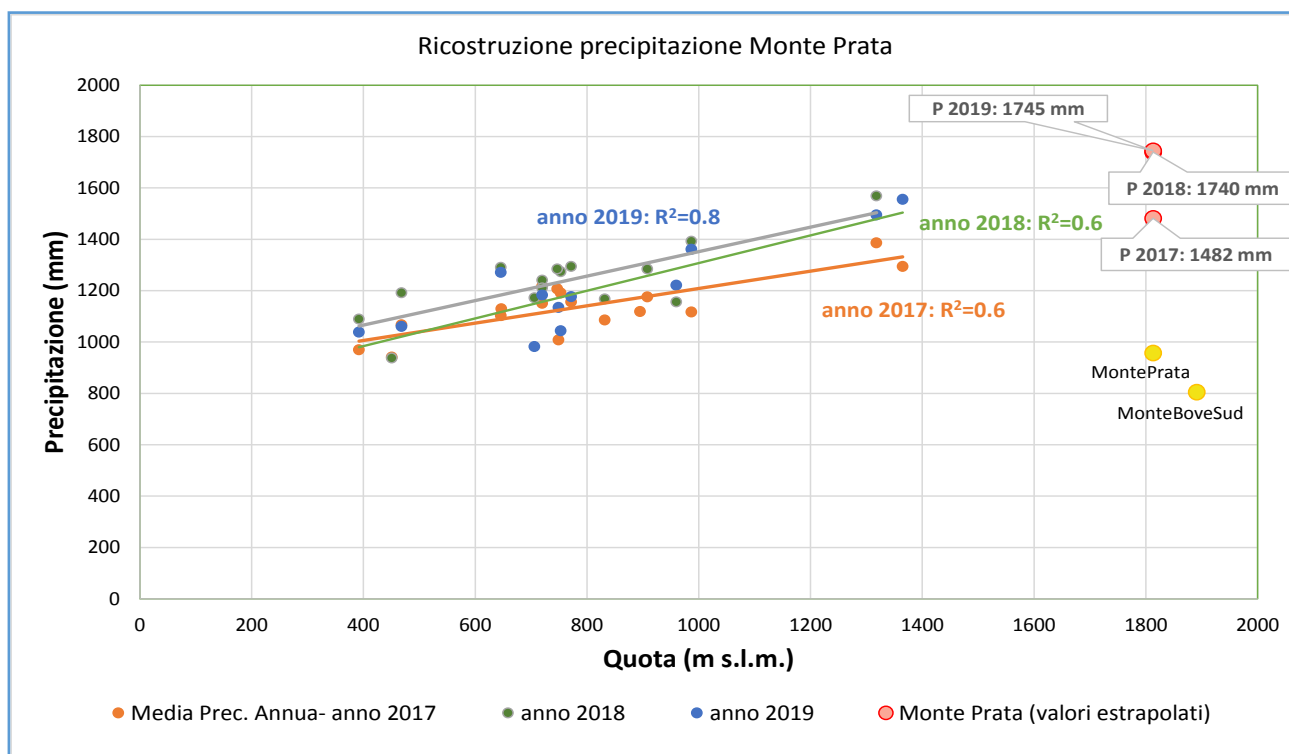


Figura 11: Grafico quota-precipitazioni delle stazioni meteorologiche del versante orientale dei Monti Sibillini. Sono rappresentate anche le rette di regressione lineare delle serie riportate nel grafico. Le rette di interpolazione sono state tracciate escludendo i valori delle stazioni di Monte Prata e Monte Bove sud (in giallo), che presentano forti anomalie dovute al malfunzionamento della strumentazione di misura della neve caduta. Sul grafico sono riportati i valori di precipitazione annua della Stazione di Monte Prata estrapolati dalle rette di regressione

### 2.2.2. Area Torbidone - Piana di Norcia - Marcite

Nell'area Torbidone - Piana di Norcia - Marcite (Tabb. 2, 3 e 7; Figg. da 12 a 19; Tav. IDRO.1), lungo l'alveo del F. Torbidone, tra le quote 602-580 m s.l.m., ossia in un intervallo di circa 20 m di differenza di quota ed in circa 2,5 km di alveo, si alternano periodi di diminuzione e di aumento di portata di varia entità (Tab. 7, Figg. 12 e 13, Tav. IDRO.1; aumenti significativi 0,05-0,25 m<sup>3</sup>/s, periodo settembre-ottobre 2018 e gennaio-marzo 2019; diminuzioni di 0,02-0,10 m<sup>3</sup>/s nei periodi giugno-agosto e novembre-dicembre 2018, di circa 0,02 m<sup>3</sup>/s tra agosto 2019-febbraio 2020, di 0,005-0,05 m<sup>3</sup>/s tra giugno-luglio 2020). La corrispondente quantità di risorsa idrica in diminuzione (circa 10-40 l/s/km) rappresenta acqua sorgiva raccolta nel Rio Torbidone che va ad alimentare la Piana di Norcia. Invece, nei periodi nei quali si è riscontrato un aumento delle portate in alveo (circa 20-100 l/s/km), tale aumento è imputabile ad un incremento della portata a livello delle quote della parte di monte della risorgenza delle Marcite, alimentate costantemente e consistentemente da contributi provenienti dall'acquifero della Maiolica e da quello della Scaglia calcarea, aventi recapito proprio in quel tratto di alveo fluviale. E' inoltre confermato che la portata delle risorgive delle Marcite, considerato pari all'aumento di portata fluviale calcolato tra le quote 580-550 m s.l.m. (intervallo di circa 30 m di differenza di quota e di circa 2,5 km di alveo; circa 300-600 l/s/km) è di circa 0,8-1,4 m<sup>3</sup>/s. Una sintesi delle suddette considerazioni è rappresentata nei modelli concettuali idrogeologici di figura 13 (sezione verticale 2D) e nella Tav. IDRO.1 (carta idrogeologica schematica).

I dati storici e pre-sisma raccolti durante questo studio sono stati confrontati con i dati misurati nel post-sisma (Fig. 14). Per il periodo agosto 2010 - aprile 2011 a valle delle Marcite (circa in corrispondenza della nostra sezione a C.le Passerini) erano stati misurati tra i circa 0,45-0,83 m<sup>3</sup>/s (e.g. Valigi et al., 2018; Baldoni et al., 2008), ossia meno della metà di quelle misurate dopo il sisma (tra novembre 2017 e maggio 2019; circa 1,5-2,5 m<sup>3</sup>/s). Le portate alla sorgente del Rio Torbidone sono salite da valori nulli fino a oltre 1,8 m<sup>3</sup>/s dall'evento sismico del 30/10/2016 a maggio 2017, per poi scendere da valori di circa 0,6-0,8 m<sup>3</sup>/s tra dicembre 2017 e maggio 2018 ai circa 0,001 m<sup>3</sup>/s a luglio 2020. Per quanto riguarda il dato recente, considerando il rapporto dei dati di portata nel pre-sisma rispetto alla situazione riscontrata durante il presente studio, la stima dell'aumento della risorsa idrica disponibile in questo settore a giugno 2018 (inizio indagini del presente studio) corrispondeva a circa il 40-60% ed è stimabile, a luglio 2020, in circa 10-20%.

È comunque evidente che le portate nel tempo stanno diminuendo quasi costantemente a partire da novembre 2018 nell'area del Torbidone, e già da settembre dello stesso anno in quella delle Marcite. Si noti che, in termini di portata, le ricariche delle stagioni di morbida della Sorgente del Torbidone negli anni 2018, 2019 e 2020 sono state pressoché inconsistenti (inferiori a 5 l/s), probabilmente perché trascurabili rispetto all'aumento già dovuto al sisma, che sta tendendo ad essere compensato nel tempo (Fig. 15). Sempre nella stessa figura è stata tracciata la probabile curva di regressione esponenziale, da cui è possibile estrapolare un'ipotesi dei valori attesi nel tempo fino a dicembre 2020, considerando che la portata diminuisca pressoché con continuità. Dall'andamento della suddetta curva di regressione e considerando che negli ultimi rilievi di giugno-luglio 2020 alcuni tratti del Rio Torbidone avevano portate fluviali inconsistenti o nulle, è verosimile che a fine estate 2020 la sorgente del Torbidone sarà completamente asciutta.

La quota del livello statico rilevata nei pozzi da noi selezionati quale rete di controllo della Piana di Norcia è variabile tra circa 570-620 m s.l.m. (Tab. 2 e Fig. 16) e quindi compatibili con quelle riportate in letteratura riferite a valori medi annui (e.g. Boni et al., 1986). Sulla base dei dati piezometrici rilevati alla fine del presente studio (luglio 2020; corrispondenti alla minima quota

registrata) è stato elaborato il campo piezometrico riportato in figura 17. In accordo con i risultati di altri Autori (e.g. Petitta, 2011; Valigi et al., 2018) si nota che le aste fluviali del Rio Torbidone e del Fiume Sordo svolgono funzione di assi di drenaggio preferenziale. Sempre in sostanziale accordo con i suddetti Autori (Valigi et al., 2018) è evidente che, rispetto alla situazione prima del sisma, le quote dei livelli nei pozzi monitorati durante questo studio sono incrementate di circa un metro nel settore di valle e in circa 10 m nel settore di monte (Fig. 18).

I valori standardizzati delle soggiacenze rilevate nei suddetti pozzi riportati nel grafico di figura 19, rendono maggiormente evidente la tendenza nel tempo ad un abbassamento generalmente concordante dei livelli, specialmente per i pozzi P10, P11, P12bis e P20. Si notano inoltre valori fuori dalla norma probabilmente dovuti alle attività di emungimento (es. pozzi P14, P21, P36 e P37). Anche riguardo alla falda idrica della piana, in termini di livelli idrici, le ricariche delle stagioni di morbida negli anni 2018, 2019 e 2020 sono state pressoché inconsistenti (comunque inferiori a 20-40 cm), e si sono esaurite nel relativamente breve tempo di circa 1 mese (Fig. 16).

Per quanto riguarda la conducibilità (CE) dell'acqua, si evidenziano valori medi più bassi (Tab. 6) in corrispondenza della Sorgente del Torbidone e delle risorgive delle Marcite (circa 480-570  $\mu\text{S}/\text{cm}$  in entrambi i settori) rispetto alle Sorgenti San Martino (circa 645  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; comprendono anche le acque della Sorgente Praterella). Tali differenze di CE sono in accordo con l'esistenza di differenti percorsi e/o origini delle acque che sgorgano nella piana. Infatti, le acque del Torbidone e delle Marcite provengono dall'Acquifero della Maiolica (e anche della Scaglia calcarea per le Marcite; Fig. 13) e sono probabilmente collegate a percorsi idrici sotterranei provenienti dal settore SE di alta quota dell'unità idrogeologica M. Utero - Piana di Norcia. Le Sorgenti San Martino-Praterella provengono invece dal margine SW del complesso di conoidi, che probabilmente operano un trasferimento idrico sotterraneo dal settore SE di monte dell'unità idrogeologica caratterizzata dagli elementi orografici M. Vetica - M. Moricone (che in quest'area è contigua al settore SW della Piana di Castelluccio) verso l'unità M. Utero - Piana di Norcia.

La caratteristica intermittenza della Sorgente del Torbidone è verosimilmente dovuta alla particolare geometria dell'idrostruttura carbonatica di Poggio Valaccone ed ai suoi rapporti con i depositi quaternari scarsamente permeabili della Piana di Norcia che la delimitano (Figg. 13 e 17 e Tav. IDRO.1). Infatti, tali depositi permettono un parziale drenaggio di acque sotterranee dalla suddetta struttura verso la piana stessa e quindi l'acquifero ospitato nella struttura carbonatica ha un sufficiente potenziale idraulico da permettere l'emissione di acqua dalla sorgente solo in particolari periodi, come quello dovuto all'ipotizzato aumento della pressione interstiziale causato dal recente sisma.

Inoltre, i valori delle temperature e del pH delle acque nei vari punti di controllo sono stati, rispettivamente, tra 7,3° e 15,5°C e tra 7,1 e 8,6 (Tab. 6). Tutto ciò è in accordo con le variazioni della temperatura dell'aria nei periodi stagionali di riferimento e con le caratteristiche attese per le acque sorgive, che mostrano un pH debolmente alcalino, e per quelle fluviali del Sordo, che hanno un pH mediamente alcalino e comunque maggiore delle precedenti.

La carta idrogeologica schematica elaborata (Tav. IDRO.1) evidenzia quanto sopra descritto. In particolare, sono stati riportati con apposita simbologia i complessi idrogeologici, l'ubicazione dei punti di controllo, i tratti di alveo con perdite e incrementi di portata, la portata delle acque di ruscellamento superficiale e del flusso di base, la portata e la conducibilità elettrica delle acque sorgive, la portata e l'estensione del tratto di alveo drenante delle sorgenti lineari e le curve isopotenziali dell'acquifero superficiale della Piana di Norcia.

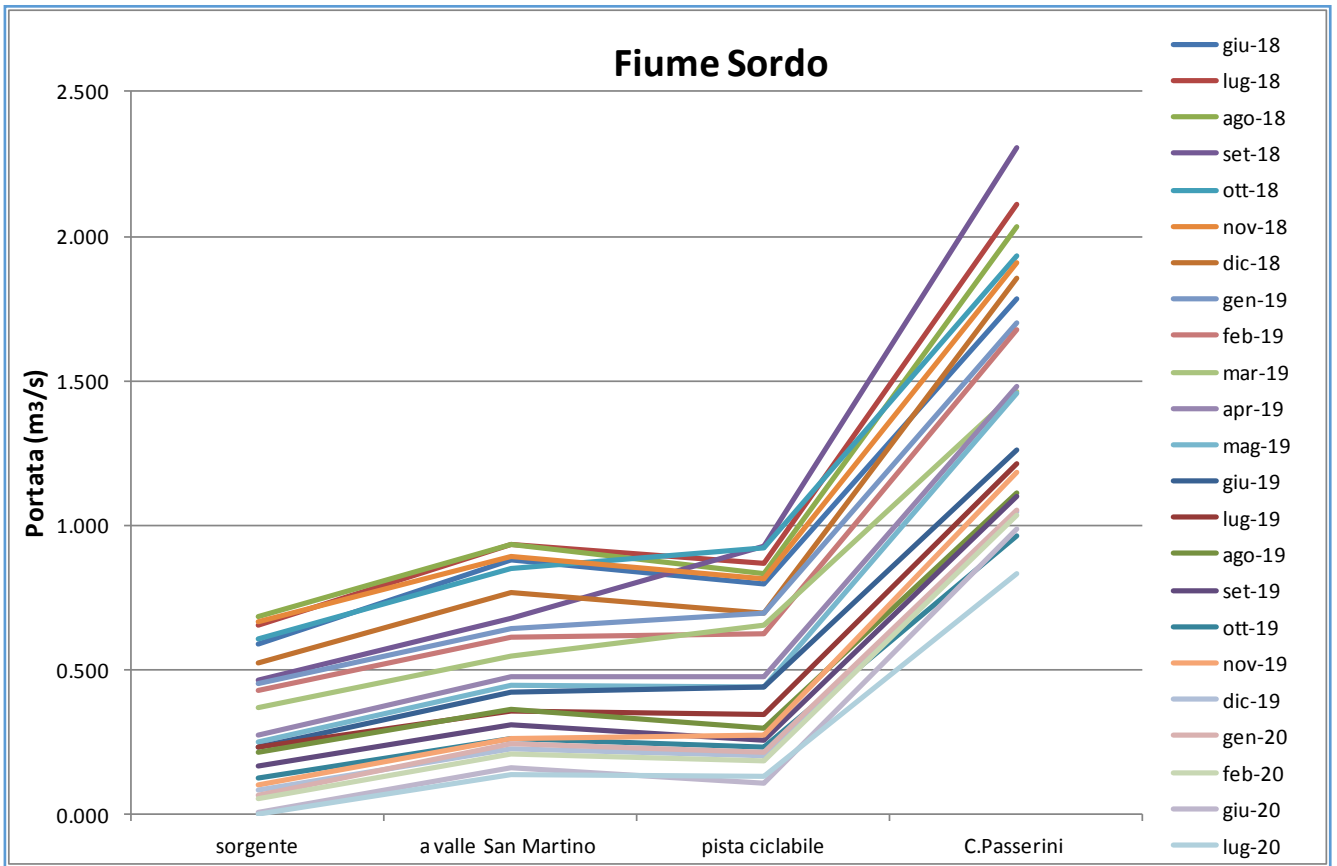


Figura 12: Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo dei fiumi Torbidone e Sordo durante le varie campagne di monitoraggio

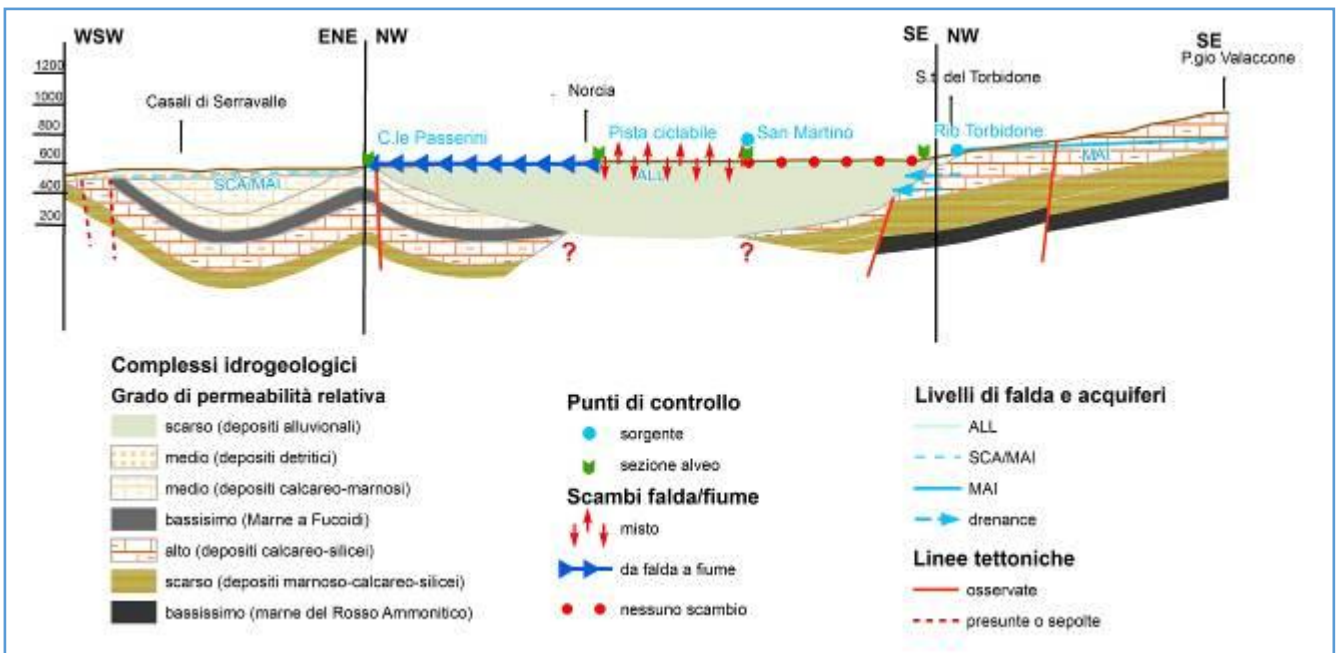


Figura 13: Sezione 2D schematica nell'area di indagine Torbidone-Piana di Norcia-Marcite (la scala orizzontale è la stessa di quella verticale). La posizione della traccia dello schema è riportata in figura 17

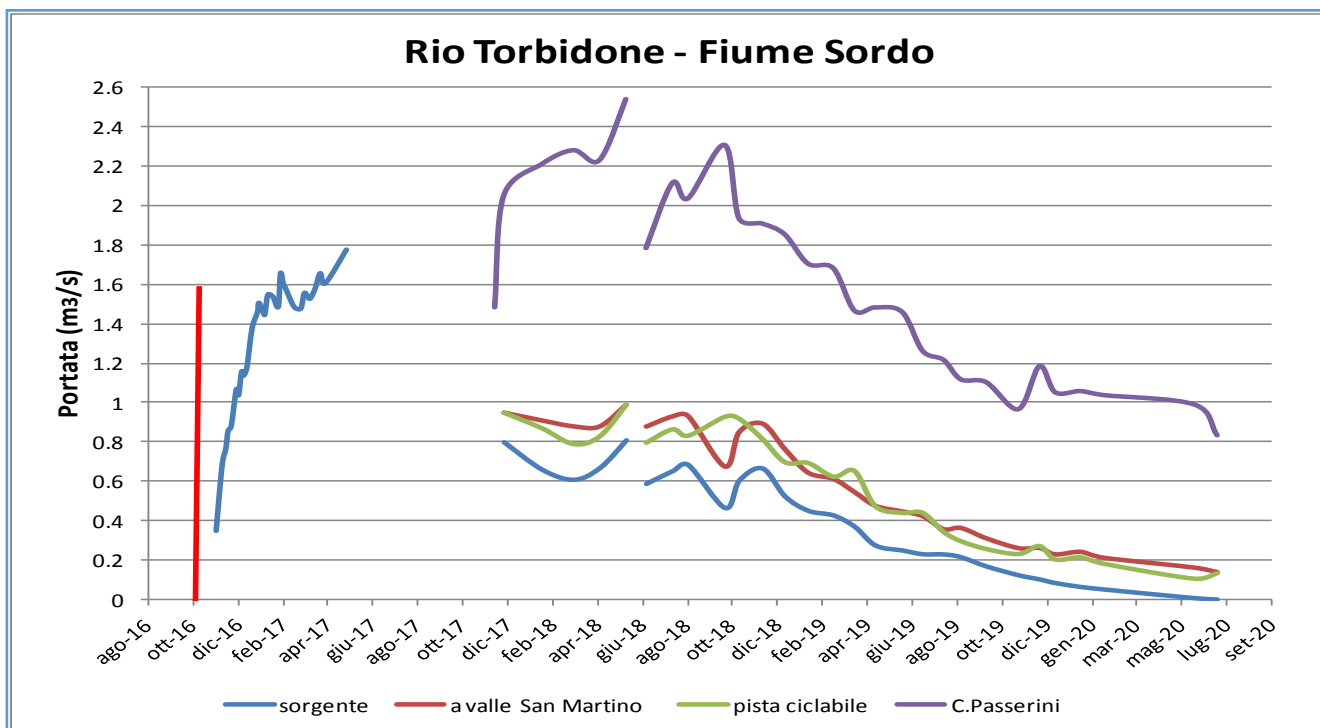


Figura 14: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo da novembre 2016 (appena dopo la scossa sismica del 30/10/2016) a luglio 2020 nei punti di controllo dell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite. La linea rossa verticale rappresenta la data dell'evento sismico del 30/10/2016

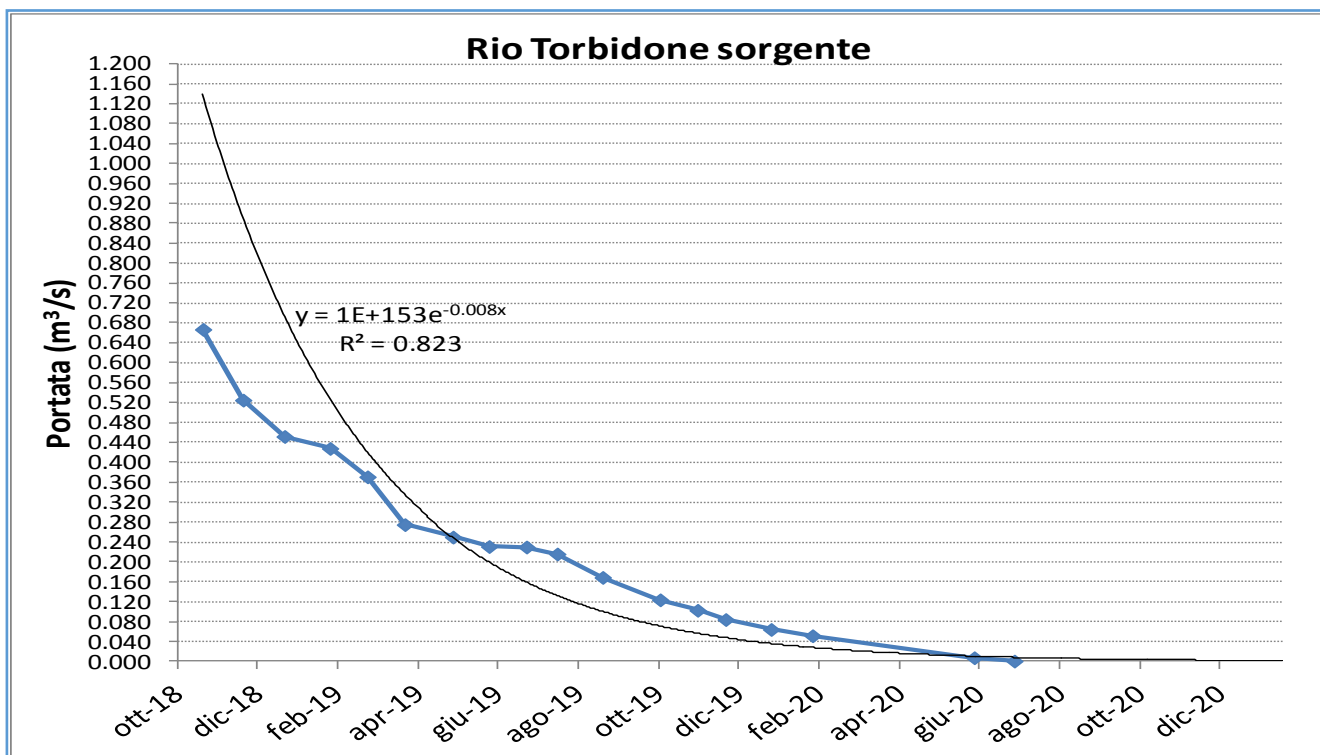


Figura 15: Grafico delle variazioni nel tempo della portata della Sorgente del Rio Torbidone, a partire da novembre 2018 ad luglio 2020, periodo durante il quale le portate sono progressivamente diminuite senza sensibile ricarica. E' stata tracciata anche la probabile curva di regressione esponenziale, da cui è possibile estrapolare un'ipotesi dei valori attesi fino a dicembre 2020, considerando che la portata diminuisca pressoché con continuità e seguendo il medesimo andamento

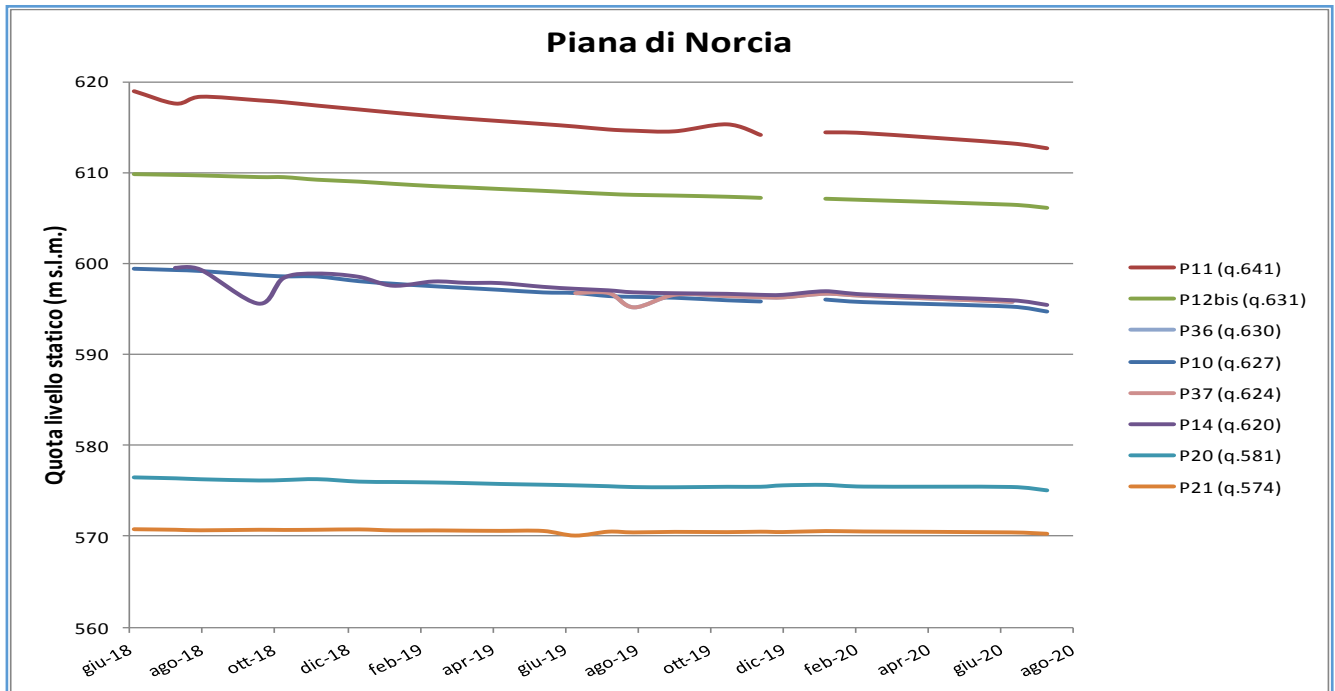


Figura 16: Diagramma delle variazioni nel tempo del livello della falda idrica sotterranea nei pozzi selezionati come punti di controllo nella Piana di Norcia

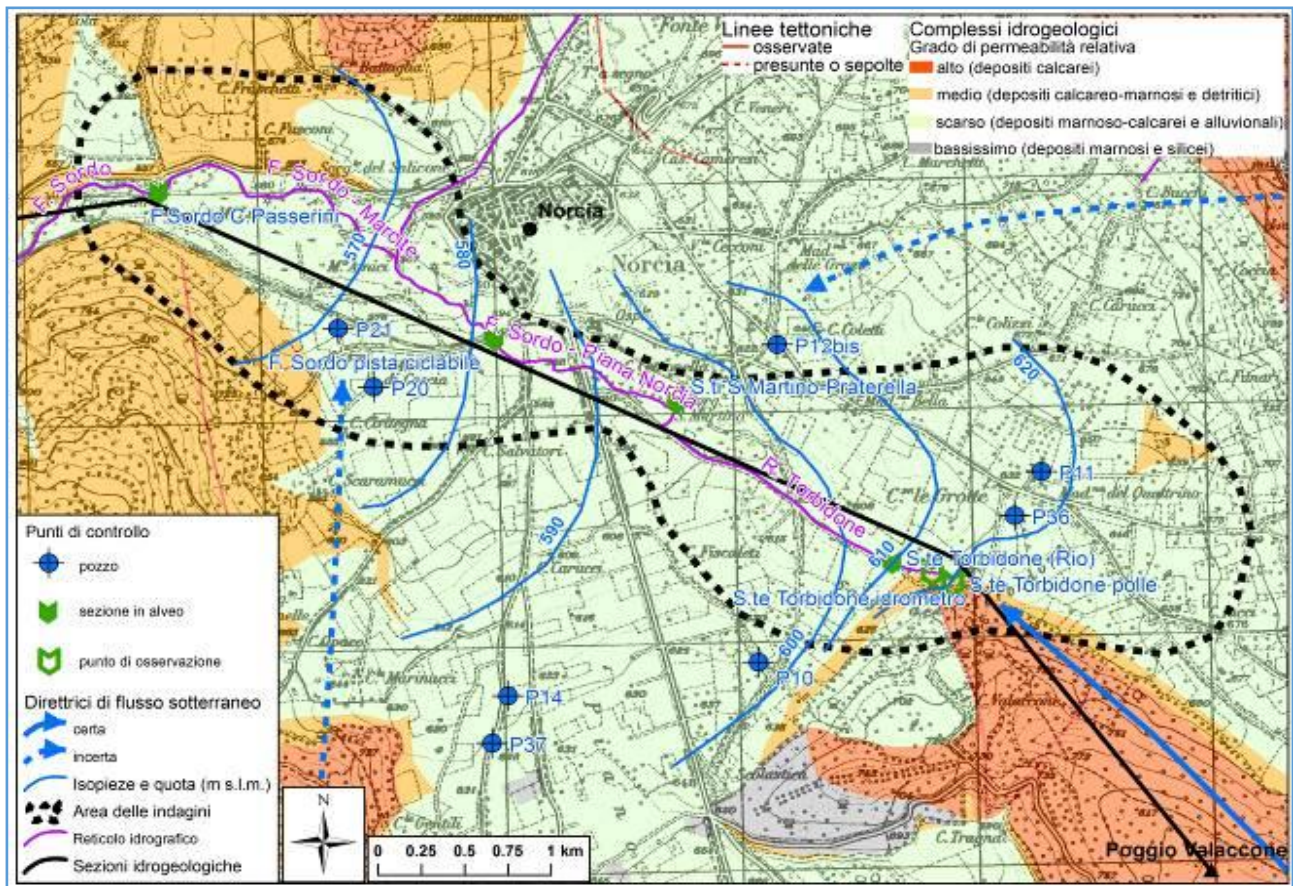


Figura 17: Schema idrogeologico con l'ubicazione dei punti di controllo nell'area di indagine Torbidone-Piana di Norcia-Marcite e andamento della falda freatica della Piana di Norcia a luglio 2020

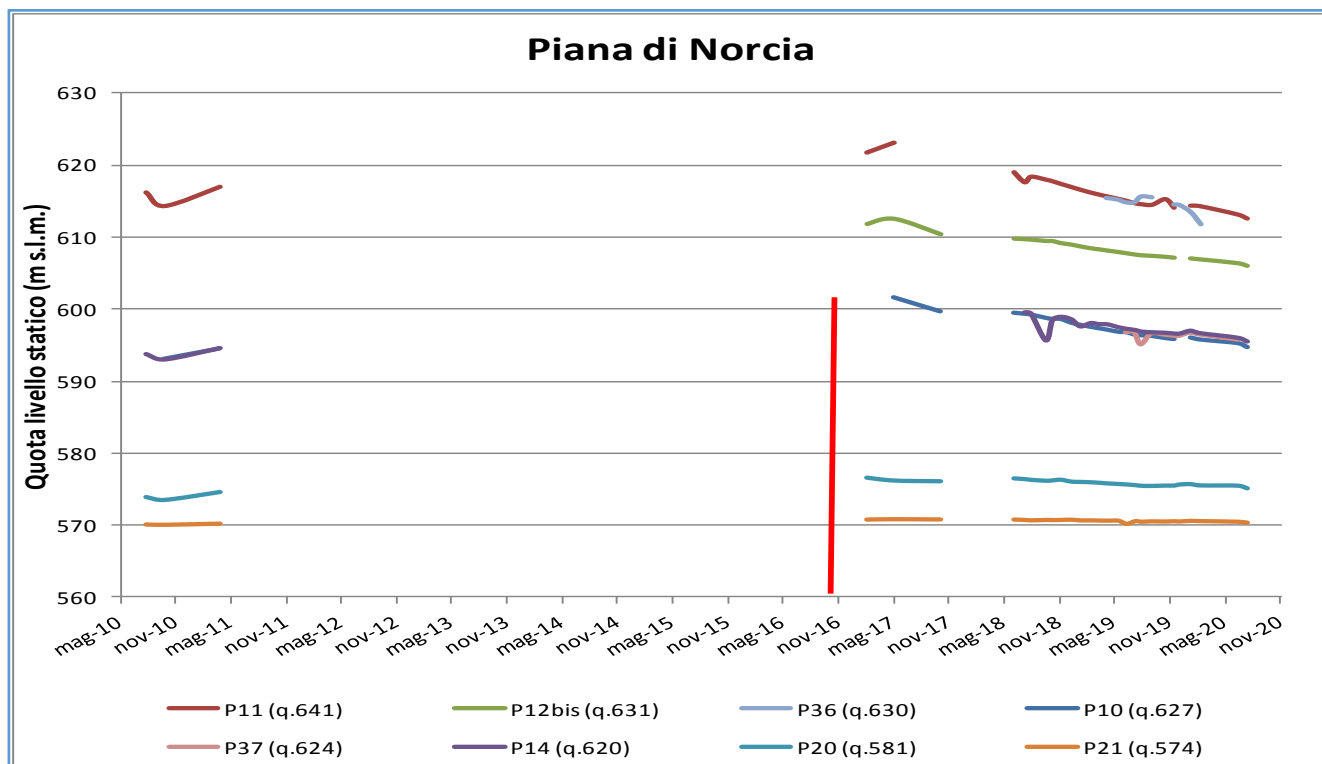


Figura 18: Diagramma delle variazioni nel tempo (agosto 2010-aprile 2011, pre-sisma; febbraio-ottobre 2017 e giugno 2018-luglio 2020, entrambi post-sisma) del livello della falda idrica sotterranea nei pozzi selezionati come punti di controllo nella Piana di Norcia. La linea rossa verticale rappresenta la data dell'evento sismico del 30/10/2016

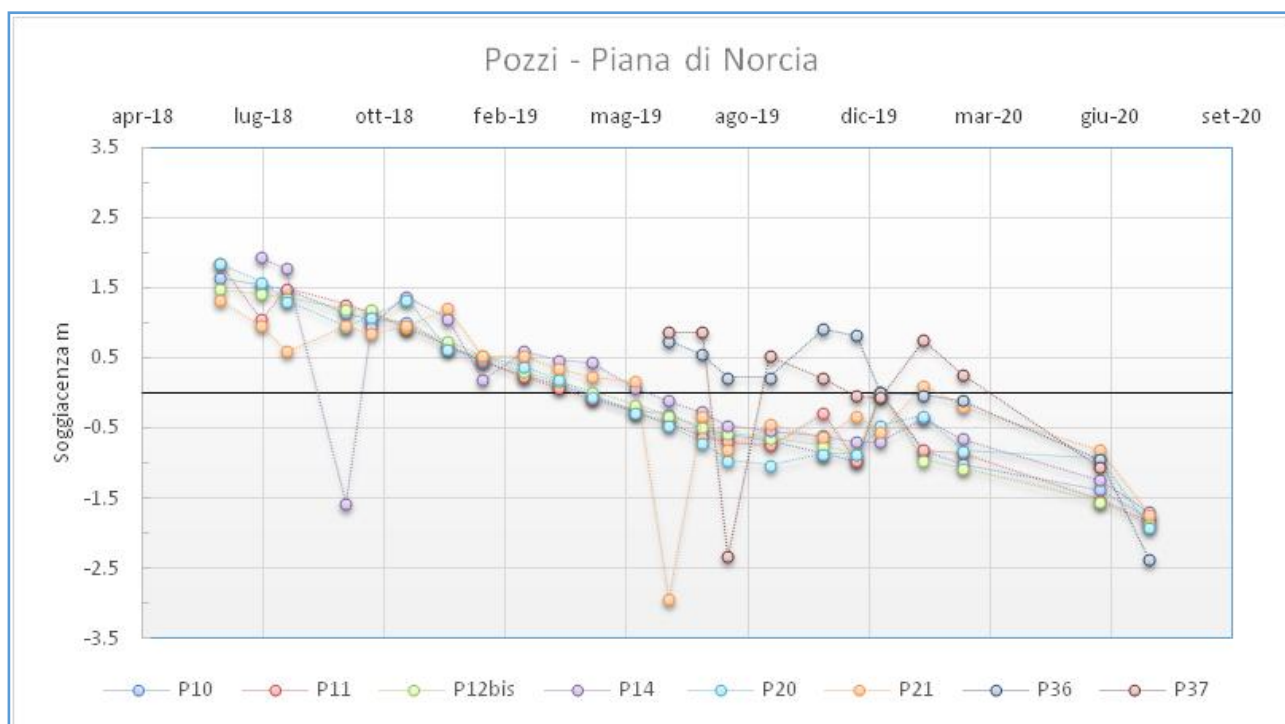


Figura 19: Grafico dei valori standardizzati dei dati di soggiacenza rilevati nei pozzi di controllo selezionati. Si osserva un abbassamento dei livelli generalmente concordante. I valori fuori dalla norma sono dovuti ad attività di emungimento (es. pozzi P14, P21, P36 e P37)

### 2.2.3. Area sorgenti e alto corso del Fiume Nera

Nell'area delle Sorgenti del F. Nera (Tab. 5 e 9; Figg. da 20 a 23; Tav. IDRO.2), a monte dell'area sorgiva principale, prevale la funzione di ricarica, come si evidenzia dalla pronta infiltrazione delle acque che sgorgano dalle sorgenti di alta quota.

Si è riscontrata la difficoltà di compiere rilevamenti di dettaglio nel tratto compreso tra la sorgente San Chiodo ed il settore immediatamente a valle dell'abitato di Castelsantangelo sul Nera per la presenza di molteplici contributi idrici da ambo le sponde del F. Nera e di derivazioni e restituzioni per vario scopo (e.g., idroelettrico, piscicoltura, ricreativo). In questo tratto, le portate fluviali sono state quindi solo stimate in alcuni punti di controllo considerati maggiormente rappresentativi e poi confrontate e verificate con misure effettuate periodicamente da enti ed istituzioni preposti al controllo ed alla gestione della risorsa idrica, per validare i criteri di stima utilizzati in questo studio.

E' stato possibile stimare un aumento di portata fluviale tra le quote 760-758 m s.l.m. (intervallo di soli 2 m di differenza di quota in circa 100 m di alveo) avente valore tra circa 0,4-0,6 m<sup>3</sup>/s (4-6 m<sup>3</sup>/s/km) e rilevare che i suoi valori di picco relativo sono stati raggiunti nei mesi di luglio e settembre 2018 e gennaio, maggio e settembre 2019 e luglio 2020 (Tab. 9 e Fig. 21).

Durante il periodo da noi monitorato, la relativa stabilità della distribuzione degli incrementi di portata nei tratti di alveo a monte di San Chiodo è coerente con il fatto che gli effetti macroscopici di incremento delle portate del Nera osservati nel novembre 2016, a partire da circa quota 800 m s.l.m. (frazione Vallinfante) nell'alveo fluviale, ma attualmente riscontrabili solo nell'intorno della quota 760 m s.l.m. (Sorgente San Chiodo), quindi con una variazione di circa 40 m di quota da appena dopo il sisma ad oggi, si possono interpretare come una avvenuta progressiva tendenza all'esaurimento degli effetti di massima compressione subiti dalla falda immediatamente dopo l'evento sismico del 30 ottobre 2016. Invece, i valori di variazione post-sisma dei livelli acquiferi registrati nella rete di controllo piezometrico dell'ente gestore della Sorgente San Chiodo sono stati limitati alla decina di centimetri (Petitta et al., 2018). Il motivo della differenza tra i suddetti intervalli di quota rilevati nei piezometri e quelli in alveo è probabilmente l'effetto della compressione subita dalla falda che ha provocato, nella fascia di risorgiva a cielo aperto, un aumento della distanza intergranulare e quindi della permeabilità dei depositi di subalveo. Conseguentemente, l'incremento di drenaggio in subalveo si è manifestato in un intervallo di quota maggiormente esteso rispetto a quello prodotto a carico della superficie piezometrica all'interno dell'acquifero.

Alcuni dati storici e pre-sisma resi disponibili a vario titolo sono stati confrontati con i dati misurati post-sisma in questo studio. Nella sezione di controllo di Castelsantangelo è evidente (Tab. 9 e Fig. 22) che si è passati da valori di portata di circa 1,3-1,7 m<sup>3</sup>/s nel periodo maggio-novembre 2015 e di 1,8-2,0 m<sup>3</sup>/s di settembre-ottobre 2016 a quelli nel periodo post-sisma che vanno dai circa 3,9 m<sup>3</sup>/s di marzo 2017 ai circa 1,6-1,9 m<sup>3</sup>/s a luglio 2020. Appena dopo il sisma, quindi, la portata massima è circa raddoppiata. È anche evidente che, all'altezza dell'oasi faunistica del Cervo, le portate rilevate tra gennaio 2015 e ottobre 2016 variavano tra circa 0,07 e 0,30 m<sup>3</sup>/s, mentre a novembre 2016 hanno avuto un picco di circa 0,60 m<sup>3</sup>/s, rientrate nella normalità dopo novembre 2017 e tuttora comprese tra circa 0,03 e 0,4 m<sup>3</sup>/s. Si ha potuto quindi verificare che, tra prima del sisma ed immediatamente dopo il sisma, la disponibilità di risorsa idrica nell'alveo del Fiume Nera è pressoché raddoppiata, anche se, a luglio 2020, il valore delle portate è tornato circa lo stesso del periodo pre-sisma.

Un tentativo di ricostruzione del modello concettuale idrogeologico locale è rappresentato in figura 23. In sintesi, si suppone che le acque delle sorgenti d'alta quota nell'incisione valliva di

Vallinfante (es. Fonte Spugna 2 e Ravarro dell'Acqua) possano verosimilmente derivare dall'Acquifero della Scaglia calcarea e/o dall'Acquifero della Maiolica, mentre le Sorgenti del Nera sono probabilmente dovute a processi di *drenance* di acque provenienti dall'Acquifero calcareo basale, favoriti dalla presenza di elementi tettonici. È comunque all'altezza del settore nell'intorno di San Chiodo, che l'Acquifero basale inizia ad affiorare estesamente dando luogo a sorgenti lineari connesse alla presenza di un diffuso insieme di fronti sorgivi.

Le acque analizzate lungo l'alveo del Fiume Nera (Tab. 6) hanno valori di CE compresi in un intervallo ristretto tra 270-310  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (fino a 328  $\mu\text{S}/\text{cm}$  se si considera anche il Fosso Ravarro dell'Acqua) e, come si è detto, provengono dall'Acquifero calcareo basale. Le acque che sgorgano da Fonte Spugna 2 hanno invece valori più bassi (media 238  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), in accordo con una provenienza delle acque di quest'ultimo punto di controllo dal locale Acquifero sospeso della Scaglia calcarea situato nell'ambito della unità idrogeologica Piano Grande-M.delle Prata-Alta Valnerina, probabilmente collegato idraulicamente tramite percorsi sotterranei all'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo (Fig. 23).

Le temperature medie delle acque di quest'area di indagine sono relativamente basse e simili per tutti i punti di controllo (7-9 °C), sebbene anche in quest'area le temperature dell'aria sono variate nel tempo in base alle stagioni in cui sono state eseguite. I valori medi del pH delle acque dei punti di controllo di quest'area di studio sono compresi tra 7,5 e 8,5, in accordo con le caratteristiche di acque da debolmente a mediamente alcaline.

La carta idrogeologica schematica elaborata (Tav. IDRO.2) evidenzia quanto sopra riportato. In particolare, sono stati riportati con apposita simbologia i complessi idrogeologici, l'ubicazione dei punti di controllo, i tratti di alveo con incrementi di portata, la portata delle acque di ruscellamento superficiale e del flusso di base, la portata e la conducibilità elettrica delle acque sorgive, la portata e l'estensione del tratto di alveo drenante delle sorgenti lineari.

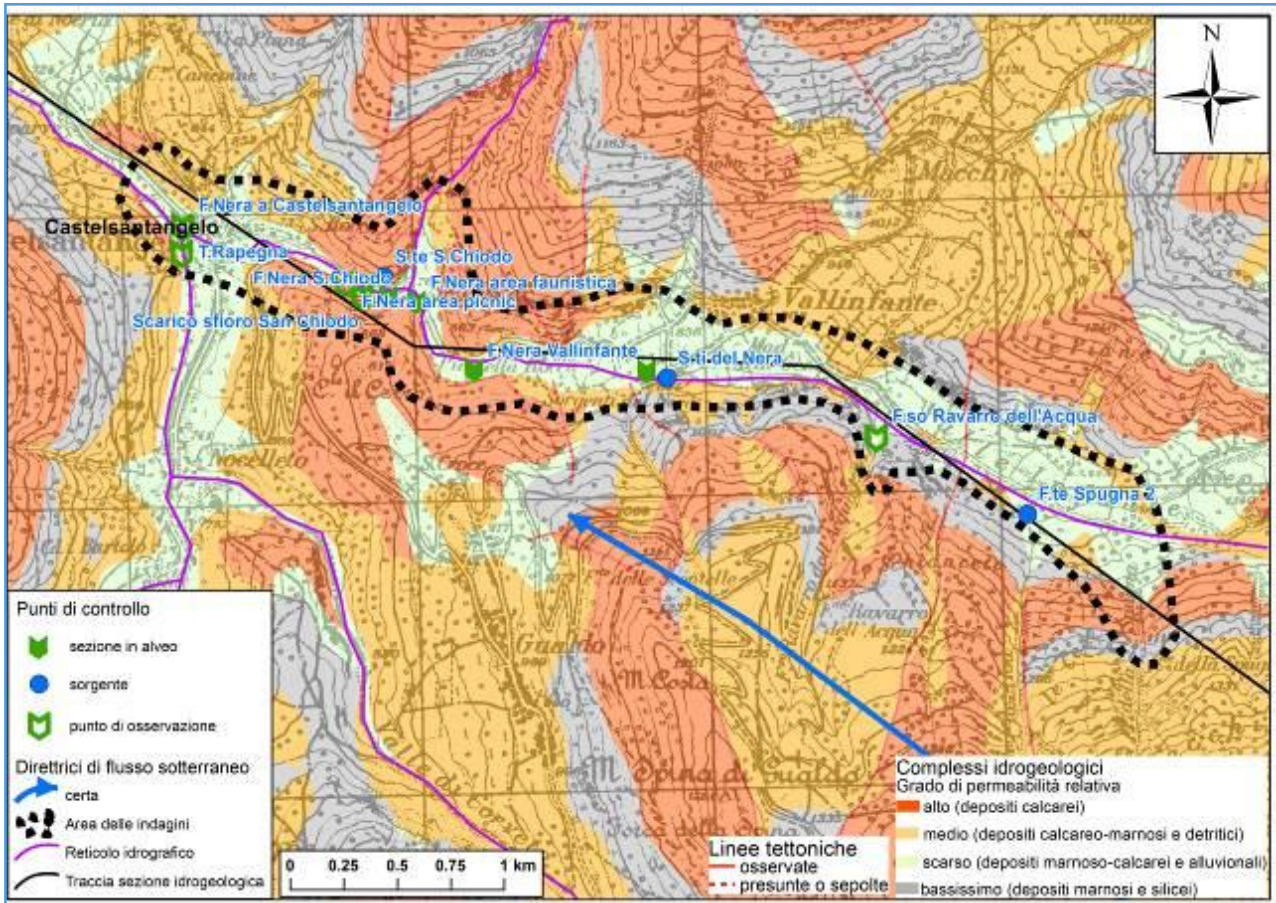


Figura 20: Schema idrogeologico con l'ubicazione dei punti di controllo nell'area di indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera

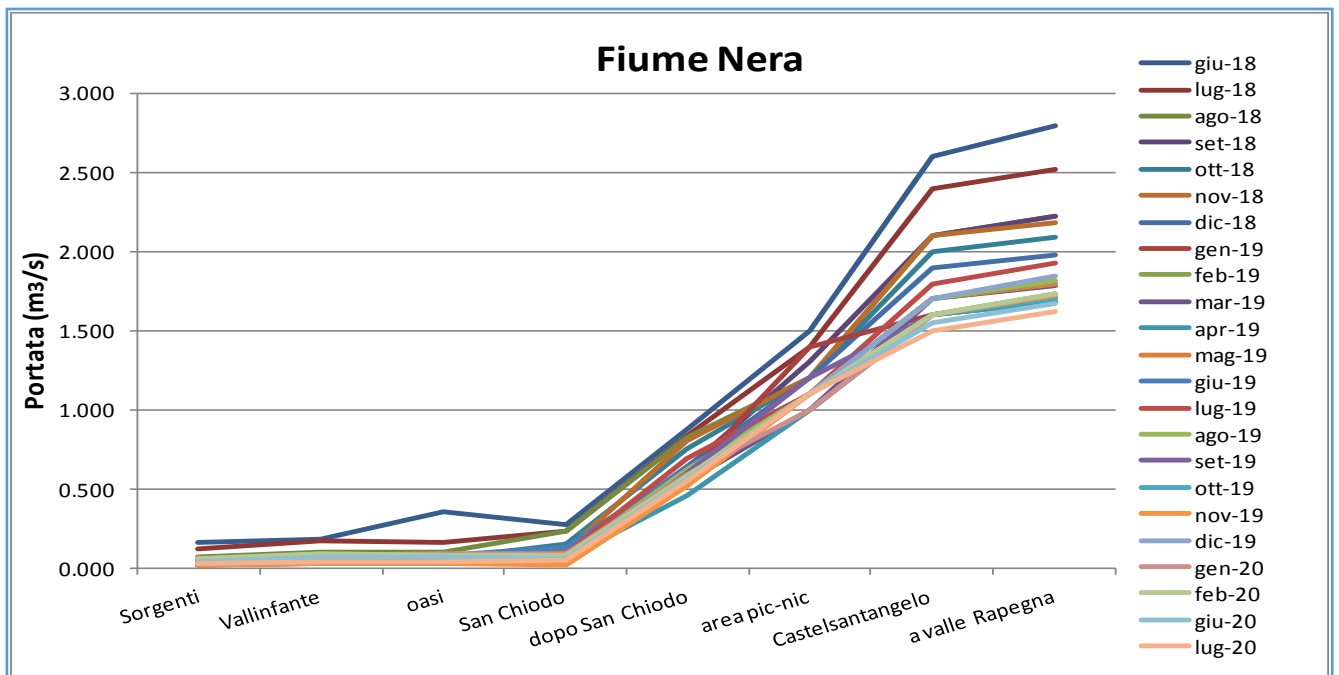


Figura 21: Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo del Fiume Nera durante le varie campagne di monitoraggio

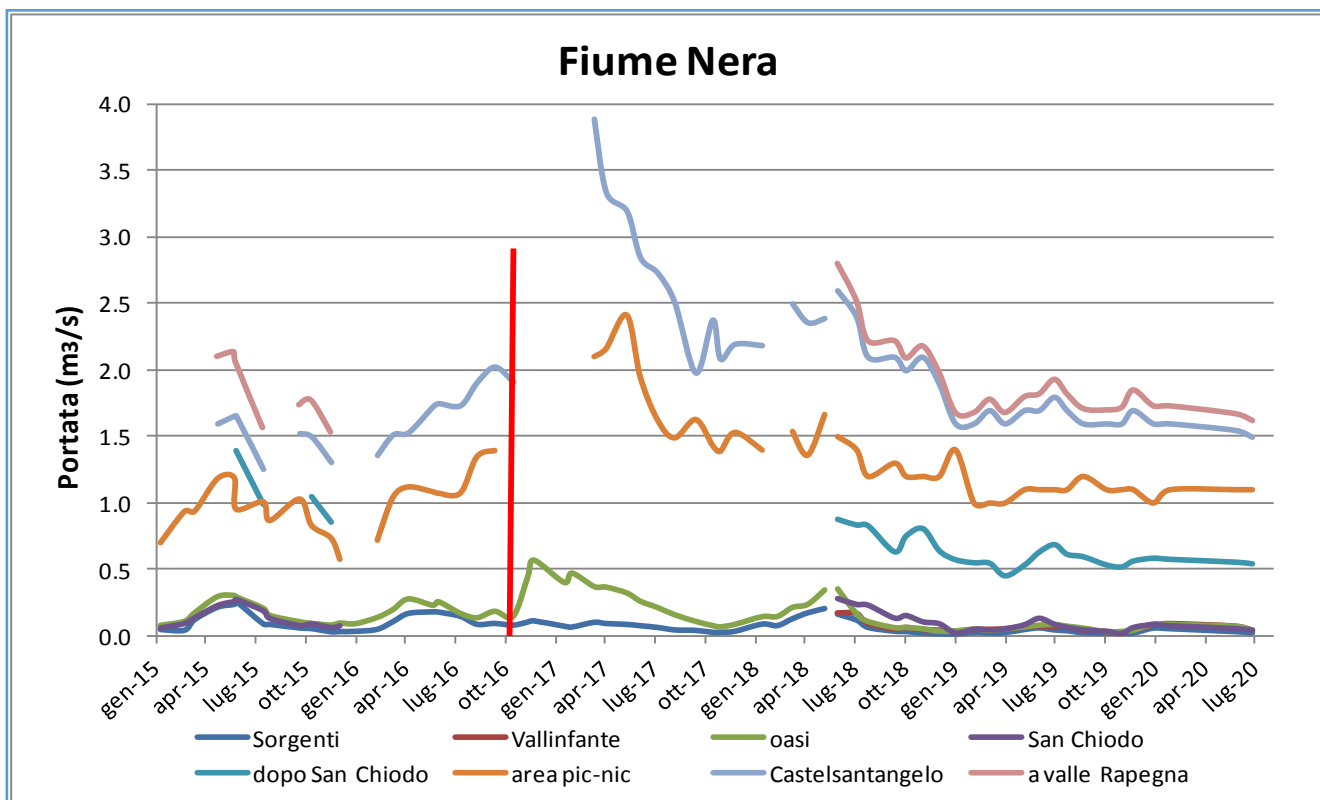


Figura 22: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo (gennaio 2015-ottobre 2016, pre-sisma; novembre 2016-luglio 2020, post-sisma) nei punti di controllo dell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Nera. La linea rossa verticale rappresenta la data dell'evento sismico del 30/10/2016

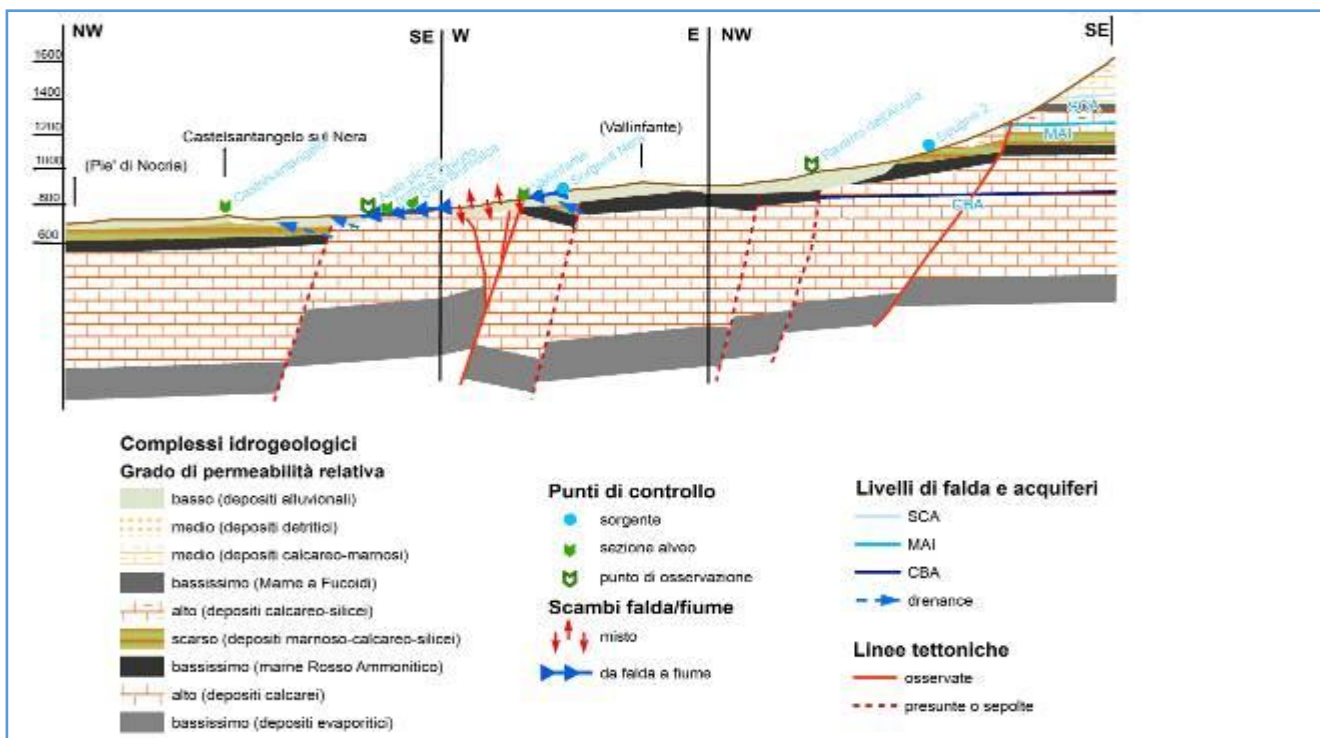


Figura 23: Sezione 2D schematica nell'area di indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera (la scala orizzontale è la stessa di quella verticale). Per una migliore visibilità, gli spessori dei depositi detritici e alluvionali sono stati esagerati. La posizione della traccia dello schema è riportata in figura 20

#### 2.2.4. Area sorgenti e alto corso del Fiume Tenna

Riguardo all'area delle Sorgenti del F. Tenna (Tab. 4 e 8; Figg. da 24 a 27; Tav. IDRO.3), nel settore di Capotenna non si è potuto accedere, a causa della permanenza dell'innevamento, tra novembre 2018 e febbraio 2019 e tra gennaio e febbraio 2020, mentre tra marzo 2020 e maggio 2020 l'emergenza sanitaria Covid-19 ha impedito le attività di campo. I corsi d'acqua limitrofi alla Sorgente Capotenna sono risultati bagnati solo a giugno 2018, mentre il "troppo pieno" della Sorgente Capotenna ha emesso acqua nello stesso mese (circa 30 l/s), a maggio 2019 (circa 20 l/s) e a giugno-luglio 2020 (pochi litri secondo). Queste acque sono in breve scomparse per infiltrazione lungo l'alveo. Questo concorda con l'ipotizzata funzione di area di ricarica del settore di Capotenna e, come evidenziato nella sezione schematica 2D di figura 24, suggerisce che l'acquifero della Maiolica, da cui scaturisce la suddetta sorgente, al netto del prelievo, in tutta la restante parte del periodo di monitoraggio (tra luglio 2018 e luglio 2020) non aveva sufficiente carico da permettere il trabocco di acque, se non a quote prossime a circa 1100 m s.l.m., in prossimità della soglia costituita dalle formazioni dei Calcari diasprigni-Marne a Posidonia-Marne di Monte Serrone.

Lungo il corso del F. Tenna, tra marzo e maggio 2019 e tra novembre 2019 e dicembre 2019 ed a giugno 2020, si è notato un progressivo aumento delle portate dopo i periodi di massima magra, registrati ad ottobre di entrambi i due anni idrologici monitorati (2018 e 2019).

Proprio durante questi due anni idrologici di monitoraggio, nel tratto fluviale tra le quote 1175-990 m s.l.m. (circa 200 m di differenza di quota in circa 2 km di alveo) si è avuto un incremento di portata fluviale di circa 0,02-0,68 m<sup>3</sup>/s (valore minimo in magra, massimo in morbida; corrispondenti a circa 10-380 l/s/km) da acque sotterranee provenienti dall'Acquifero della Maiolica, a monte della quota di circa 1100 m s.l.m., dove affiora il livello impermeabile di base di questo acquifero (Calcari diasprigni-Marne a Posidonia-Marne di Monte Serrone) e, a valle, dall'Acquifero calcareo basale. Il tratto tra le quote 990-985 m s.l.m. (circa 5 m di differenza di quota in circa 300 m di alveo) ha generalmente mostrato invece più limitati aumenti di portata fluviale (da 0,003-0,05 m<sup>3</sup>/s; 10-170 l/s/km), ma anche alcuni episodi di diminuzione di portata (giugno 2018, agosto 2019, novembre-dicembre 2019, giugno-luglio 2020). Riguardo ai successivi settori compresi tra le quote 985-945-941-845 m s.l.m. (in totale circa 150 m di differenza di quota in circa 2 km), essi hanno evidenziato scambi idrici complessi tra falda e fiume, verosimilmente dovuti, in questo settore di bassa quota dell'Acquifero calcareo basale, alla presenza, a minore profondità, del livello impermeabile di base (unità evaporitica) e/o alla sua compartimentazione per motivi tettonici (Fig. 24 e 25).

Durante il regime di massima magra dei mesi di ottobre 2018 e 2019, le osservazioni effettuate nell'alveo del F. Tenna hanno rivelato l'esistenza di due tratti di alveo asciutto (approssimativamente tra la quota 1178 di Capotenna e la quota 1100 m s.l.m. e tra le quote 1070 e 1050 m s.l.m.; Fig. 24) che sono stati ricondotti alla presenza, in questo periodo di carenza di disponibilità idrica, di solo deflusso idrico a livello di subalveo nei tratti di affioramento della coltre alluvionale sia nel pianoro di Capotenna fino a poco a valle di questo (quote 1178-1100 m s.l.m.) sia all'altezza della soglia impermeabile costituita da Calcari diasprigni-Marne a Posidonia-Marne di Monte Serrone (quote 1070 e 1050 m s.l.m.).

I dati delle portate storiche e pre-sisma ottenuti per quest'area di studio (Figg. 26 e 27) sono stati confrontati con quelli misurati nel post-sisma ed è stato pertanto possibile verificare che la forte variabilità tra i dati stagionali in magra (compresi tra circa 0-0,05 m<sup>3</sup>/s) e quelli di morbida (tra circa 0,45-0,95 m<sup>3</sup>/s) non consentono di definire trend chiari. Apparentemente, a livello

dell'alveo fluviale a quote inferiori a 990 m s.l.m. (livello dell'Acquifero calcareo basale) non sembrano occorse sostanziali differenze tra pre- e post-sisma.

Nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Tenna, in base al modello concettuale per quest'area riportato in figura 24, le acque della sorgente Capotenna, che si distinguono per una conducibilità media piuttosto bassa di circa 220  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sono connesse all'Acquifero della Maiolica. Invece, le acque del corso d'acqua principale, a quote inferiori, hanno valori medi di CE compresi tra 229-240  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e derivano sia dall'Acquifero della Maiolica (nel tratto più a monte) sia dall'Acquifero calcareo basale (tratto più a valle). I valori piuttosto bassi di CE della sorgente Capotenna e la particolare situazione geologica e tettonico-strutturale dell'area (stratificazione e limiti formazionali alquanto contorti e presenza di depositi alluvionali di copertura; Figg. 24 e 25) non escludono che l'acquifero sospeso della Scaglia calcarea, situato a monte della Sorgente Capotenna a quote maggiori di circa 1170 m s.l.m. (Fig. 24), possa contribuire alla ricarica dell'area sorgiva di Capotenna, in particolare nei periodi di abbondanti precipitazioni meteoriche e, conseguentemente, infiltrazione.

Le acque del Fosso Le Vene (in destra idrografica) hanno invece valori medi di CE relativamente bassi (209  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), pur sgorgando nell'ambito dell'Acquifero calcareo basale. Quindi, è possibile che almeno parte delle acque provenga da una idrostruttura sospesa (Acquifero della Scaglia calcarea) presente a monte del fosso, nell'intorno della cima del Monte Sibilla. Più a valle, le acque del gruppo sorgivo delle Pisciarelle (in destra idrografica; media CE circa 246  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) hanno valori poco maggiori di quelle del corso intermedio del Tenna e provengono da una diversa idrostruttura dell'Acquifero della Scaglia calcarea, con il probabile contributo dell'Acquifero della Maiolica (Tab. 6). Tutti i suddetti acquiferi sono comunque compresi nell'ambito della medesima unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo.

Non essendo disponibili misure storiche della portata non captata dal bottino di prelievo idrico di Capotenna, la diminuzione della presenza di acqua proveniente dall'esuberato della sorgente, lamentata nel post-sisma da alcuni allevatori di bestiame nell'intorno di Capotenna, purtroppo non è al momento oggettivamente verificabile. Durante i rilievi effettuati, la presenza di acqua è stata riscontrata solo raramente in questo settore. Il differente andamento delle portate prelevate dopo l'estate 2017 alla Sorgente Capotenna, rilevabile dall'idrogramma di figura 26, è quindi verosimilmente dovuto a variazioni del regime di ricarica della sorgente stessa, probabilmente dovuto anche ad un insufficiente carico idraulico dell'Acquifero della Scaglia calcarea, tale da non mantenere un adeguato drenaggio di acque, come sopra ipotizzato, attraverso la soglia costituita dalle Marne a Fucoidi e i depositi superficiali.

Le temperature delle acque campionate alle sezioni del corso del Tenna hanno avuto valori medi compresi in un ristretto intervallo tra 7 e 9°C, mentre per le Pisciarelle sono stati rilevati in media valori di circa 11°C (Tab. 6). Inoltre, in quest'area di relativamente alta quota, le temperature dell'acqua hanno particolarmente risentito delle variazioni stagionali della temperatura. I pH delle acque dei vari punti di controllo di quest'area di studio hanno evidenziato un intervallo di valori tra 7,4-8,2 (acque da debolmente a mediamente alcaline; Tab. 6).

La carta idrogeologica schematica elaborata (Tav. IDRO.3) evidenzia quanto sopra riportato. In particolare, sono stati riportati con apposita simbologia i complessi idrogeologici, l'ubicazione dei punti di controllo, i tratti di alveo con incrementi di portata o con scambio idrico variabile nel tempo, la portata delle acque di ruscellamento superficiale e del flusso di base, la portata e la conducibilità elettrica delle acque sorgive, la portata e l'estensione del tratto di alveo drenante delle sorgenti lineari, le sorgenti diffuse.



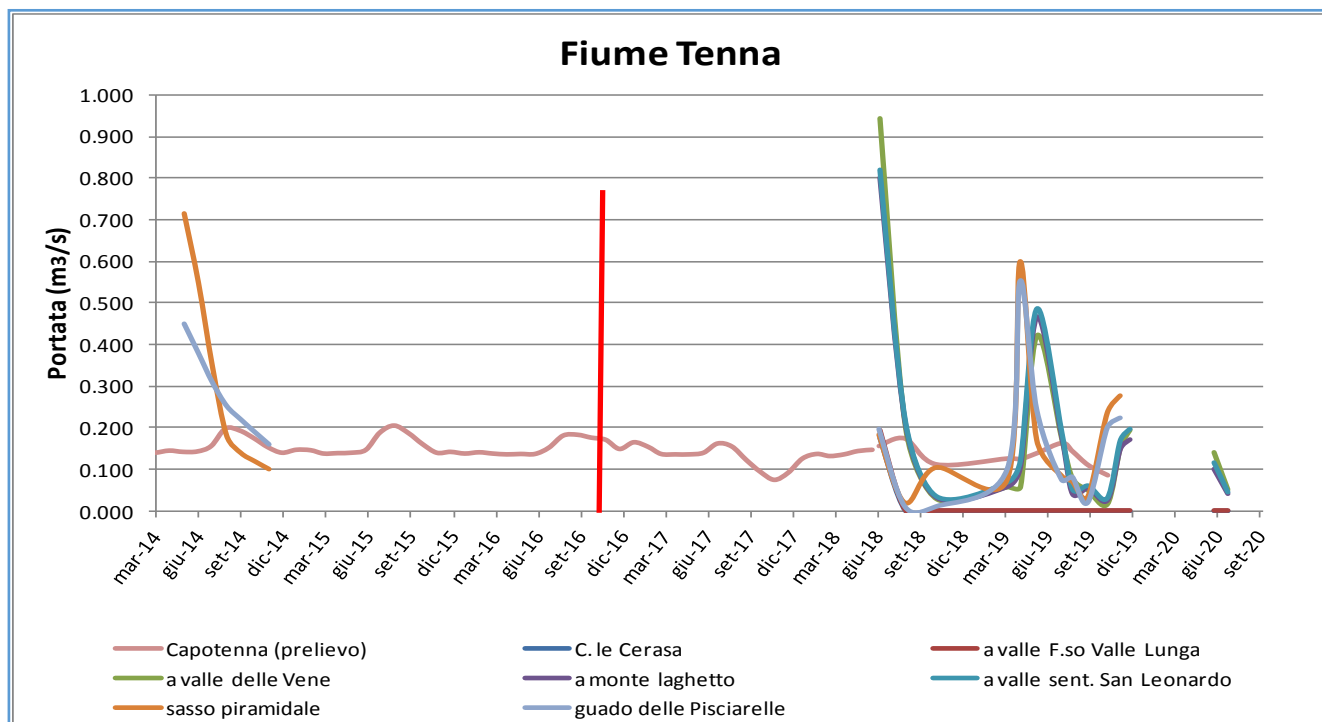


Figura 26: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo (maggio-novembre 2014, pre-sisma; giugno 2018-luglio 2020, post-sisma) nei punti di controllo dell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Tenna. È riportato anche l'idrogramma dei prelievi della Sorgente Capotenna. La linea rossa verticale rappresenta la data dell'evento sismico del 30/10/2016

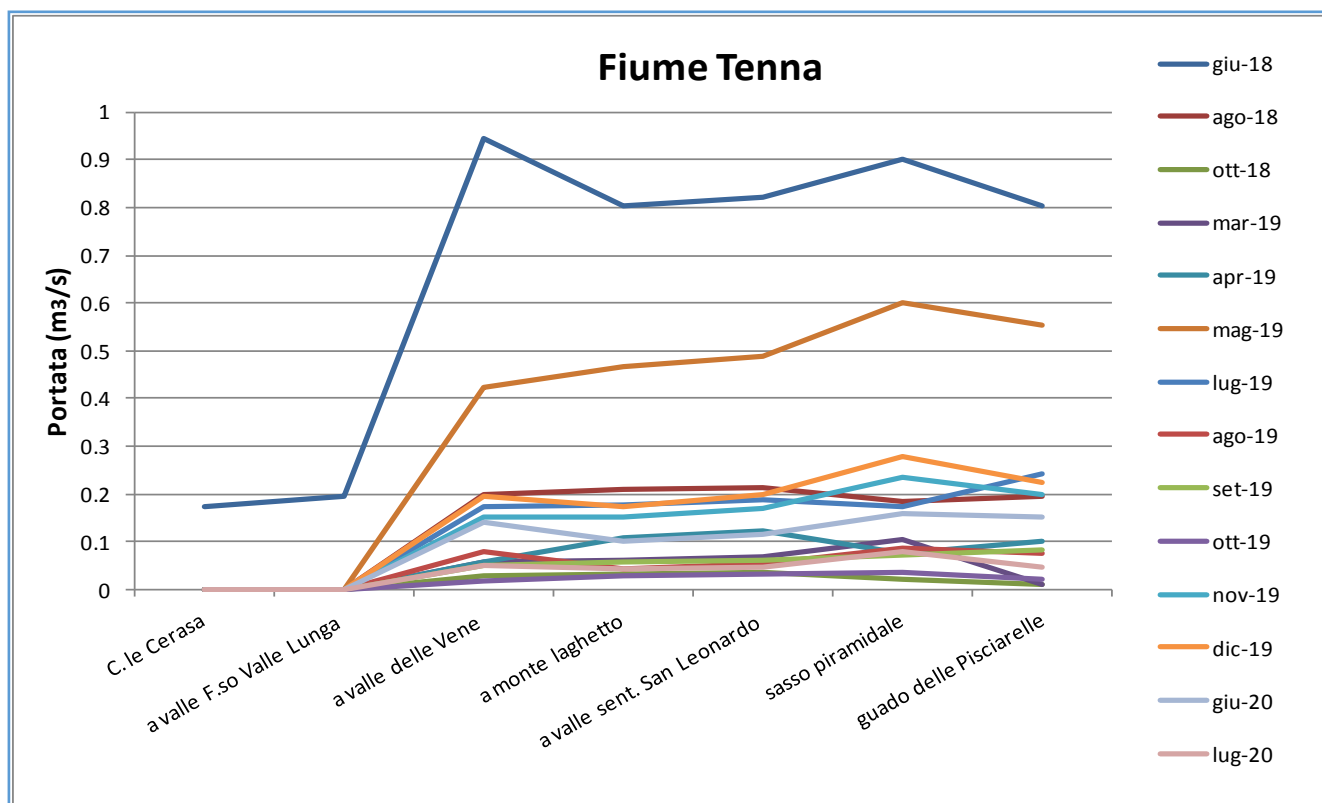


Figura 27: Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo del Fiume Tenna durante le varie campagne di monitoraggio

### 2.2.5. Area del Lago di Pilato

Vista la presenza dell'endemismo del piccolo crostaceo *Chirocephalus marchesonii*, il Lago di Pilato (Fig. 28; Tav. IDRO.4) è stato studiato nel passato principalmente dal punto di vista biologico. Al contrario, i dati idrogeologici sull'area sono scarsi, probabilmente anche perché il sito è situato in quota elevata, è di norma raggiungibile solo dopo un'escursione a piedi e le quantità di risorsa idrica presenti nel bacino del lago sono relativamente limitate. Peraltro, come già accennato in precedenza, l'accesso all'area del lago non è sempre possibile (e non lo è sempre stato anche nel corso del presente studio) a causa del permanere dell'innevamento in quota e della conseguente esposizione al pericolo di valanghe.

Dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica del bacino del lago, dopo la formazione di una valle glaciale con deposizione dei relativi sedimenti morenici ed allo sviluppo di processi carsici con fratture di sprofondamento sul locale substrato carbonatico, il principale agente morfogenico è verosimilmente stato il crioclastismo e subordinatamente l'erosione meteorica, come testimoniano la diffusa deposizione di detriti a scaglie di dimensioni grossolane nell'intorno dell'area lacustre e l'evoluzione del profilo della valle dalla forma ad U, caratteristica di una valle glaciale, verso quello fluviale con forma a V nei fondovalle.

Nell'area del Lago di Pilato è stata verificata l'assenza di evidenze geomorfologiche di rotture legate alla sequenza sismica del 2016-2017, che al contrario sono evidenti lungo la scarpata esterna del versante occidentale del Monte Vettore (Testa et al. 2019). Solo la presenza di alcuni massi franati per crollo dalle coste di Monte Redentore-Scoglio del Lago è in evidente relazione col sisma. Pertanto, la situazione di crisi dei livelli del lago nelle estati del 2017 e 2019, è imputabile principalmente a condizioni meteo-climatiche critiche, instauratesi nel corso dell'inverno-primavera del 2016-2017, 2018-2019 e 2019-2020 (temperature relativamente elevate e precipitazioni ridotte, soprattutto quelle nevose).

Per avere indicazione sul possibile comportamento anomalo dell'abbassamento della quota del livello del lago nel tempo negli ultimi anni (durante le recenti estati del 2017 e nel 2019 il lago si era prosciugato), è stato ricostruito l'andamento dei livelli riferiti agli anni 2010, 2012 e 2014-2019, considerando sia i dati investigati direttamente sul terreno durante il presente studio sia quelli ottenuti dalla presa visione della documentazione fotografica del lago raccolta in letteratura o da vari siti web. Sebbene tale operazione abbia indubbiamente comportato un certo livello di approssimazione, i dati ottenuti riguardo alla pendenza delle rette di regressione dei suddetti abbassamenti nel tempo (Fig. 29 e Tab. 11), che nella fattispecie rappresentano delle velocità di svuotamento del lago e dei bacini nei quali il lago si separa nel tempo, hanno permesso di evidenziare che nel pre-sisma lo svuotamento del lago avveniva più lentamente (media pendenza -0.044; min -0.054 e max -0.032) rispetto al dopo sisma (media pendenza -0.070; min -0.081 e max -0.057). E' quindi possibile che lo scuotimento sismico avvenuto nei depositi superficiali e/o nel substrato possa avere indotto delle variazioni di permeabilità e quindi una relativamente maggiore velocità d'infiltrazione delle acque dal lago verso il sottosuolo. Questo potrebbe essere il motivo per cui il lago si è prosciugato nella stagione estiva sia nel 2017 sia nel 2019. La mancata variazione dei tempi di svuotamento durante l'estate 2016 è verosimilmente dovuta alla circostanza che è stato l'evento sismico di fine ottobre 2016 a dare inizio di fatto a questa nuova situazione. Di conseguenza, sarà possibile aspettarsi un più frequente accadimento di simili crisi idriche nel lago nel breve-medio periodo e sarebbe opportuno che si continui a controllare periodicamente i livelli idrici del lago nei prossimi anni.

Per il resto, sia le osservazioni che si riferiscono al presente studio (Fig. 30) sia quanto rilevato da informazioni ed immagini del luogo fornite da appassionati di montagna hanno evidenziato che,

negli anni con una sufficiente ricarica meteorica in autunno-inverno (come nel 2018), il livello del lago, dai suoi valori di quota di massimo invaso di circa 1952-1951 m s.l.m. del periodo maggio-giugno (completamento dello scioglimento delle nevi), scende piuttosto rapidamente fino alla quota di circa 1950 m s.l.m., corrispondente a quella della Fonte del Lago, sorgente di trabocco che funge da sfioro. Quindi lo svuotamento prosegue più lentamente per effetto dell'evaporazione e dell'infiltrazione attraverso i terreni di letto dei due bacini, ormai separati, fino ai livelli minimi osservati (a novembre 2018, quota di circa 1943 s.l.m.) o all'essiccazione del lago avvenuta a settembre 2019 (ed anche ad agosto 2017, anno particolarmente siccitoso). Il recapito delle suddette acque d'infiltrazione è verosimilmente l'Acquifero calcareo basale, presente a livelli di quota meno elevati.

Il meccanismo di riempimento del bacino lacustre è principalmente governato dallo scioglimento delle nevi e secondariamente dall'apporto delle piogge, in accordo con il basso valore di conducibilità elettrica specifica delle sue acque (da 60-127  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; il valore minimo è stato misurato durante un sopralluogo a inizio giugno 2017) anche rispetto alle acque degli acquiferi carbonatici dell'area dei Sibillini (180-640  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; e.g. Boni et al., 1986). Per quanto attiene all'acqua della Fonte del Lago, anch'essa ha valori di CE relativamente bassi (133  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), a conferma della provenienza delle sue acque dal bacino del lago, nei cui confronti ha appunto funzione di sorgente temporanea di sfioro. È stato possibile eseguire una sola misura delle caratteristiche idrochimiche delle sue acque (oltre alla suddetta CE, la T è stata di 4 °C ed il pH pari a 8.3) in luglio 2018, mese in cui ha smesso di emettere acqua in quell'anno, poiché nei sopralluoghi di giugno 2019 e 2020 la sorgente aveva già smesso (o mai intrapreso) di erogare acqua. Riguardo alle acque del lago, i valori di temperatura (mediamente 12-13 °C) e di pH (mediamente 8.8; acque tra mediamente e discretamente alcaline) sono relativamente elevati, in accordo con il fatto che si tratta di acque in sostanza stagnanti e poco ossigenate.

L'analisi meteo-climatica ha fatto emergere che gli anni di crisi idrica del lago non corrispondono esattamente ai periodi di minori precipitazioni cumulate nell'anno (P cumulate del 2019 sono state stimate intorno a 1773 mm). Questo dato, apparentemente contraddittorio, è probabilmente collegato ai complessi meccanismi di trattenimento dell'acqua nel manto nevoso quali le perdite d'acqua nell'atmosfera per sublimazione, il periodo, la velocità e la quantità dello scioglimento del manto nevoso: è possibile, per esempio, che la persistenza della neve durante la stagione primaverile (dovuta principalmente a temperature stagionali non troppo elevate rispetto alla media ed all'accumulo della neve caduta nei mesi invernali) assicurino una costante ed efficace ricarica del lago, una minore influenza dell'evaporazione dalla superficie del lago e quindi una adeguata riserva di acqua che, nel tempo, drencherà attraverso il letto del lago stesso.

Discutendo questi dati anche in considerazione delle temperature dell'aria e delle precipitazioni locali, è stata eseguita una prima stima dell'effetto dell'evaporazione (e.g. Visentini 1937; Dragoni e Valigi 1994) e dell'infiltrazione attraverso i terreni di letto sulla diminuzione nel tempo della quantità di acqua nel bacino lacustre per l'anno 2018 e 2019. In particolare, il metodo che ha portato ai valori più attendibili della somma dell'evaporazione media mensile dalla superficie del lago (E; circa 640-710 mm totali nel periodo 2018-2019) è stato quello di Visentini (1937). Prendendo quindi in considerazione alcuni parametri meteo-climatici del 2018 e 2019, tra cui le precipitazioni (P; circa 1700-1800 mm/a), l'evapotraspirazione reale (ET; metodo di Turc, circa 450-480 mm/a, per circa 6-7°C di temperatura media annua), un ruscellamento stimato in circa il 5% della precipitazione media annua (R; circa 85-90 mm/a, in considerazione del prevalente tipo litologico calcareo nell'intorno del bacino del lago), è stata stimata, attraverso la formula di

riferimento I=P-R-ET-E, l'aliquota di infiltrazione ( $I$ ; circa 525-510 mm/a) attraverso i sedimenti detritici e glaciali che sostengono il lago, resasi disponibile annualmente nel bacino del lago.

Due rilievi fotogrammetrici sono stati eseguiti (giugno 2017 ed ottobre 2019) con un drone Phantom 4. I rilievi, effettuati secondo le specifiche note in letteratura (e.g. Niedzielski, 2019), hanno interessato un'area di oltre 4 ettari ad una altezza di volo rispetto alla quota del bacino del lago di 70 m. L'elaborazione delle immagini ha permesso di ottenere, come primo elaborato, un modello 3D ad alta risoluzione, restituito in colori reali (Fig. 31) e di stimare in particolare le profondità batimetriche del lago e dei due bacini separati (Fig. 32). Quindi, le curve batimetriche del bacino lacustre ottenute dai suddetti voli del drone, sono state opportunamente integrate con le curve di livello della Carta Tecnica Regionale delle Marche a scala 1:10.000 e con le quote desunte dalla variazione nel tempo dei contorni del lago, rilevati tramite GPS. Sono stati in definitiva ottenuti dei valori di riferimento per le variazioni nel tempo delle quote dei livelli e dei volumi dell'acqua nel bacino del lago in occasione dei rilievi condotti durante il presente studio negli anni 2018 e 2019. Il passaggio successivo è stato quello di prendere per riferimento i dati della superficie bagnata del lago ed i suoi volumi idrici stimati alle date relative ai nostri rilievi, per calcolare la permeabilità dei terreni di fondo del lago tramite la formula  $K_n = \Delta V_n / (A_n \cdot t_n)$  (dove  $n$  è il periodo di riferimento tra due rilievi successivi,  $K$  è la permeabilità in m/s,  $V$  il volume in  $m^3$ ,  $A$  l'area della superficie dello specchio d'acqua in  $m^2$ ,  $t$  il tempo di riferimento in s). Sono stati così ottenuti valori di conducibilità idraulica senz'altro attendibili dell'ordine dei  $10^{-6} \div 10^{-7}$  m/s, riferibili all'insieme dei sedimenti detritici e glaciali che sostengono il lago.

Si evidenzia, infine, che la Fonte Matta, riportata sulle carte topografiche lungo la Valle del Lago di Pilato a quota circa 1550 m s.l.m. (TAV. IDRO.4) e comunemente definita come sorgente carsica intermittente, non è stata mai osservata emettere acqua durante i sopralluoghi di questo studio.

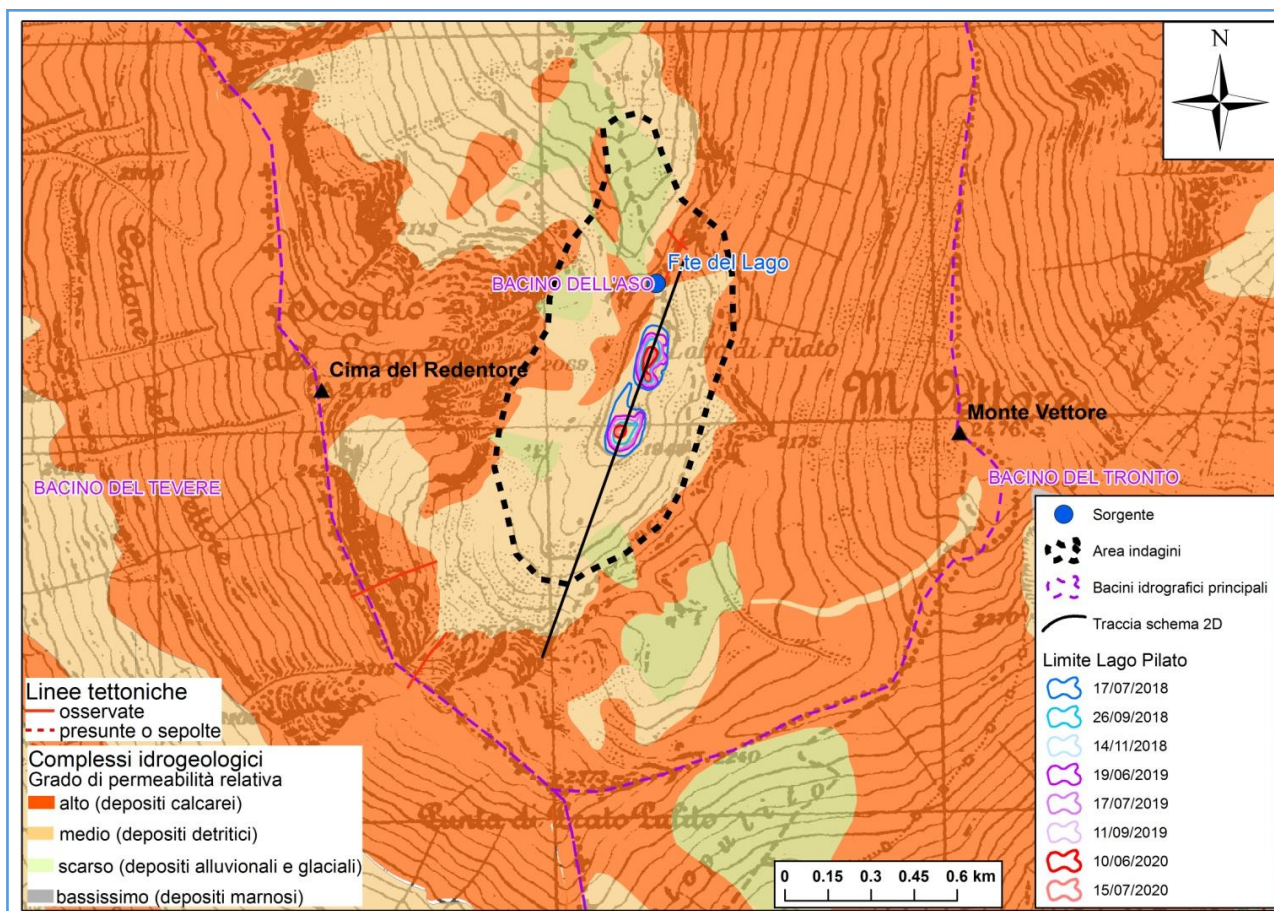


Figura 28: Schema idrogeologico con l'ubicazione dei punti di controllo e dei limiti del lago nell'area di indagine del Lago di Pilato

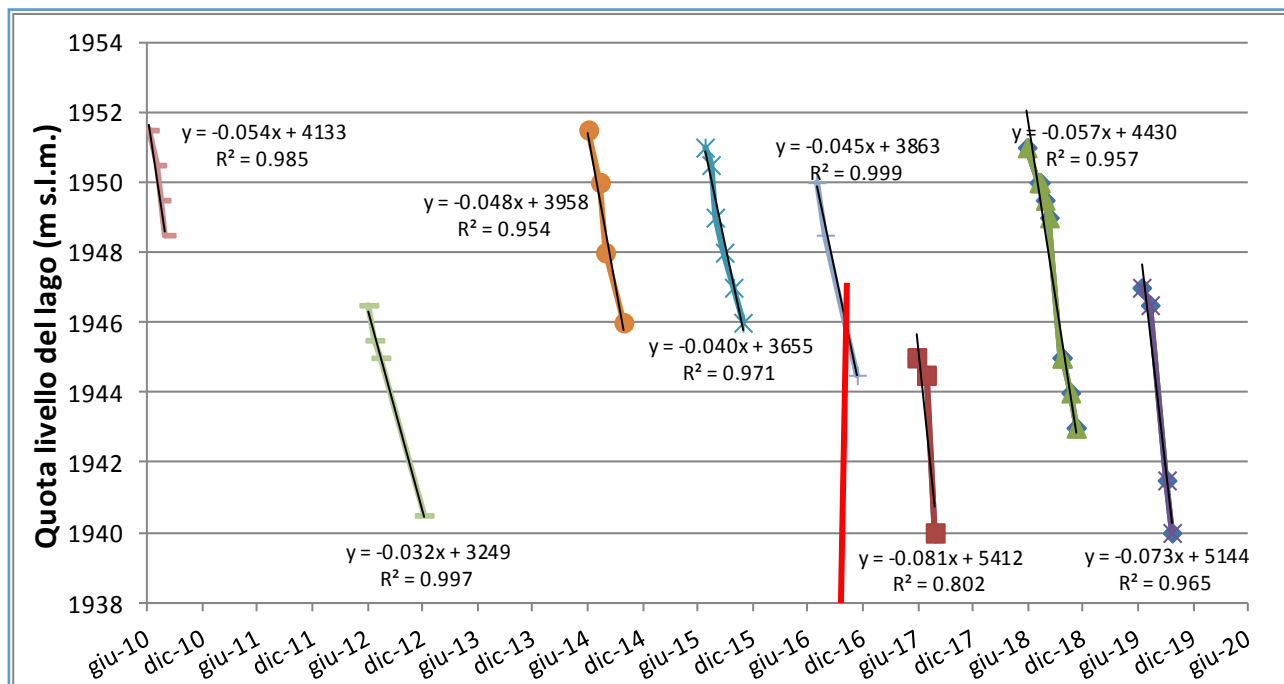
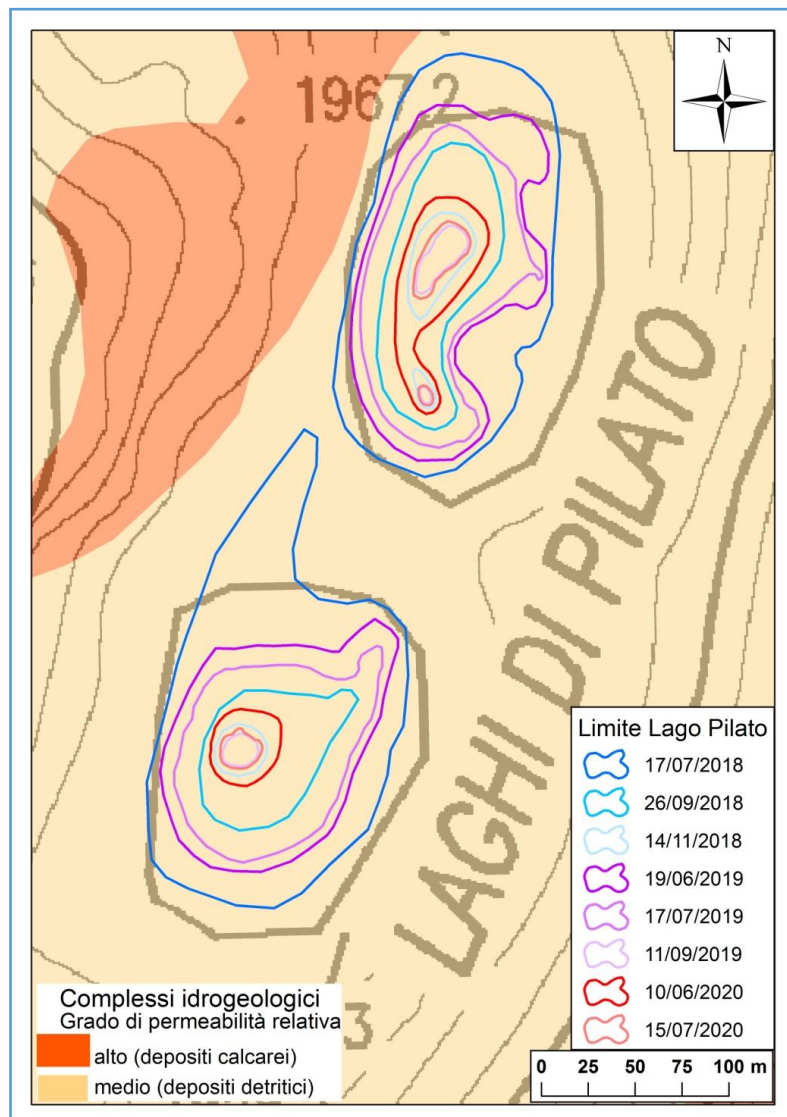


Figura 29: Abbassamento dei livelli del lago nel tempo relativamente agli anni 2010, 2012 e 2014-2019. Sono riportate le equazioni delle rette di regressione delle singole serie annuali. La quota di valore inferiore a circa 1947 m s.l.m. del livello del lago, in riferimento a maggio-giugno dell'anno in osservazione, è un valore di allerta per la probabile essiccazione del lago. La linea rossa verticale rappresenta la data dell'evento sismico del 30/10/2016

**Tab. 11 - Analisi dei dati della pendenza della retta di regressione dell'abbassamento dei livelli del lago nel tempo (vedi Fig. 29)**

Anno	Pendenza	Periodo 2010-2016		
2010	-0.054	media	min	max
2012	-0.032	-0.044	-0.054	-0.032
2014	-0.048			
2015	-0.040			
2016	-0.045	Periodo 2017-2019		
2017	-0.081	media	min	max
2018	-0.057	-0.070	-0.081	-0.057
2019	-0.073			



**Figura 30: Schema idrogeologico con il contorno dei limiti del lago rilevati durante le indagini svolte nell'area del Lago di Pilato**

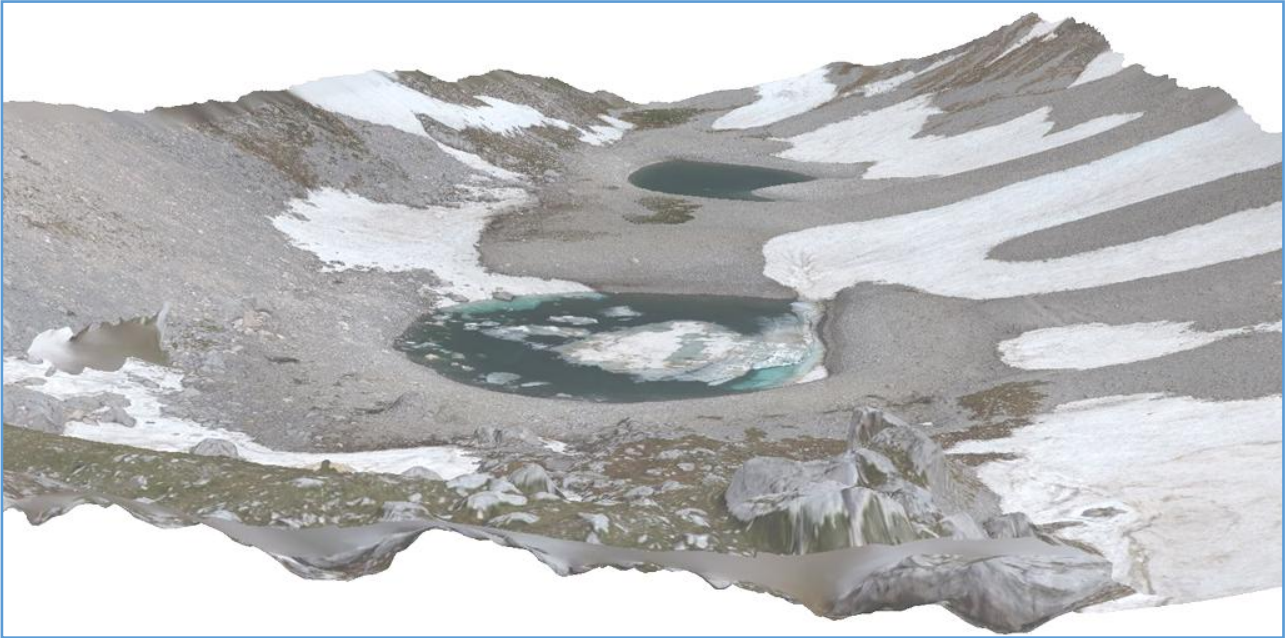


Figura 31: Modello 3D ad alta risoluzione, restituito in colori reali, ottenuto dalla ricostruzione delle immagini aerofotogrammetriche riprese da drone nell'area del Lago di Pilato (vista da sud a nord; il campo della figura è circa 100 m in larghezza x 400 m in profondità prospettica; rilievo di inizio giugno 2017)

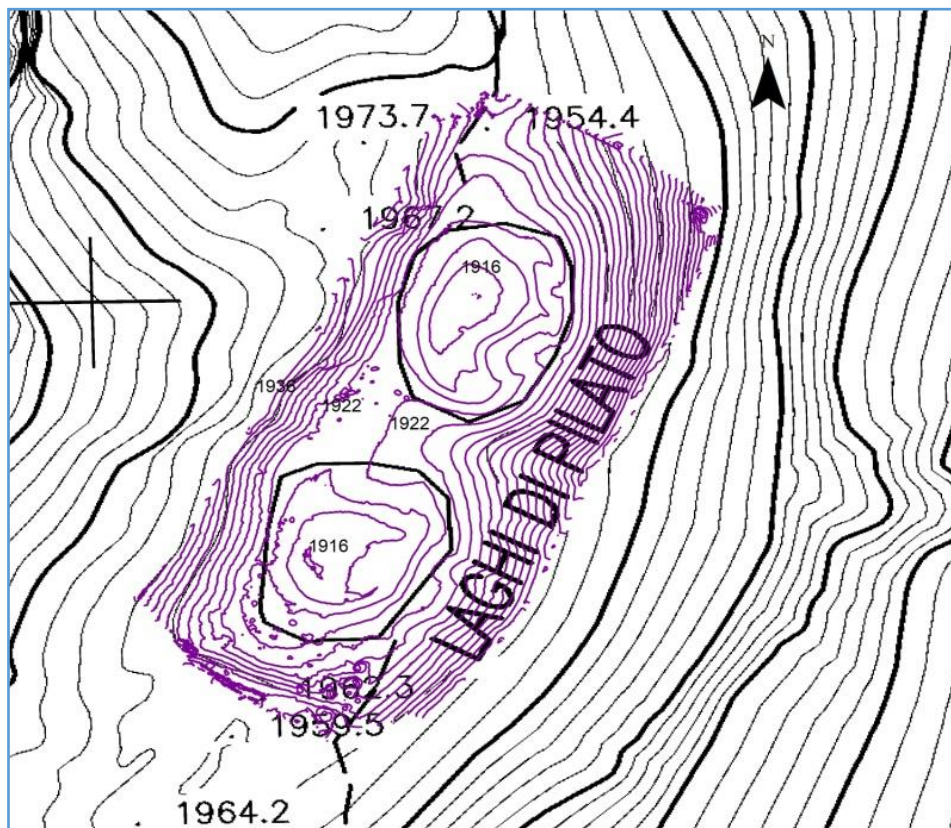


Figura 32: Ricostruzione della batimetria del bacino lacustre del Lago di Pilato interpretata dalle immagini da drone

### *Indagini geofisiche nell'area del Lago di Pilato*

In corrispondenza del sito dei Laghi di Pilato sono stati eseguiti dei rilievi radar in data 12 settembre 2019 con radar bistatico MALA RTA 50MHz, specificatamente progettato per rilievi in contesti geomorfologici caratterizzati da topografia accidentata. L'apparecchiatura misura 9,25 m ed è dotata di antenne posizionate ed orientate in linea, ad una distanza di 4 m una dall'altra. Il sistema è connesso ad un PC dotato di software per gestione dei parametri del rilievo che consente la visualizzazione del radargramma durante la fase di acquisizione. La georeferenziazione delle linee radar è avvenuta mediante utilizzo di GPS palmare; lungo ogni linea radar (X-direction) sono state acquisite tracce radar equispaziate di 20 cm l'una dall'altra (5 tracce/metro) ognuna delle quali come risultato di 8 stack/campione, utilizzando una frequenza di campionamento  $F_r > 500\text{MHz}$ , superiore a 10 volte la frequenza centrale di banda del sistema radar. Nel complesso sono stati acquisiti dati radar per oltre 1235 m di percorso distribuiti su 4 profili aventi le caratteristiche riportate di seguito ed ubicati come in figura 33.

Linea	Direz. rilievo	Lunghezza (m)	Tracce (n.)	Campioni (n.)
Linea 198	N-S	444.4	2206	582
Linea 199	O-E	198.5	880	441
Linea 200	SSE-ONO	457.7	2087	472
Linea 201	SO-NE	161.1	807	443

Si tenga conto che l'interpretazione della Linea 200, acquisita lungo il versante orientale al margine della valle, non è stata riportata in questa relazione, perché non aggiunge nulla di rilevante ai risultati ottenuti tramite le indagini effettuate lungo le altre linee GPR.

I dati radar sono stati processati mediante software Reflex-Win 7.5.9 secondo gli step di seguito descritti:

- correzione temporale all'effettivo tempo  $t_0$  sulla base dei tempi di arrivo dell'onda diretta e della distanza tra le antenne (velocità onde radar in aria: 0.3 m/ns);
- rimozione rumore di *background*;
- recupero delle ampiezze di riflessione mediante applicazione di funzione di guadagno nel dominio del tempo (Y gain);
- utilizzo di filtro passabanda nel range 10 MHz - 75 MHz per la rimozione delle frequenze indesiderate;
- conversione tempi-profondità per velocità di propagazione dell'onda EM pari a circa 0.12 m/ns.

Il radargramma processato ed interpretato mostrato in figura 34 si riferisce alla Linea 198, realizzata in direzione approssimativamente N-S in corrispondenza dell'asse vallivo. Il segnale radar presenta profondità di penetrazione notevolmente variabile lungo la sezione, con un massimo in corrispondenza del settore intermedio, dove la finestra utile di segnale supera i 650 ns (Fig. 35). La maggiore penetrazione radar si ottiene in corrispondenza delle due depressioni

occupate dagli specchi lacustri, maggiore per il Lago Nord e leggermente minore per quello Sud. La brusca diminuzione delle ampiezze di riflessione radar in profondità lungo il profilo è stata messa in relazione con il massimo spessore di depositi detritici lungo la linea. Lungo la sezione radar è possibile osservare un numero elevato di riflettori ad alto angolo di immersione e inclinazione apparente verso le due concavità lacuali. Le riflessioni sono riconducibili a superfici di pseudo-stratificazione generate da accumulo di singoli flussi detritici provenienti dai due versanti opposti. A questo proposito, all'incirca a 300 m da inizio profilo, l'assetto sepolto dei riflettori entro i primi 200ns evidenzia la presenza di una sorta di spartiacque, probabilmente in corrispondenza di un alto strutturale, tra i due piccoli sotto-bacini occupati da detrito. Il riflettore più pronunciato lungo tutta la sezione è senza dubbio quello costituito dalla superficie di falda idrica (linea di colore azzurro in Fig. 35) che, in base alla correzione topografica effettuata, risulterebbe posizionata a circa 1942 m s.l.m. con lievi oscillazioni. Le progressive X sono crescenti da nord verso sud.

La stima dello spessore massimo dei depositi detritici (gravel layer) all'interno della valle, lungo il profilo 2D al di sotto della linea 198, viene riportata nell'immagine in figura 36.

La linea 199 risulta ubicata in posizione intermedia tra i due laghi; il segnale radar presenta una penetrazione sostanzialmente costante di circa 400ns lungo tutta la sezione. Le riflessioni più marcate individuate lungo questo profilo (Fig. 37a) provengono da sorgenti lineari con angolo di immersione variabile, riconducibili anche in questo caso a pseudo-stratificazioni da accumulo di flussi detritici provenienti dai due versanti opposti. Il livello di falda viene identificato lungo questa sezione come una riflessione lineare sub-orizzontale entro i primi 70 ns di profilo. Sulla base delle geometrie sepolte delle principali riflessioni radar individuate è stato ipotizzato il modello di sottosuolo presentato in figura 37b. La riflessione dovuta alla presenza di falda idrica è posta a circa 1941 metri s.l.m. lungo questa sezione in base alla correzione topografica da DTM.

La linea 201 è stata realizzata in corrispondenza del margine settentrionale, nel tentativo di ottenere informazioni sull'assetto sepolto dei depositi e del bedrock roccioso nell'area immediatamente a monte della sorgente Fonte del Lago (posta a quota di poco superiore a 1950 m. s.l.m.). La linea processata è mostrata in figura 38 (correzione topografica assente): è possibile apprezzare la notevole differenza di penetrazione del segnale radar per un terzo circa della sua lunghezza (tra i 500 e 700ns) rispetto alla penetrazione ottenuta nei restanti 2/3 del profilo in direzione est.

Anche questa sezione è stata interpretata, analogamente a quanto fatto per le precedenti, nel tentativo di vincolare gli spessori dei depositi detritici superficiali e di identificare riflessioni lineari riconducibili alla superficie di falda idrica. Quest'ultima non è individuabile lungo la sezione, pertanto la sezione è stata utilizzata per porre un vincolo alla coltre di depositi detritici in questo settore. Un ulteriore vincolo profondo, in termini di probabile contatto laterale tra unità a differente litologia, è stato ipotizzato per giustificare le notevoli differenze di comportamento al passaggio delle onde EM (Fig. 39).

Le informazioni derivate grazie all'applicazione della metodologia radar sono state utilizzate per un'analisi congiunta con i dati derivati dalle 2 indagini sismiche in onde superficiali effettuate in precedenza e già presentate nel primo rapporto di dicembre 2018 (SW1 e SW2 in Fig. 33). L'assetto 2D messo in luce grazie alla metodologia GPR limita fortemente l'interpretazione dei modelli di velocità (1D) e la relativa attribuzione delle velocità ai differenti litotipi, tuttavia è possibile apprezzare una generale congruenza tra la posizione in profondità delle riflessioni radar e

quella degli incrementi di velocità delle onde di taglio, come meglio rappresentato di seguito in figura 40.

In termini complessivi la metodologia radar con utilizzo di antenna RTA a bassa frequenza (50 Mhz) è risultata idonea a fornire elementi utili per la definizione dell'assetto superficiale e profondo dell'area di studio. La conducibilità dell'acqua presente nel sottosuolo non ha limitato la penetrazione del segnale, tanto che la finestra di segnale utile è risultata variabile tra 250 e oltre 400ns; al contrario l'assorbimento del segnale radar suggerisce la presenza a profondità anche notevoli (alcune decine di metri) di terreni con proprietà maggiormente conduttive rispetto al detrito superficiale. Si noti come entro i primi 60 metri lineari del rilievo radar 201 si è ottenuta la penetrazione di segnale più elevata (oltre 700 ns) dovuta alla presenza di depositi detritici poggianti su formazione litoide (entrambe poco o per nulla conduttivi). Lateralmente la facies radar è significativamente differente, in accordo con la presenza in questo settore di un elemento tettonico (faglia diretta orientata all'incirca NNE-SSW) segnalato sulla Carta Geologica Regionale 1:10.000 della Regione Marche (Sez. 325160 Monte Vettore) e mascherato dalla coltre superficiale dei detriti.



Figura 33: Ubicazione delle linee radar all'interno dell'area di studio (in celeste il perimetro degli specchi d'acqua alla data dell'11/09/2019; in rosso le indagini sismiche in onde superficiali SW1 e SW2 effettuate in precedenza)

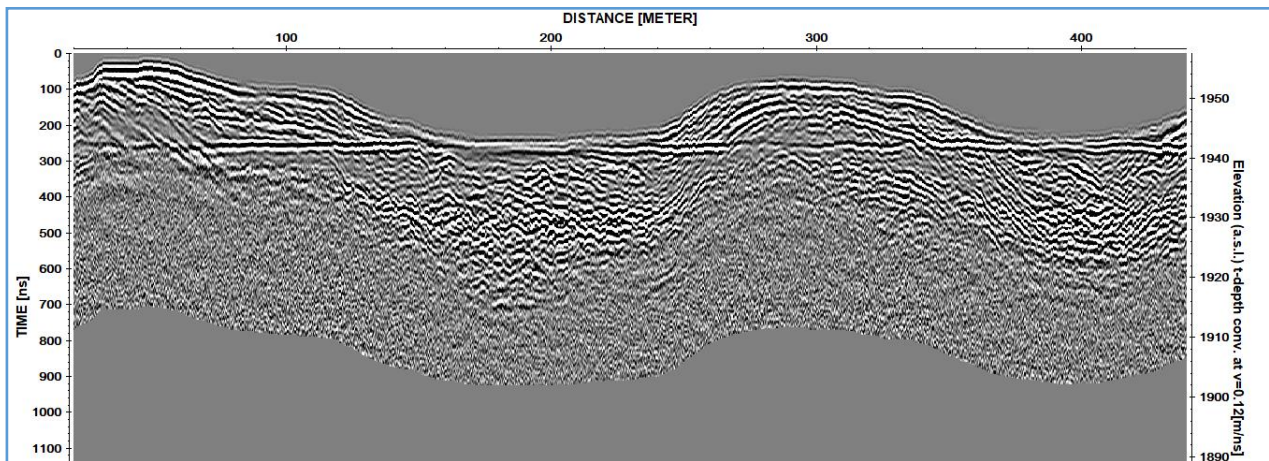


Figura 34: Sezione radar 198 processata con applicazione di correzione topografica

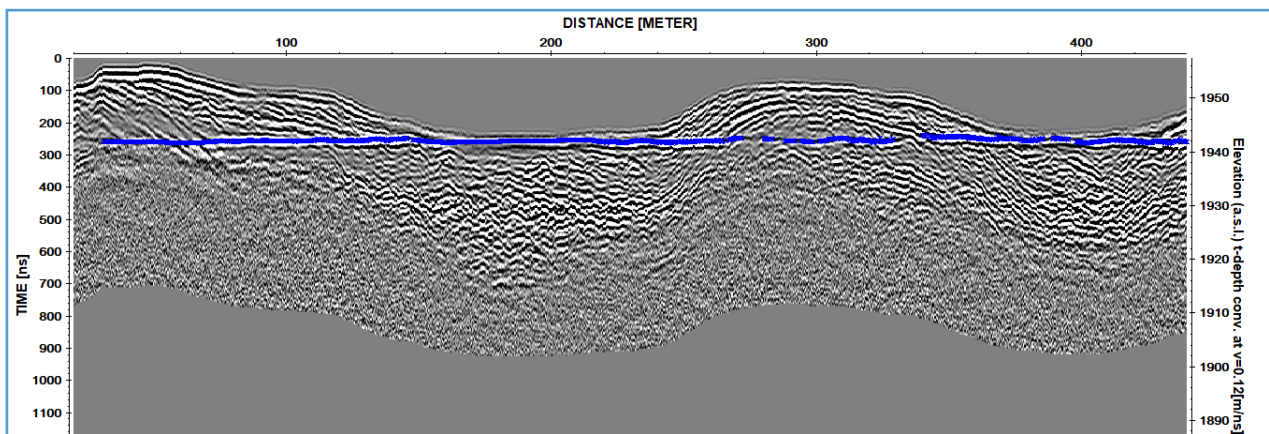


Figura 35: Sezione radar 198 con interpretazione del livello di falda acquifera (in azzurro)

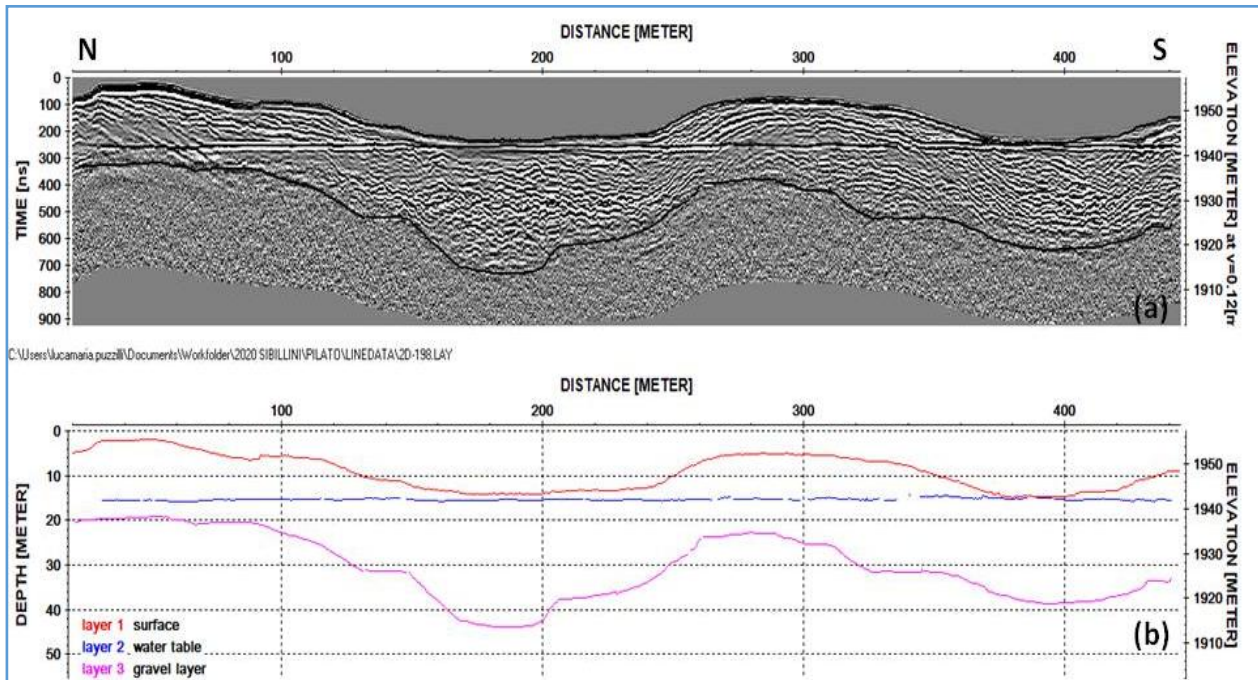


Figura 36: Sezione radar 198 processata (a) e relativa interpretazione delle riflessioni principali (b). Progressive X crescenti da N verso S

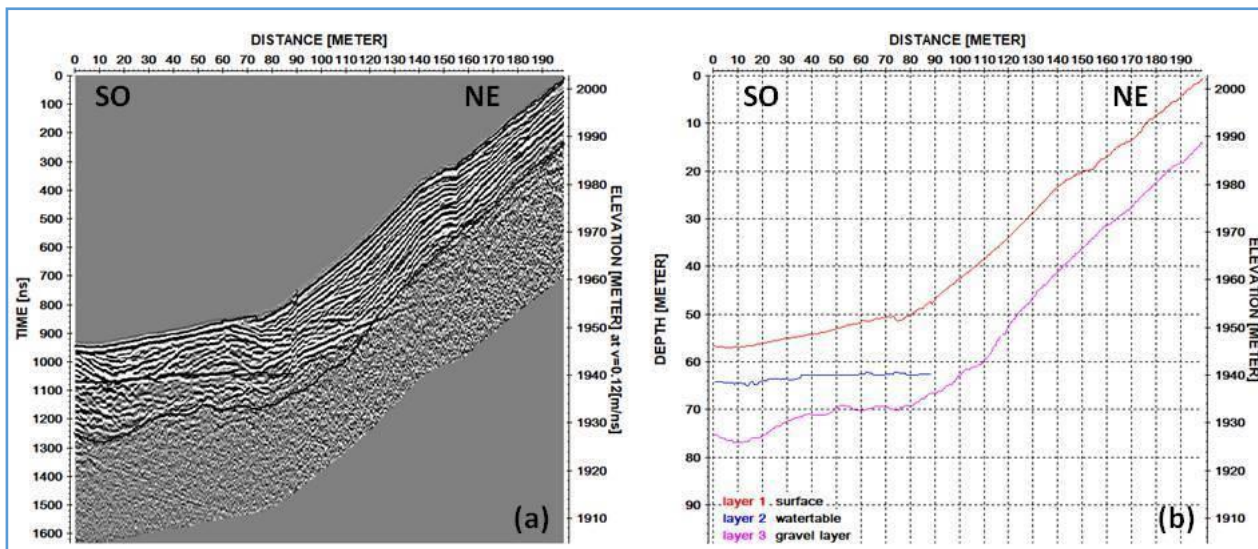


Figura 37: Sezione radar 199 processata (a) e interpretazione delle riflessioni principali (b). Progressive X crescenti da O verso E

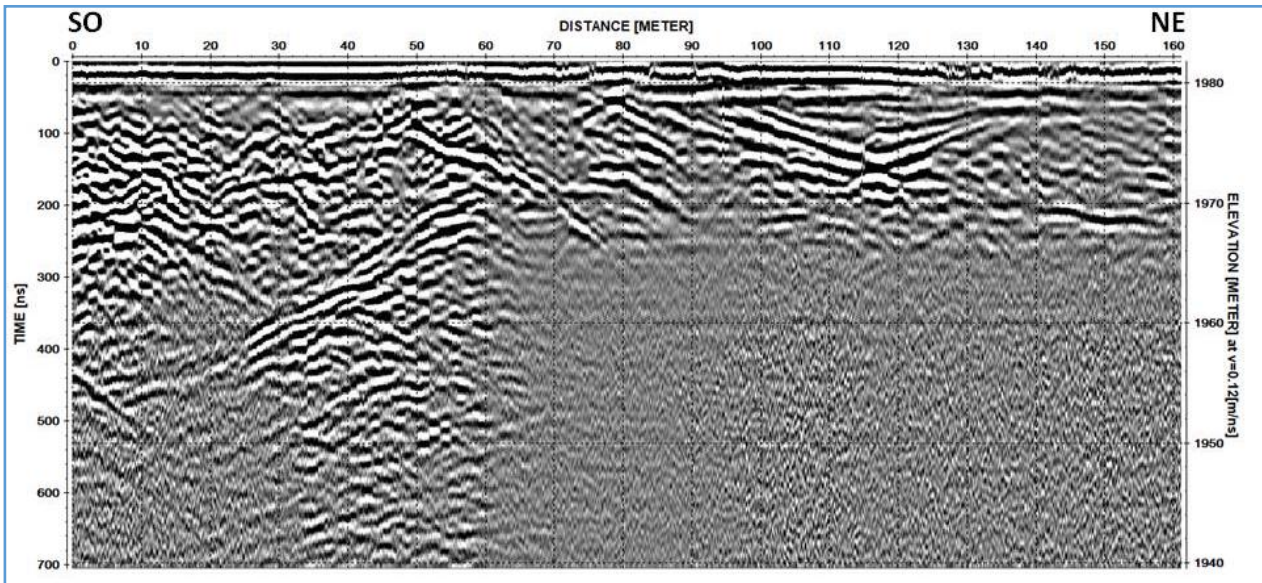


Figura 38: Sezione radar 201 processata, dalla quale si evince una marcata differenza di comportamento dei terreni al passaggio delle onde radar lungo il profilo (progr. X crescenti da SO verso NE). E' evidente il notevole assorbimento di energia radar a partire dai 65-70m di progressiva che limita la penetrazione del segnale a circa 250ns

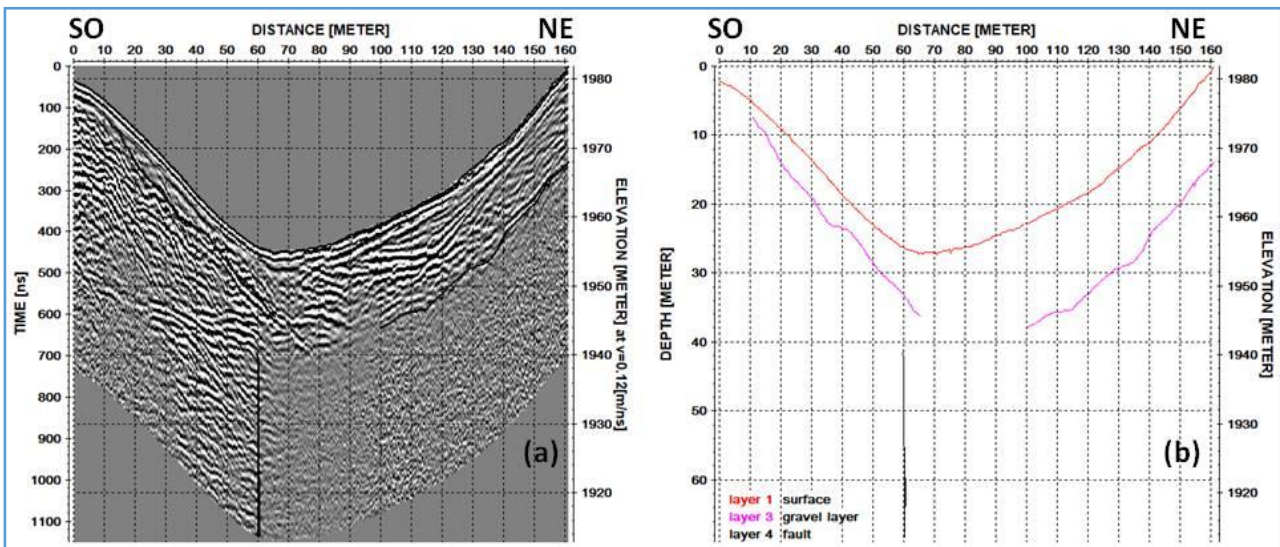


Figura 39: Sezione radar 201 processata ed interpretata in termini di possibile presenza di livello di falda e spessore dei depositi detritici. Il probabile contatto laterale tra differenti litologie è stato posto intorno alla progressiva 60m da inizio profilo (progr. X crescenti da SO verso NE)

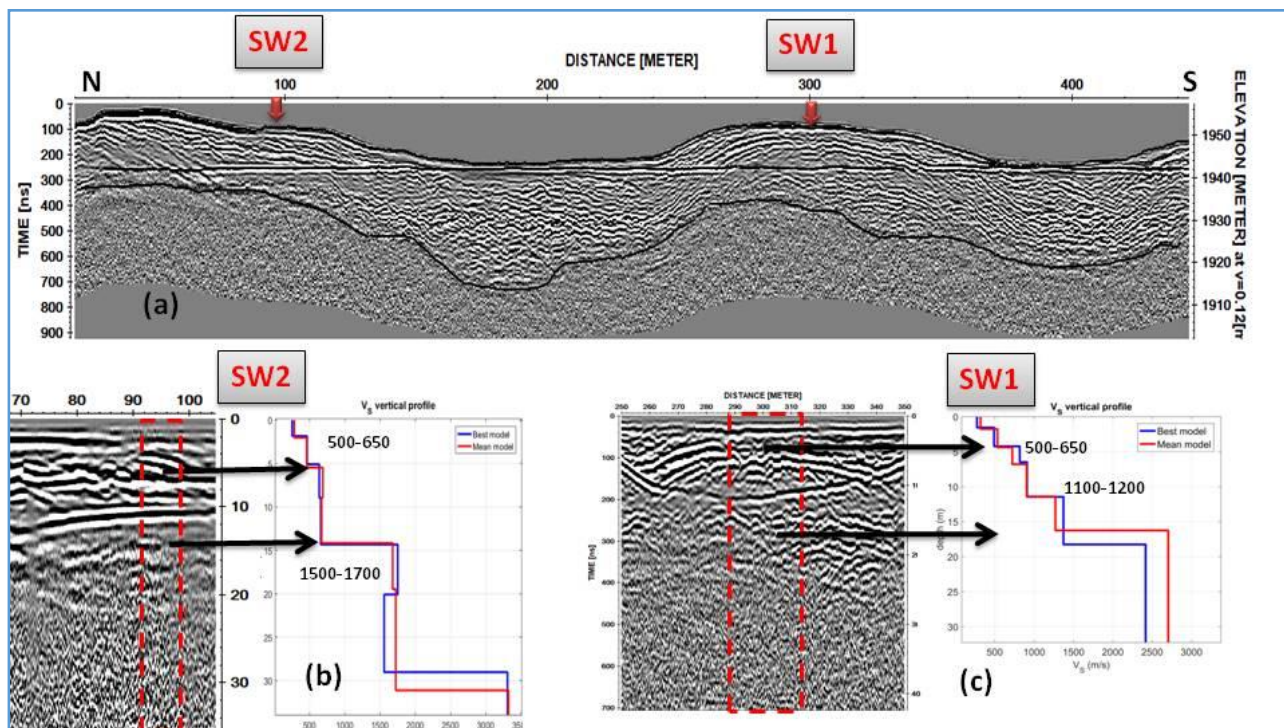


Figura 40: Sezione radar 198 processata ed interpretata in termini di spessore massimo di detriti (a). Analisi congiunta dati radar e sismici per i due siti SW1 (b) e SW2 (c)

### *Il modello idrogeologico concettuale del Lago di Pilato*

Tutte le suddette considerazioni hanno permesso di elaborare in via preliminare un modello idrogeologico concettuale dell'area del Lago di Pilato (Fig. 41). Il progressivo svuotamento del lago avviene dapprima piuttosto velocemente per l'azione di sfioro di acque attraverso la Fonte del Lago, quindi prosegue per evaporazione dalla superficie del lago e per infiltrazione e drenaggio attraverso, rispettivamente, i depositi detritici (media permeabilità relativa) e glaciali (scarsa permeabilità relativa) verso l'Acquifero calcareo basale saturato a quote più basse. Il ciclo di riempimento e di abbassamento di livello nel lago avviene con una successione annuale ed è caratterizzato dalla scomposizione del lago in sub-bacini col procedere del suo svuotamento, fino alla scomparsa del lago nei periodi in cui sussistono le suddette condizioni meteo-climatiche critiche.

Il livello di allerta di una possibile essiccazione del lago è quindi quello relativo ad una quota del pelo libero dell'acqua del lago inferiore a circa 1947 m s.l.m. (ossia circa 6-7 metri di battente massimo) con riferimento al periodo di maggio-giugno dell'anno in osservazione (Fig. 29 e Tav. IDRO.4). Quindi, nel corrente anno 2020, essendo stata rilevata a giugno una quota del livello del lago tra 1943 e 1944 m s.l.m., ci si dovrà di nuovo aspettare l'essiccazione del lago.

La carta idrogeologica schematica elaborata (Tav. IDRO.4) evidenzia quanto sopra riportato. In particolare, sono stati riportati con apposita simbologia i complessi idrogeologici, l'ubicazione dei punti di controllo, la portata e la conducibilità elettrica delle acque sorgive, la variazione nel tempo dei margini dei bacini in cui il lago si è separato.

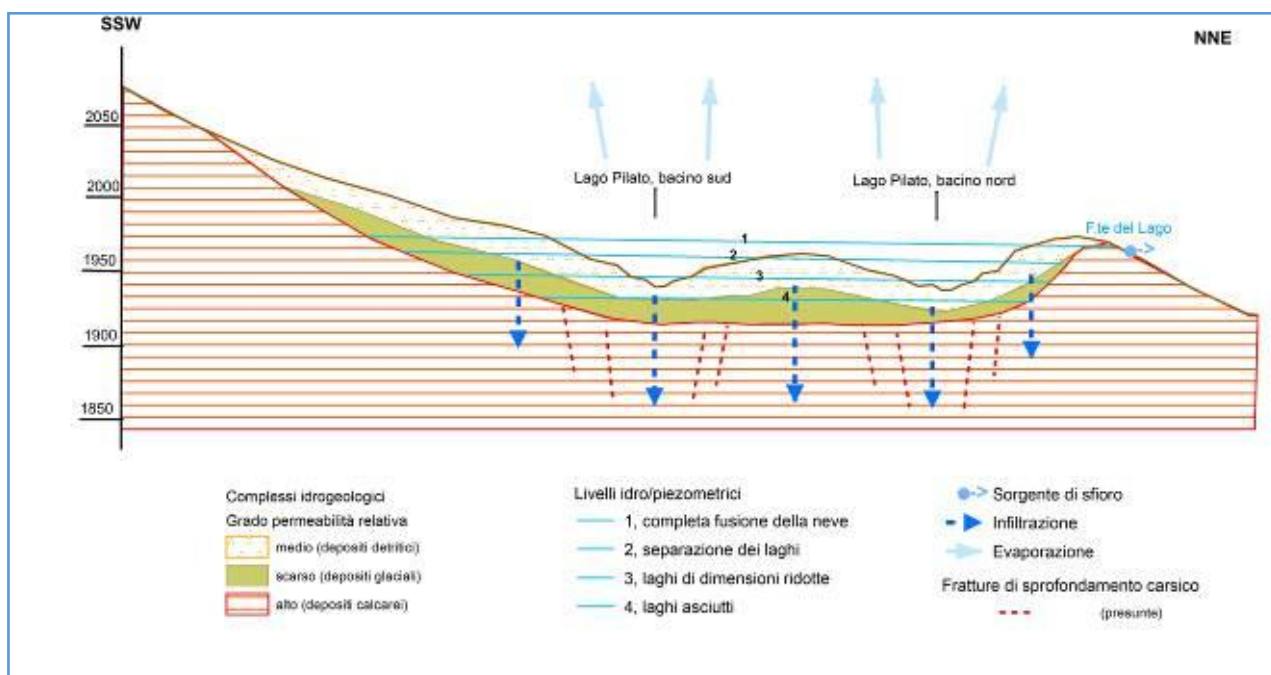


Figura 41: Schema 2D del modello idrogeologico concettuale nell'area di indagine del Lago di Pilato. Per il profilo topografico, la scala orizzontale è la stessa di quella verticale, ma, per una migliore visibilità, gli spessori dei depositi detritici e glaciali (circa 20 m in totale) e le variazioni di livello idro/piezometrico (circa 9 m in totale per le posizioni da 1. a 4.) sono stati sensibilmente esagerati. La posizione della traccia dello schema è riportata in figura 28

### 3. CONCLUSIONI E SUGGERIMENTI RIGUARDO AL MONITORAGGIO IDROGEOLOGICO DELLE AREE DI STUDIO

In questo Report sono stati illustrati i risultati finali delle attività idrogeologiche svolte nell'ambito della Convenzione tra ISPRA e l'Ente Parco Nazionale dei Monti Sibillini finalizzate allo studio delle variazioni occorse a carico della circolazione idrica sotterranea e superficiale in alcune aree del territorio del Parco, verificatesi in seguito agli eventi sismici del Centro Italia nel periodo agosto 2016- marzo 2017. Le aree di studio interessano la sorgente del Torbidone, le risorgive delle Marcite, le sorgenti e l'alto corso del F. Nera, le sorgenti e l'alto corso del F. Tenna ed il Lago di Pilato.

Le misure effettuate con cadenza mensile o bimestrale nei due anni idrologici nel periodo giugno 2018-luglio 2020 rispecchiano la situazione delle fasi di magra 2018 e 2019, delle fasi di morbida (dopo la ricarica inverno-primavera) 2018-2019 e 2019-2020 e l'inizio della fase di magra 2020.

I risultati di tutte le attività di cui sopra hanno permesso di consolidare la conoscenza dello stato della risorsa idrica superficiale e sotterranea degli areali indicati dall'Ente Parco e una prima elaborazione di modelli concettuali della circolazione idrica sotterranea.

In parallelo alle indagini di campagna, si è proceduto alla caratterizzazione meteo-climatica degli areali in studio mediante l'acquisizione e l'analisi delle serie di dati disponibili. Le fonti dei dati sono il Centro Funzionale Multirischi della Protezione Civile della Regione Marche, il Servizio Idrografico della Regione Umbria, l'Ufficio Idrografico e Mareografico della Regione Lazio e gli

Annali Idrologici. In particolare, sono stati acquisiti i dati delle precipitazioni (anche nevose, laddove disponibili) e di temperatura in un arco temporale almeno trentennale, ove possibile; le medie su lungo periodo sono state utilizzate per valutare gli scostamenti dalla media dei singoli anni e le serie temporali sono state analizzate per individuare e valutare eventuali trend. Oltre ad avere acquisito ed elaborato i dati di tutte le stazioni attive nell'intorno degli areali studiati, sono state in particolare prese di riferimento per ciascun sito di interesse le stazioni di Norcia per l'area del Torbidone, Visso e Castelsantangelo sul Nera (Nerea) per l'area dell'alta Valnerina e Montemonaco e Monte Prata per le aree dell'alta valle del Tenna e del Lago di Pilato.

Per quanto concerne i parametri idrochimici (conducibilità elettrica specifica, temperatura e pH) delle acque campionate nei punti di controllo selezionati nelle varie aree di studio, le temperature delle acque risentono dell'influenza delle variazioni della temperatura stagionale dell'aria alle quote delle aree di studio. Con riguardo al pH delle acque, questo parametro ha mostrato invece in media una sostanziale similitudine di valori tra i vari periodi di monitoraggio e pertanto le acque ricadono in generale sempre nel campo di acque da debolmente a mediamente alcaline.

Sono state inoltre riscontrate solo limitate differenze nel tempo tra i valori di conducibilità elettrica specifica (CE) nei periodi di svolgimento delle misure. Sono state rilevate sostanziali differenze tra le aree di studio riguardo ai valori di CE. Questo primo indizio, verificato con la realizzazione di sezioni idrogeologiche interpretative, ha guidato la realizzazione dei modelli idrogeologici concettuali degli acquiferi. In estrema sintesi è stato possibile evidenziare che la provenienza dall'Acquifero della Maiolica e dall'Acquifero della Scaglia calcarea delle acque dell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite e l'origine di quelle dell'area del Tenna dall'Acquifero della Maiolica e da quello calcareo basale e subordinatamente dall'Acquifero della Scaglia calcarea e di quelle dell'area del Nera dall'Acquifero calcareo basale e subordinatamente dall'Acquifero della Maiolica e da quello della Scaglia calcarea ha verosimilmente imposto queste differenti caratteristiche idrochimiche alle acque che hanno interagito con i suddetti acquiferi.

Nell'area Torbidone - Piana di Norcia - Marcite, lungo l'alveo del F. Torbidone, tra le quote 602-580 m s.l.m., si alternano periodi di diminuzione e di aumento di portata di varia entità. La corrispondente quantità di risorsa idrica in diminuzione rappresenta acqua sorgiva raccolta nel Rio Torbidone che va ad alimentare la Piana di Norcia, oppure, nei periodi quando si è riscontrato un aumento, tale aumento è imputabile ad un incremento della portata a livello delle quote di risorgenza della parte di monte della risorgenza delle Marcite, alimentate costantemente e consistentemente da contributi provenienti dall'acquifero della Maiolica e da quello della Scaglia calcarea, aventi recapito in quel tratto di alveo fluviale.

Si è potuto verificare che la portata delle risorgive delle Marcite è di circa 0,8-1,4 m<sup>3</sup>/s. Sulla base delle suddette considerazioni è stato elaborato un primo tentativo di ricostruzione del locale modello idrogeologico concettuale.

Per il periodo agosto 2010-aprile 2011 alla chiusura dell'area delle Marcite erano stati misurati valori di circa la metà di quelle misurate dopo il sisma. Le portate alla sorgente del Rio Torbidone sono salite fino a circa 1,8 m<sup>3</sup>/s dal 30/10/2016 a maggio 2017, per poi scendere da livelli di circa 0,6-0,8 m<sup>3</sup>/s tra dicembre 2017 e maggio 2018 a quelli di circa 0,001 m<sup>3</sup>/s a luglio 2020. Confrontando le portate delle situazioni pre- e post-sisma, la stima dell'aumento della risorsa idrica disponibile a luglio 2020 in questo settore corrisponde a circa il 10-20%. È inoltre evidente che le portate stiano diminuendo quasi costantemente nel tempo a partire da novembre 2018 nell'area del Torbidone e da settembre dello stesso anno in quella delle Marcite.

Si noti che, in termini di portata, le ricariche delle stagioni di morbida della Sorgente del Torbidone negli anni 2018, 2019 e 2020 sono state pressoché inconsistenti, probabilmente perché trascurabili rispetto all'aumento già dovuto al sisma, che sta tendendo ad essere compensato nel tempo. Infatti, in base alla ricostruzione della curva di regressione esponenziale, nell'ipotesi che la portata diminuisca pressoché con continuità nel tempo, è plausibile che la Sorgente del Torbidone possa completamente asciugarsi entro fine estate 2020.

La caratteristica intermittenza della Sorgente del Torbidone è verosimilmente dovuta alla particolare geometria dell'idrostruttura carbonatica di Poggio Valaccone ed ai suoi rapporti con i depositi quaternari scarsamente permeabili della Piana di Norcia che la delimitano. Infatti, tali depositi permettono un parziale drenaggio di acque sotterranee dalla suddetta struttura verso la piana stessa e quindi l'acquifero ospitato nella struttura carbonatica ha un sufficiente potenziale idraulico da permettere l'emissione di acqua dalla sorgente solo in particolari periodi, come è stato per quello dovuto al probabile aumento della pressione interstiziale causato dal recente sisma.

Sulla base dei dati rilevati nei pozzi della Piana di Norcia, il campo piezometrico elaborato rivela che le aste fluviali del Rio Torbidone e del Fiume Sordo svolgano funzione di assi di drenaggio preferenziale. Rispetto alla situazione prima del sisma, le quote dei livelli nei pozzi monitorati durante questo studio sono incrementate di circa un metro nel settore di valle e in circa 10 m nel settore di monte, ma sono comunque in generale diminuzione.

Nell'area del Torbidone - Piana di Norcia - Marcite sono evidenti i più bassi valori di CE delle acque della Sorgente del Torbidone e delle risorgive delle Marcite rispetto a quelle delle Sorgenti San Martino-Praterella, che possono far pensare a differenti percorsi e/o origini delle acque. Infatti, le acque del Torbidone e delle Marcite provengono dall'Acquifero della Maiolica (e anche della Scaglia calcarea per le Marcite) e sono probabilmente collegate a percorsi idrici sotterranei provenienti dal settore SE di alta quota dell'unità idrogeologica M. Utero - Piana di Norcia. Le Sorgenti San Martino provengono invece dal margine SW del complesso di conoidi che probabilmente operano un trasferimento idrico sotterraneo dal settore SE di monte dell'unità idrogeologica caratterizzata dagli elementi orografici M. Vetica - M. Moricone verso l'unità M. Utero - Piana di Norcia.

Nell'area delle Sorgenti del F. Nera, a monte dell'area sorgiva principale, prevale la funzione di ricarica e di pronta infiltrazione delle acque che sgorgano dalle sorgenti di alta quota.

È stato possibile confermare l'aumento di portata fluviale tra le quote 760-758 m s.l.m. e rilevare che il suo valore massimo raggiunto è stato di  $0,6 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Si è potuto verificare che nelle sezioni osservate, tra prima del sisma ed il dopo sisma, la disponibilità di risorsa idrica nell'alveo del Fiume Nera è almeno raddoppiata, anche se è evidente che il valore delle portate è a luglio 2020 tornato circa lo stesso del periodo pre-sisma.

Un primo tentativo di ricostruzione del modello concettuale idrogeologico locale evidenzia che le acque delle sorgenti d'alta quota nell'incisione valliva di Vallinfante possono verosimilmente derivare dall'Acquifero della Scaglia calcarea e/o dall'Acquifero della Maiolica, mentre le Sorgenti del Nera sono probabilmente dovute a processi di *drenance* di acque provenienti dall'Acquifero calcareo basale favoriti dalla presenza di elementi tettonici. E' comunque all'altezza del settore nell'intorno di San Chiodo che l'Acquifero basale inizia ad affiorare estesamente dando luogo a sorgenti lineari connesse alla presenza di un diffuso insieme di fronti sorgivi.

Le acque analizzate nell'area delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera hanno valori di CE che confermano che le acque provenienti da Fonte Spugna 2 hanno valori medi più bassi (238

$\mu\text{S}/\text{cm}$ ), in accordo con una provenienza delle acque di quest'ultimo punto di controllo dal locale Acquifero sospeso della Scaglia calcarea situato nell'ambito della unità idrogeologica Piano Grande-M. delle Prata-Alta Valnerina, probabilmente collegato idraulicamente tramite percorsi sotterranei all'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo.

Riguardo all'area delle Sorgenti del F. Tenna, nel settore di Capotenna non si è potuto accedere, a causa della permanenza dell'innevamento, tra novembre 2018 e febbraio 2019 e tra gennaio e febbraio 2020. È stata evidenziata la funzione di area di ricarica del settore di Capotenna ed il fatto che l'acquifero della Maiolica, da cui trae origine la Sorgente Capotenna, considerando il prelievo della sorgente medesima, ha avuto solo occasionalmente sufficiente carico da permettere il trabocco di acque se non in prossimità della soglia costituita dalla formazione dei Calcari diasprigni-Marne a Posidonia-Marne di Monte Serrone.

Durante i due anni idrologici di monitoraggio, nel tratto fluviale tra le quote 1175-990 m s.l.m. si è avuto un incremento di portata rappresentato da acqua sorgiva proveniente dall'Acquifero calcareo basale, ricaricato per trabocco anche dallo sfioro delle acque dell'Acquifero della Maiolica oltre il suddetto livello impermeabile di base. Il tratto tra le quote 990-985 m s.l.m. ha riportato un leggero aumento di portata. Riguardo ai successivi settori compresi tra le quote 985-945-941-845 m s.l.m., essi hanno evidenziato scambi complessi tra falda e fiume, verosimilmente dovuti, in questo settore di bassa quota dell'Acquifero calcareo basale, alla presenza, a più bassa profondità del livello impermeabile di base (unità evaporitica) e/o alla sua compartimentazione per motivi tettonici. Durante il regime di massima magra è stata rivelata l'esistenza di due tratti di alveo asciutto che sono stati ricondotti alla presenza, in questo periodo di carenza di disponibilità idrica, di solo deflusso idrico a livello di subalveo sia nel pianoro di Capotenna fino a poco a valle di questo (quote 1178-1100 m s.l.m.) sia all'altezza della soglia impermeabile costituita da Calcari diasprigni-Marne a Posidonia-Marne di Monte Serrone (quote 1070 e 1050 m s.l.m.).

È stato possibile verificare che, nonostante la forte variabilità stagionale delle portate, a livello dell'alveo fluviale al di sotto di quota 990 m s.l.m. (livello dell'Acquifero calcareo basale), non sono state rilevate sostanziali differenze. Inoltre, non essendo disponibili misure storiche della portata non captata dal bottino di prelievo idrico di Capotenna, la diminuzione della presenza di acqua proveniente dall'esubero della sorgente, lamentata nel post-sisma da alcuni allevatori di bestiame nell'intorno di Capotenna, purtroppo non è al momento oggettivamente verificabile. Ad ogni modo, non è da escludere, almeno nel periodo dei rilievi effettuati, l'insufficiente ricarica meteorica a carico dell'Acquifero della Scaglia calcarea, che probabilmente contribuisce alla portata della sorgente Capotenna ed interessa l'area in esame da quote maggiori di circa 1170 m s.l.m. Tale insufficiente ricarica non ha permesso un adeguato drenaggio di acque sotterranee verso l'acquifero della Maiolica, attraverso la soglia costituita dalle Marne a Fucoidi, localmente contorte, e i depositi superficiali.

In base alla prima ricostruzione di modello concettuale per quest'area, le acque della sorgente Capotenna sono connesse all'Acquifero della Maiolica, mentre quelle del corso d'acqua principale, a quote inferiori, derivano dall'Acquifero della Maiolica e dall'Acquifero calcareo basale. Più a valle, le acque del gruppo sorgivo delle Pisciarelle (in destra idrografica) provengono dall'Acquifero della Scaglia calcarea con il probabile contributo dell'Acquifero della Maiolica. Tutti i suddetti acquiferi sono comunque compresi nell'ambito dell'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo.

Nell'area del Lago di Pilato, dal punto di vista dell'evoluzione geomorfologica, dopo la formazione di una valle glaciale con deposizione dei relativi sedimenti morenici ed allo sviluppo di

processi carsici con fratture di sprofondamento sul locale substrato carbonatico, il principale agente morfogenico è verosimilmente stato il crioclastismo, come testimonia la diffusa deposizione di detriti a scaglie di dimensioni grossolane nell'intorno dell'area lacustre.

Il meccanismo di riempimento del bacino lacustre invece è principalmente governato dallo scioglimento delle nevi e dall'apporto delle piogge. Tramite l'analisi non-parametrica del test di Mann Kendall, si è giunti a definire una generale tendenza nel tempo ad un aumento delle temperature dell'aria, ad una sostanziale costanza delle precipitazioni liquide ed una diminuzione delle precipitazioni nevose. Analizzando nel dettaglio i dati meteo-climatici si è notato che potrebbe essere la persistenza della neve durante la stagione primaverile, connessa a temperature stagionali non troppo elevate rispetto alla media, ad influire sull'evaporazione ed il drenaggio delle acque del lago e quindi su una costante ed efficace ricarica del lago stesso. Probabilmente, le temperature annue superiori alla media e la concomitante presenza di un limitato manto nevoso primaverile sono state decisive per il prosciugamento del lago nel 2017 e nel 2019.

È stato ricostruito l'andamento dei livelli riferiti agli anni 2010, 2012 e 2014-2019 ed i dati ottenuti riguardo alla pendenza delle rette di regressione degli abbassamenti dei livelli nel tempo, ossia delle velocità di svuotamento del lago, hanno permesso di evidenziare che nel pre-sisma lo svuotamento del lago avveniva più lentamente rispetto al dopo sisma. E' quindi possibile che lo scuotimento sismico avvenuto nei depositi superficiali e/o nel substrato possa avere indotto delle variazioni di permeabilità e quindi una relativamente maggiore velocità d'infiltrazione delle acque dal lago verso il sottosuolo. Questo potrebbe essere il motivo per cui il lago si è prosciugato nella stagione estiva sia nel 2017 sia nel 2019 (e probabilmente anche nel 2020). Di conseguenza, sarà possibile aspettarsi un più frequente accadimento di simili crisi idriche nel lago nel breve-medio periodo.

È stata eseguita una stima dell'effetto dell'evaporazione (e.g. Visentini 1937; Dragoni e Valigi 1994) e dell'infiltrazione attraverso i terreni di letto sulla diminuzione nel tempo della quantità di acqua nel bacino lacustre per l'anno 2018 e 2019. In particolare, considerando l'evaporazione media mensile dalla superficie del lago (E; circa 640-710 mm totali), le precipitazioni (P; circa 1700-1800 mm/a), l'evapotraspirazione reale (ET; metodo di Turc, circa 450-480 mm/a, per circa 6-7°C di temperatura media annua), un ruscellamento stimato in circa il 5% della precipitazione media annua (R; circa 85-90 mm/a), applicando la formula di riferimento  $I=P-R-ET-E$ , è stata stimata l'aliquota di infiltrazione (I; circa 525-510 mm/a) disponibile annualmente nel bacino del lago.

Le curve batimetriche del bacino lacustre ottenute da due rilievi tramite volo di drone, integrate con le curve di livello della Carta Tecnica Regionale delle Marche a scala 1:10.000 e con le quote dei contorni del lago rilevati tramite GPS, hanno permesso di ottenere le variazioni nel tempo delle quote dei livelli e conseguentemente la stima dei volumi dell'acqua nel bacino del lago in occasione dei rilievi degli anni 2018 e 2019. È stata quindi calcolata la permeabilità dei terreni di fondo del lago tramite la formula  $K_n=\Delta V_n/(A_n \cdot t_n)$  (dove n è il periodo di riferimento tra due rilievi successivi, K è la permeabilità in m/s, V il volume in m<sup>3</sup>, A l'area della superficie dello specchio d'acqua in m<sup>2</sup>, t il tempo di riferimento in s), ottenendo valori senz'altro plausibili dell'ordine dei 10<sup>-6</sup>÷10<sup>-7</sup> m/s riferibili alla conducibilità idraulica d'insieme dei sedimenti detritici e glaciali che sostengono il lago.

Sono state realizzate indagini geofisiche, sia con metodo GPR (Ground Probing Radar) sia con sismica in onde superficiali. Gli specchi lacustri occupano due depressioni strutturali, nelle quali si ha il massimo spessore di depositi detritici. Sono state rilevate delle superfici di pseudo-stratificazione generate da accumulo di singoli flussi detritici provenienti dai due versanti opposti della valle. È stata inoltre evidenziata la presenza di un alto strutturale tra i due bacini lacustri. Lo

spessore massimo dei depositi detritici all'interno della valle è di circa 25 m. Si suggerisce la presenza in profondità di terreni con proprietà maggiormente conduttive rispetto al detrito superficiale (depositi morenici?). Inoltre, sono state evidenziate le formazioni litoidi su cui poggiano i depositi detritici ed è stato rilevato un elemento tettonico mascherato dalla coltre superficiale dei detriti.

Il modello idrogeologico concettuale preliminare elaborato per l'area del Lago di Pilato ha permesso di definire che il progressivo svuotamento dello stesso avviene dapprima per l'azione di sfioro di acque attraverso la Fonte del Lago, quindi prosegue per evaporazione dalla superficie del lago e per infiltrazione e drenaggio attraverso, i depositi detritici e glaciali verso l'Acquifero calcareo basale saturato a quote più basse. Il ciclo di riempimento e di abbassamento di livello nel lago avviene con una successione annuale ed è caratterizzato dalla scomposizione del lago in sub-bacini nel procedere del suo svuotamento, fino alla sua scomparsa con condizioni meteorologiche critiche. Il livello di allerta di una possibile essiccazione del lago è stato stimato essere quello relativo ad una quota inferiore a circa 1947 m s.l.m. (ossia circa 6-7 metri di battente massimo) del pelo libero dell'acqua del lago, con riferimento al periodo di maggio-giugno dell'anno in osservazione.

#### *Suggerimenti riguardo al monitoraggio idrogeologico delle aree di studio*

A conclusione del biennio di attività idrogeologiche svolte negli areali di studio, si riportano, infine, alcuni suggerimenti riguardo ai criteri di proseguimento del monitoraggio idrogeologico. Nell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite la situazione idrogeologica è in continua evoluzione verso una situazione di equilibrio che, nel breve-medio termine, sta di nuovo portando alla scomparsa del Rio Torbidone. Nel tratto di monte del Fiume Sordo a valle delle Sorgenti San Martino-Praterelle, invece, è prevedibile che prosegua la diminuzione delle portate in alveo nel medio-lungo periodo. Anche le risorgive delle Marcite stanno tendendo a tornare ai valori di portata pre-sisma, ma per arrivare a questo sarà probabilmente necessario un periodo ancora più lungo. Per verificare e controllare queste previsioni sarebbe opportuno mantenere un monitoraggio almeno stagionale (3-4 misure per anno) nelle quattro sezioni individuate nel presente studio.

Nell'area dell'alta valle e delle sorgenti del Fiume Nera fino all'altezza di Castelsantangelo sul Nera la situazione sta attualmente riequilibrando ai valori di portata precedenti al sisma e quindi la situazione per la quale si consiglia di continuare il controllo, sempre preferibilmente con frequenza stagionale (3-4 misure per anno), è almeno il tratto nell'intorno della presa della Sorgente San Chiodo fino a prima dell'abitato di Castelsantangelo, dove vi sono estesi affioramenti di sorgenti lineari connesse alla presenza di un diffuso insieme di fronti sorgivi con recapito nell'alveo del F. Nera.

Per quanto riguarda l'area dell'alta valle e delle sorgenti del Fiume Tenna, non avendo riscontrato particolari variazioni a livello della risorsa idrica tra il pre- ed il post-sisma nel corso fluviale a valle della Sorgente Capotenna e considerando che continua a non essere presente un misuratore della portata rilasciata dal bottino della suddetta sorgente (la cui installazione è fortemente consigliata), sarebbe opportuno verificare il perdurare di scarse o nulle quantità idriche dallo sfioro del bottino di presa, sempre con frequenza almeno stagionale (3-4 misure per anno).

L'evoluzione dei livelli del Lago di Pilato dovrà continuare ad essere controllata, poiché il lago potrebbe essere soggetto a più frequenti episodi di essiccamento, vista la probabile aumentata permeabilità dei terreni di base del bacino in seguito allo scuotimento sismico. Per prevedere la possibilità di essiccamento del lago, il rilevamento del livello del lago dovrà essere eseguito almeno a maggio-giugno, ossia durante il periodo di scioglimento del manto nevoso, durante il quale il livello dovrà essere superiore al livello di guardia di circa 1947 m s.l.m. Il monitoraggio dovrà quindi proseguire con frequenza almeno bimensile, anche per poter essere in grado di ricostruire annualmente delle rette di velocità di abbassamento di livello idrico nel lago.

Essendo decisivo per la definizione dell'evoluzione stagionale dello specchio d'acqua il controllo degli apporti pluvio-nivometrici e delle temperature dell'aria locali, sarebbe opportuno valutare la possibilità di installare una centralina meteo-climatica nell'intorno del lago. Andrebbe verificata anche l'opportunità di installare dei rilevatori automatici del livello idrico del lago (es. trasduttori di pressione) e/o delle webcam, preferibilmente associate ad un'asta idrometrica fissata sulle sponde. Si dovrà studiare la scelta delle posizioni e delle modalità più adeguate per l'eventuale installazione della suddetta strumentazione, sia per la possibilità che questa si possa connettere alla rete cellulare per la trasmissione dei dati in continuo sia perché possa ricevere ricarica solare tramite un mini-pannello, ma anche in considerazione delle condizioni estreme dell'area e dei relativi pericoli connessi soprattutto nel periodo invernale (es. crollo di massi e valanghe).

## Bibliografia

- Amoruso A., Crescentini L., Martino S., Petitta M., Tallini M. (2014) - *Correlation between groundwater flow and deformation in the fractured carbonate Gran Sasso aquifer (INFN underground laboratories central Italy)*. Water Resource Research 50(6): 4858–4876. (<https://doi.org/10.1002/2013WR014491>)
- Baldoni T., Banzato F., Cascone D. & Mastrorillo L. (2008) – *Redazione informatizzata della cartografia idrogeologica tematica del territorio della Regione Umbria* (Responsabili Scientifici del Contratto di Ricerca, Boni C. & Petitta M.). Regione Umbria – Dipartimento di Scienze della Terra Università degli Studi di Roma “La Sapienza”. Relazione inedita con allegata cartografia idrogeologica, aprile 2008.
- Boni C., Baldoni T., Banzato F., Cascone D., Petitta M. (2010) - *Hydrogeological study for identification, characterization and management of groundwater resources in the Sibillini Mountains National Park (central Italy)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 2: 21–39. (<https://doi.org/10.4408/IJEGE.2010-02.O-02>)
- Boni C., Bono P. (1982) - *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace sui sistemi carsici della piattaforma carbonatici laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiana-sabina (Italia centrale)*. Geologia Applicata e Idrogeologia, 17: 427-436.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1986) - *Schema idrogeologico dell'Italia Centrale*. Memorie Società Geologica d'Italia, 35: 991–1012.
- Cello G., Mazzoli S., Tondi E. (1998) - *The crustal fault structure responsible for the 1703 earthquake sequence of central Italy*. Journal Geodynamics, 26: 443–460.

- Cugerone K., Allamano P., Salandin A., Barbero S. (2012) - *Stima della precipitazione in siti di alta quota*. Periodico AINEVA- Neve e Valanghe n.77, pp 36-43.
- Dragoni W., Valigi D. (1994) - *Contributo alla stima dell'evaporazione dalle superfici liquide nell'Italia Centrale*. Geologica Romana 30:151-158.
- Fazzini M., Magagnini L., Giuffrida A., Frustaci G., Di Lisciandro M. e Gaddo M. (2006) - *Nevosità in Italia negli ultimi 20 anni*. Neve e Valanghe, AINEVA ED; 58 volume Speciale innevamento in Italia – 22-33.
- Fiorillo F., Petitta M., Preziosi E., Rusi S., Esposito L., Tallini M. (2015) - *Long-term trend and fluctuations of karst spring discharge in a Mediterranean area (central-southern Italy)*. Environmental Earth Sciences 74(1):153–172. (<https://doi.org/10.1007/s12665-014-3946-6>)
- Helfricht K., Hartl L., Koch R., Marty C, Olefs M. (2018) - *Obtaining sub-daily new snow density from automated measurements in high mountain regions*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 2655–2668, 2018 <https://doi.org/10.5194/hess-22-2655-2018>.
- ISPRA-Servizio Geologico d'Italia (2018) - *Carta Idrogeologica d'Italia – 1:50.000. Nuove linee guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia*. Quaderni ISPRA-Servizio Geologico d'Italia, serie III, vol.14. Roma.
- Kendall M., Stuart A., Ord J.K. (1983) - *The advanced theory of statistics*. Volume 3, Charles Griffin e Company Limited, London e High Wycombe.
- Lendvai A., Ranzi R., Peretti G., Berbenni F., Praolini A., Urbani S. (2015) - *Misura delle precipitazioni nevose mediante i pluviometri - stima degli errori sistematici e correzione delle serie storiche*. Periodico AINEVA - Neve e Valanghe n.84, pp 12-21.
- Mastrorillo L., Baldoni T., Banzato F., Boscherini A., Cascone D., Checcucci R., Petitta M., Boni C. (2009) - *Analisi idrogeologica quantitativa del dominio carbonatico umbro - Quantitative hydrogeological analysis of the carbonate domain of the Umbria Region*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1 (2009): 137-155.
- Niedzielski T. (2019) - *Application of Unmanned Aerial Vehicles in Geosciences*. Birkhauser Base, Springer, 250 pp.
- Petitta M. (2011) - *Integrazione della base conoscitiva per la gestione della risorsa idrica sotterranea del parco dei Monti Sibillini*. Rapporto tecnico non pubblicato.
- Petitta M. (2009) - *Hydrogeology of the middle valley of the Velino River and of the S. Vittorino plain (Rieti, central Italy)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, 1(2009):157–182.
- Petitta M., Mastrorillo L., Preziosi E., Banzato F., Barberio M.D., Billi A., Cambi C., De Luca G., Di Carlo G., Di Curzio D., Di Salvo C., Nanni T., Palpacelli S., Rusi S., Saroli M., Tallini M., Tazioli A., Valigi D., Vivalda P., Doglioni C. (2018) - *Water-table and discharge changes associated with the 2016–2017 seismic sequence in central Italy: hydrogeological data and a conceptual model for fractured carbonate aquifers*. Hydrogeology Journal online.
- Petitta M., Primavera P., Tuccimei P., Aravena R. (2011) - *Interaction between deep and shallow groundwater systems in areas affected by quaternary tectonics (central Italy): a geochemical and isotope approach*. Environmental Earth Science, 63: 11–30.

Pierantoni P.P., Deiana G., Galdenzi S. (2013) – *Geological Map of the Sibillini Mountains (Umbria-Marche Apennines, Italy)*. Ital. J. Geosci (Boll. Soc. Geol. It.), Vol. 132.

Smeraglia L., Billi A., Carminati E., Cavallo A., Doglioni C. (2017) - *Field- to nano-scale evidence for weakening mechanisms along the fault of the 2016 Amatrice and Norcia earthquakes, Italy*. Tectonophysics, 712–713:156–169. (<https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.014>)

Sneyers R. (1990) - *On the statistical analysis of series of observations*. Technical Note N.143, World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.

Testa A., Boncio P., Di Donato M., Mataloni G., Brozzetti F., Cirillo D. (2019) - *Mapping the geology of the 2016 Central Italy earthquake fault (Mt. Vettore–Mt. Bove fault, Sibillini Mts.): geological details on the Cupi-Ussita and Mt. Bove-M.Porche segments and overall pattern of coseismic surface faulting*. Geological Field Trips and Maps 11. ISSN: 2038-4947.

Valigi D., Cardellini C., Mirabella F., Nanni T., Tazioli A., Petitta M., Caliro S. (coord.) (2018) - *Caratterizzazione dei sistemi idrogeologici del territorio umbro influenzato dagli eventi sismici del 26-30 ottobre 2016 e valutazione degli effetti del sisma sull'approvvigionamento idrico*. Primo rapporto (inedito). Perugia, giugno 2018. Regione Umbria.

Visentini M. (1937) - *L'evaporazione dagli specchi liquidi*. Memorie e Studi Idrografici. Servizio Idrografico, Pubblicazione N.2. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma.