

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 descrittiva delle attività svolte



1° stato di avanzamento – dicembre 2018

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

INTRODUZIONE.....	3
1. LE ATTIVITÀ PREVISTE DALLA CONVENZIONE	4
2. BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO.....	9
3. RISULTATI.....	12
3.1. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ IDROGEOLOGICHE	12
3.2. SINTESI DELLE PRIME OSSERVAZIONI NEI SITI STUDIATI	17
3.2.1. AREA TORBIDONE-PIANA DI NORCIA-MARCITE	22
3.2.2. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME NERA.....	25
3.2.3. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME TENNA	27
3.2.4. AREA DEL LAGO DI PILATO	30
3.2.4.1. Prime indagini geofisiche nell'area del Lago di Pilato.....	33
3.2.4.2. Considerazioni per la programmazione di ulteriori indagini geofisiche	35
3.3. CONCLUSIONI PRELIMINARI E SVILUPPI DELLO STUDIO IDROGEOLOGICO	36
3.4. STUDIO DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DA FRANA LUNGO LA RETE SENTIERISTICA	39
3.4.1. SENTIERO GRANDE ANELLO DEI SIBILLINI (GAS)	39
3.4.1.1. Descrizione del sentiero nel tratto di interesse	39
3.4.1.2. Descrizione delle criticità idrogeologiche	42
3.4.2. STUDIO DI DETTAGLIO FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI NELLE AREE IN FRANA.....	51
3.4.3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA TRAMITE CONFRONTO DI IMMAGINI SATELLITARI	52
3.4.4. RILIEVI IN SITU	55
3.4.4.1. Rilievi con drone	55
3.4.4.2. Rilievo morfometrico	58
3.4.4.3. Confronto tra modelli digitali del terreno.....	62
3.4.5. PROPOSTE DI INTERVENTO.....	65
3.4.6. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FENOMENI DI COLATA DI DETRITO E MASSI (DEBRIS FLOW).....	65
3.4.7. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FRANE DA SCIVOLAMENTO SUPERFICIALE	71
3.4.8. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER ROTOLAMENTO DI BLOCCHI E MASSI LUNGO IL SENTIERO	71
3.5. SENTIERO E4.....	75
3.5.1. DESCRIZIONE DEL SENTIERO	75
3.5.2. DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE E DEI PUNTI DI ATTENZIONE	79
3.5.3. PROPOSTE DI INTERVENTO	85
3.5.4. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FRANE DA CROLLO. ..	85
3.5.5. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLA CRITICITÀ IDROGEOLOGICA PER FRANA COMPLESSA. ..	86
3.5.6. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI ATTENZIONE	87
4. BIBLIOGRAFIA.....	90

TAVOLE FUORI TESTO

- TAV. G.1 Grande Anello dei Sibillini - Carta Geologica e Geomorfologica (scala 1: 5.000)**
- TAV. G.2 Grande Anello dei Sibillini - Carta delle Criticità Idrogeologiche (scala 1: 5.000)**
- TAV. G.3 Grande Anello dei Sibillini - Carta degli Interventi (scala 1: 5.000)**
- TAV. E4.1 Sentiero E4 - Carta Geologica e Geomorfologica (scala 1: 5.000)**
- TAV. E4.2 Sentiero E4 - Carta delle Criticità Idrogeologiche e dei Punti di Attenzione (scale varie)**
- TAV. E4.3 Sentiero E4 - Carta degli Interventi (scala 1: 2.000)**

INTRODUZIONE

Nella presente Relazione vengono descritte le attività svolte al 15.12.2018 relative alla Convenzione stipulata tra l'ISPRA – Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale e l'Ente Parco Nazionale dei Monti Sibillini, finalizzata alla realizzazione di uno **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** (prot. 32372/2018 del 10/05/2018).

Promossa dal MATTM, nell'ambito delle iniziative e delle politiche finalizzate a garantire la sicurezza della popolazione e dell'ambiente e a favorire la ripresa delle aree colpite dai recenti eventi sismici dell'Italia centrale attraverso la valorizzazione e la fruizione delle risorse paesaggistiche e naturali, la Convenzione è mirata alla valutazione delle condizioni di pericolosità geologica lungo la rete dei sentieri, originatesi e/o aggravatesi in conseguenza degli eventi sismici del 2016 e 2017 ed alla integrazione ed all'aggiornamento dello stato delle conoscenze relative alla circolazione idrica instauratasi in seguito agli eventi sismici.

Le attività della Convenzione sono state svolte in stretta collaborazione con il Parco, che ha messo a disposizione le proprie risorse di dati e di personale tecnico, ed ha concesso o richiesto alle Autorità competenti (Polizia Municipale, Corpo dei Carabinieri Forestali ecc.) i permessi necessari per raggiungere ed investigare le aree sottoposte a vincoli.

Inoltre, al fine di agevolare la collaborazione con le Istituzioni che hanno effettuato o stanno effettuando indagini geologiche ed idrogeologiche sul territorio, il Parco ha istituito un **Tavolo di Coordinamento** finalizzato alla:

- 1) condivisione dei risultati degli studi geologici ed idrogeologici realizzati o ancora in corso
- 2) condivisione dei programmi delle attività ancora da realizzare
- 3) promozione dei rapporti di collaborazione tra Enti
- 4) discussione e valutazione congiunta dei risultati delle indagini che possono avere una rilevanza ed un interesse comune per le diverse Istituzioni.

Il Tavolo di Coordinamento si è riunito il 26.06.2018 presso il Centro Regionale Umbria Protezione Civile di Foligno (PG); in quella sede, in un clima di proficua collaborazione, i rappresentanti delle Istituzioni presenti hanno descritto i principali risultati delle attività svolte, mettendoli a disposizione di ISPRA.

In copertina: In alto a sinistra, il versante orientale del M. Vettore: in evidenza il bacino di alimentazione del canalone di Aia della Regina (30/10/2018); a fianco, il Fiume Tenna a monte delle Gole dell'Infernaccio in regime di morbida (24/05/2018). In basso a sinistra, il Lago di Pilato, situazione del livello idrico nel bacino settentrionale al 25/09/2018; a fianco, immagine da drone della frana di Valle Acquasanta (Bolognola, MC) – 04/12/2018.

1. LE ATTIVITÀ PREVISTE DALLA CONVENZIONE

Le attività previste dalla Convenzione riguardano due tematismi: uno di carattere idrogeologico e l'altro relativo alla pericolosità da frana lungo la rete sentieristica.

Le attività a carattere idrogeologico sono state finalizzate allo studio delle variazioni occorse a carico della circolazione delle acque sotterranee e superficiali nel territorio del Parco, avvenute in seguito agli eventi sismici del Centro Italia nel periodo agosto 2016 – marzo 2017.

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. La stima dell'incremento di portata di fiumi e sorgenti è dell'ordine di oltre 9 m³/s ed ha provocato più di 0,1 km³ di rilascio di acque sotterranee, soprattutto nel corso degli ultimi 6 mesi. In alcuni alvei fluviali di montagna si sono raggiunti valori di portata mai verificatisi. Probabilmente la causa di queste alterazioni è avvenuta in seguito ad un aumento della conducibilità idraulica in massa a livello degli acquiferi, che ha portato ad un aumento dei livelli idraulici nelle aree di recapito basali ed una loro conseguente diminuzione in alcune delle aree di ricarica. Possono avere anche concorso a tali effetti processi quali scuotimento, compressione e rottura di barriere ai limiti degli acquiferi (Petitta et al., 2018).

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).

Nell'ambito di questo scenario, si è provveduto allo studio delle variazioni delle condizioni idrogeologiche avvenute a carico di alcune sorgenti, corsi d'acqua e laghi montani dei Monti Sibillini, per pervenire 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. Le aree scelte come oggetto di studio sono (Fig. 1): 1) la sorgente del 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.

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 puntuali, esse rivestono un ruolo chiave per importanza idrogeologica e strategica nella gestione delle risorse idriche sibilline.

Il presente studio è stato impostato secondo le metodologie dell'idrogeologia quantitativa (e.g., Boni & Bono, 1982; Boni et al., 1986; Mastrorillo et al., 2009) e quindi la valutazione delle risorse idriche locali si basa su informazioni e dati acquisiti con il rilevamento idrogeologico di campagna.

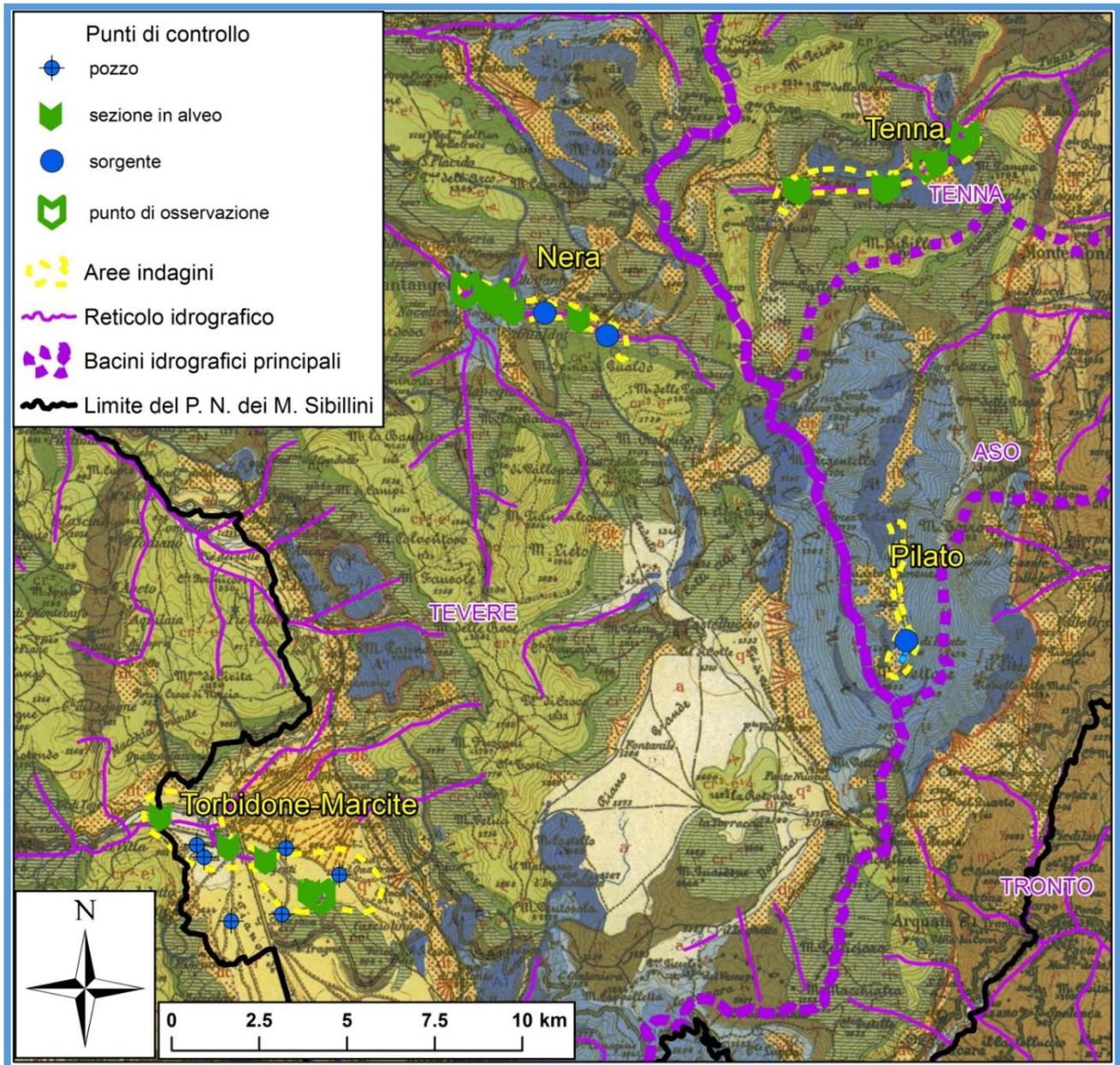


Figura 1: Carta dell'ubicazione delle aree oggetto delle indagini idrogeologiche e dei punti di controllo selezionati (base geologica dal Serv. Geol. d'Italia, 1941; toni di colore verde/blu: rocce carbonatiche (Giura-Eocene); toni del marrone: depositi terrigeni (Miocene); toni arancio e beige: depositi di copertura (Quaternario). Fonte: Allegati alla Convenzione ISPRA – Parco.

Il secondo tematismo sviluppato riguarda lo studio delle variazioni delle condizioni di pericolosità da frana lungo la rete escursionistica a seguito degli eventi sismici del 2016 e 2017.

Lo studio è stato realizzato con l'obiettivo di analizzare le "criticità idrogeologiche", vale a dire i fenomeni di dissesto interagenti con i sentieri, che ne hanno determinato la chiusura da parte dell'Ente Parco.

Il lavoro svolto consente, nelle intenzioni degli Autori, una valutazione integrata delle condizioni di pericolosità che interessano le aree studiate che, al contrario, spesso all'occhio della persona non esperta appaiono limitate alla situazione locale. In altri termini, in molti casi si è potuto evidenziare che la presenza di massi e/o detriti accumulati lungo il sentiero è legata a dinamiche morfologiche

attive in aree anche molto distanti, la cui sistemazione costituisce una azione indispensabile per ripristinare condizioni di sicurezza lungo il sentiero.

Nella trattazione sviluppata per ciascun sentiero, vengono suggerite ipotesi di intervento in una apposita carta degli interventi.

A tal proposito si sottolinea che:

1. Partendo dalla considerazione che, lungo la rete sentieristica che si sviluppa all'interno del territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, esistono condizioni di rischio legate alla fruizione della montagna che non possono essere eliminate del tutto in quanto strettamente legate alle caratteristiche fisiche del paesaggio montano (pendenza del terreno, balze rocciose, tratti sdruciolevoli ecc.), le proposte di intervento suggerite sono mirate alla soluzione delle criticità idrogeologiche principali. Resta invariato il principio che la fruizione della rete sentieristica richiede da parte di tutti il rispetto dei luoghi e l'adozione di norme di comportamento adeguate, che devono tener conto anche del verificarsi di condizioni meteo-climatiche particolarmente avverse o di altri eventi come una sequenza sismica.
2. Sono state investigate le aree indicate dall'Ente Parco che riguardano soltanto la rete sentieristica da esso gestita, a loro volta individuate dal Parco sulla base delle segnalazioni e dei dati raccolti dal personale del Collegio delle Guide Alpine. L'elenco dei siti investigati è riportato nell'Allegato Tecnico alla Convenzione, ed è rappresentato graficamente in figura 2. Tale elenco è stato successivamente integrato, con l'inserimento di altre località segnalate dall'Ente Parco.
3. Nella Tavola degli Interventi vengono proposte le tipologie di intervento idonee in relazione alle caratteristiche geologiche (s.l.) dei fenomeni di dissesto. Sarà necessario, in fase di progettazione, realizzare studi specialistici (i.e. analisi idrologiche, analisi traiettografiche ecc.) che potranno consentire il corretto dimensionamento degli interventi stessi.

Il lavoro è stato svolto attraverso l'esecuzione di rilievi sul terreno e di approfondimenti ed elaborazioni in ufficio.

Sul campo sono stati svolti rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio, misure e analisi morfometriche e riprese aerofotogrammetriche con drone.

Le attività in sede sono state finalizzate alla ricerca bibliografica, aerofotointerpretazione ed alla organizzazione e strutturazione di un GIS all'interno del quale sono stati realizzati:

- inserimento dei dati acquisiti in campagna e nel corso della ricerca bibliografica
- confronto di immagini satellitari e analisi del cambiamento della copertura del suolo
- elaborazione di modelli digitali del terreno 3D e operazioni di Map Algebra
- modellazione fisica delle fasi di innesco e propagazione dei fenomeni di frana
- restituzione cartografica dei tematismi analizzati e delle proposte di intervento.

Nel 1° Stato di Avanzamento delle attività vengono restituiti i risultati degli studi realizzati lungo il tratto del Grande Anello dei Sibillini compreso tra Fonte delle Cacere e Monte Pianello della Macchia (Montemonaco, AP) e lungo il sentiero E4 (Bolognola, MC).

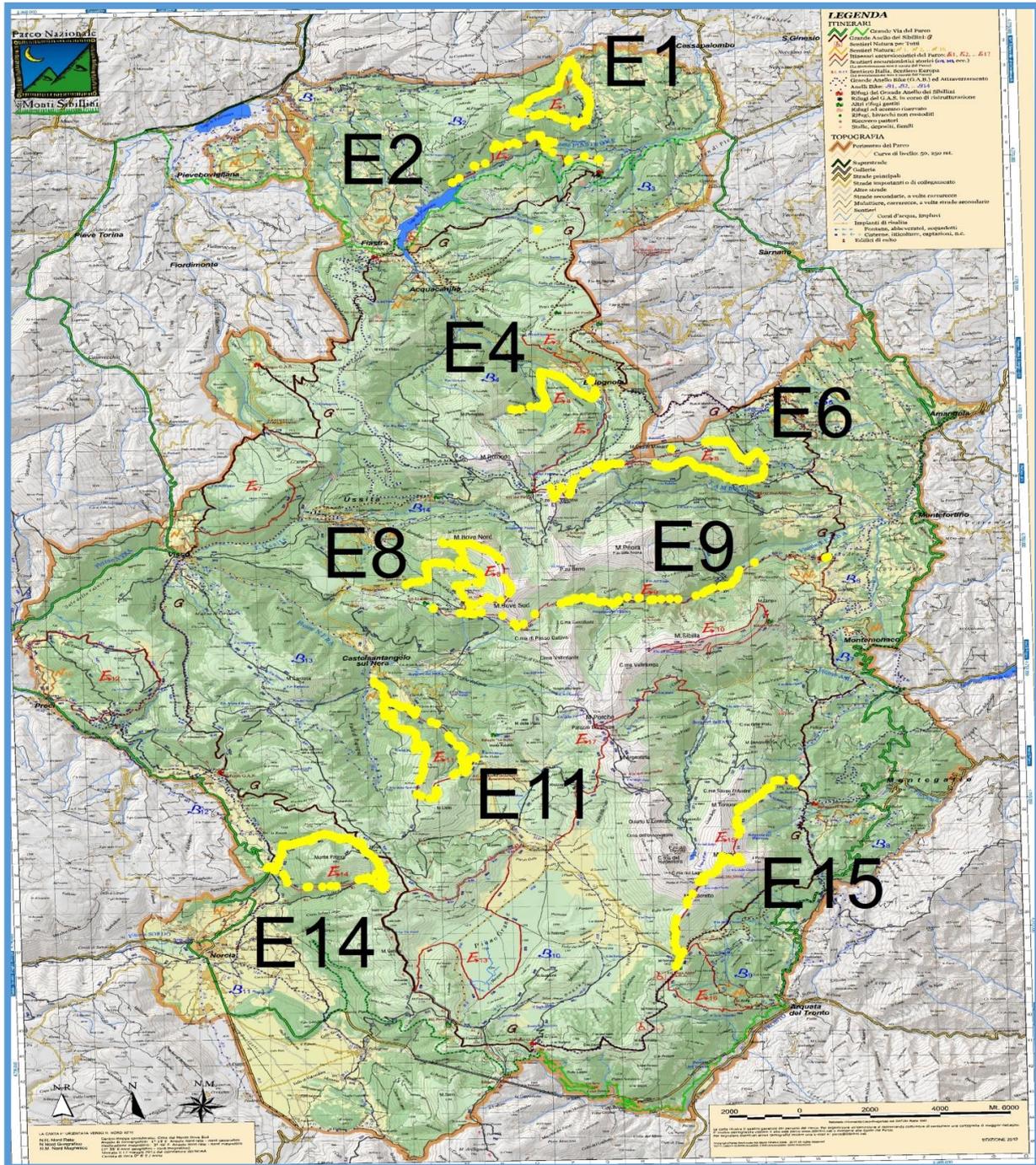


Figura 2: In giallo sono evidenziati i sentieri indicati dall'Ente parco, lungo i quali sono state riscontrate problematicità rilevanti riguardo le condizioni di pericolosità da frana connesse agli eventi sismici del 2016 e 2017, oggetto delle attività di studio della Convenzione. (Fonte: allegati alla Convenzione ISPRA – Ente Parco).

Gruppo di Lavoro

Per le attività previste dalla Convenzione è stato creato un Gruppo di Lavoro articolato come segue:

- Responsabile scientifico della Convenzione: Paolo Maria Guarino

Tema 1: Studio delle variazioni della circolazione delle acque sotterranee e superficiali avvenute in seguito agli eventi sismici del 2016 e 2017.

- Lucio Martarelli (Responsabile tecnico)
- Rossella Gafà
- Gennaro Maria Monti
- Luca Maria Puzilli
- Angelo Antonio Silvi

Tema 2: Studio delle variazioni delle condizioni di pericolosità da frana e da fenomeni di dissesto lungo la rete sentieristica avvenute in seguito agli eventi sismici del 2016 e 2017.

- Paolo Maria Guarino (Responsabile tecnico)
- Vittorio Chiessi
- Enrico Maria Guarneri
- Tommaso Marasciulo
- Luca Olivetta
- Lorenzo Pistocchi
- Mauro Roma
- Roberto Serafini
- Valerio Vitale

2. 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).

All'interno dello schema geologico generale sopra accennato, nel corso dello studio delle variazioni delle condizioni di pericolosità da frana lungo la rete sentieristica, sono state analizzate le singole situazioni specifiche, restituite attraverso l'elaborazione di elaborati cartografici in scala 1:5.000 (cfr. TAV. GAS.1 f.t. e TAV. E4.1 f.t.).

Ad integrazione di quanto riportato nella legenda delle tavole sopra citate, viene di seguito riportata la descrizione delle formazioni geologiche (dalla più antica alla più recente) del substrato, affioranti lungo i sentieri oggetto di studio.

Marne e calcari a Posidonia (Toarciano – Bajociano): in *litofacies* ancora leggermente marnosa nella sua parte basale, che diventa totalmente calcarea dal Bajociano. È un calcare micritico, marnoso talora nodulare con fine detrito clastico e bioclastico. Nella parte sommitale delle Marne e Calcari a Posidonia sono presenti intercalazioni selciferi e calcarenitiche. Lo spessore dei vari strati varia da 5 centimetri a circa un metro ed il colore è grigio o avana.

Calcari Diasprigni (Bajociano – Titonico): i Calcari diasprigni umbro-marchigiani sono stati suddivisi in due membri: Calcari diasprigni (CDU1 – membro inferiore) e Calcari a Saccocoma ed Aptici (CDU2 – membro superiore). Il “membro selcifero” dei Calcari Diasprigni (CDU1) è caratterizzato nella porzione inferiore da biomicriti parzialmente o completamente silicizzate con selce in strati o liste e noduli, mentre nella porzione superiore è costituito da strati di selci radiolaritiche e subordinatamente da calcari selciferi in strati sottili, tabulari o con geometrie di tipo *pinch and swell* o lentiformi, con intercalazioni argillitiche millimetriche. La colorazione d'insieme è prevalentemente grigio-verdastro, ma si possono notare zone policrome variabili dal marrone al rosso, specialmente in corrispondenza dei litotipi più silicei. Il “membro dei calcari a Saccocoma ed Aptici” (CDU2, spessore variabile da 5 a 20 m) è formato da calcari micritici spesso laminati, in strati da sottili a medi, talora amalgamati e con abbondanti liste di selce. Verso l'alto prevalgono calcari rosa con selce, Aptici e Saccocoma.

Maiolica (Titonico sup. - Aptiano inf.): è formata da calcari micritici biancastri ben stratificati in strati medi e sottili, con selce grigio nerastra e intercalazioni marnoso - argillose più frequenti nella parte alta al passaggio con le Marne a Fucoidi.

Marne a Fucoidi (Aptiano inf. - Cenomaniano inf.): le Marne a Fucoidi sono costituite da due membri: uno inferiore costituito da marne e marne argillose policrome a volte fogliettate, sottilmente stratificate, con sporadiche marne bituminose; ed uno superiore calcareo – marnoso, colore grigio – verdastro, con calcari e calcari marnosi alternati a marne e marne calcaree, separati da sottili livelli argillosi che tendono ad essere sostituiti, verso l'alto, dalla selce.

Scaglia Bianca (Cenomaniano medio - Turoniano inf.): calcari micritici biancastri ben stratificati con selce nera in liste e noduli e intercalazioni marno- so-argillose; nella porzione più alta, poco prima del passaggio alla Scaglia rossa, si trova il Livello Bonarelli; noto orizzonte bituminoso-ittiolitico (spessore 1-1,5 m). Lo spessore della Scaglia Bianca è di circa 40 m.

Formazione della Laga (Messiniano p.p.): depositi torbiditici silicoclastici, all'interno dei quali, sulla base del rapporto sabbie/argille, vengono distinte tre litofacies: litofacies pelitico – arenacea (LAG1e), formata da alternanze di peliti ed arenarie, in strati medi e sottili; litofacies arenacea (LAG1c), caratterizzata da strati arenacei, da spessi a molto spessi e da bancate arenacee metriche e decametriche, con livelli decimetrici peliti e siltiti; litofacies arenaceo – pelitica (LAG1d), formata da alternanza di arenarie e di peliti in strati medi e sottili, con intercalati strati arenacei da medi a spessi.

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 m³/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 acquiclude 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), comprende le formazioni del Calcare Massiccio, della Corniola e del Bugarone (Giurassico inferiore), tutte caratterizzate da considerevole permeabilità, sede dell'Acquifero Basale.

- Complesso calcareo superiore (alto grado di permeabilità relativa), costituito dalla formazione della Maiolica, generalmente caratterizzata da notevole permeabilità, e dall'insieme delle sottostanti formazioni calcareo-silico-marnose caratterizzate da bassa permeabilità (Calcari e Marne del Sentino, Formazione del Bosso, Rosso Ammonitico, Calcari e Marne a Posidonie, Calcareniti di Monte Valvasseto, Calcareniti nocciola della Valnerina, Calcari Diasprigni) (Giurassico medio-Cretacico inferiore). 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.

- Complesso calcareo-marnoso (medio grado di permeabilità relativa), comprende le formazioni mediamente permeabili della Scaglia Bianca, Scaglia Rossa e Scaglia Variegata e la formazione a bassa permeabilità delle Marne a Fucoidi (Cretacico medio-Eocene medio). Esso ospita l'Acquifero della

Scaglia Calcarea. La formazione delle Marne a Fucoidi ha uno spessore massimo di alcune decine di metri e può costituire un limite idraulico tra l'Acquifero della Maiolica e quello della Scaglia Calcarea.

- Complesso marnoso-calcareo e marnoso (basso grado di permeabilità relativa), costituito dalle formazioni della Scaglia Cinerea, del Bisciario, dello Schlier, delle Marne a Pteropodi e delle Marne con Cerrognana (Eocene superiore-Miocene superiore), caratterizzato da bassa permeabilità e privo, quindi, di acquiferi di rilievo.

- Complesso dei flysch (basso grado di permeabilità relativa), include Formazione della Laga, Formazione Gessoso-Solfifera ed Arenarie di Camerino (Miocene superiore), caratterizzate da bassa permeabilità e prive di acquiferi significativi, tranne in alcuni orizzonti con granulometria più grossolana e quindi maggiormente permeabili.

- Complesso dei depositi alluvionali, detritici e lacustri (basso 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 detritici 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.

3. RISULTATI

3.1. DESCRIZIONE DELLE ATTIVITÀ IDROGEOLOGICHE

Le attività svolte sono consistite principalmente in rilievi di campagna mirati 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.

Come specificato nell'Allegato Tecnico alla Convenzione, il Parco ha indicato le aree o i siti da indagare ed ha iniziato a mettere a disposizione di ISPRA i dati già disponibili funzionali allo svolgimento dei sopralluoghi e degli studi di cui all'oggetto della Convenzione.

Il Parco ha collaborato attivandosi per la concessione, per quanto di competenza, dei permessi necessari per raggiungere le aree sottoposte a vincoli.

Gli areali segnalati in cui si sono verificate alterazioni e modifiche alle condizioni idrogeologiche per effetto degli eventi sismici del 2016-2017 sono (Fig. 1):

- a) sorgente del Torbidone
- b) risorgive delle Marcite
- c) sorgenti e corso dell'alta valle del F. Nera
- d) sorgenti del F. Tenna
- e) lago di Pilato

In questi areali ISPRA ha svolto sopralluoghi, rilievi geologici e geomorfologici e valutato la possibilità d'indagini geofisiche che potranno consentire di estendere le conoscenze alle geometrie del sottosuolo. I risultati delle attività di cui sopra saranno utilizzati per lo studio della circolazione idrica superficiale e sotterranea degli areali indicati dal Parco e per pervenire in futuro ad una prima definizione di modelli concettuali della circolazione idrica sotterranea.

In tutti i siti in studio sono stati eseguiti, opportunamente preceduti dalla raccolta di dati tecnico-scientifici (cartografie geologiche e geotematiche, pubblicazioni, studi e dati di varia origine, ecc.), dei rilievi idrogeologici d'inquadramento dell'area, delle valutazioni speditive sulle condizioni idrogeologiche dei siti esaminati, delle misure quantitative di portata in alveo e sorgiva, il rilevamento di campagna dei parametri chimico-fisici (temperatura, conducibilità elettrica specifica e pH) dei punti d'acqua e la scelta di punti osservazione speditiva delle portate fluviali in aggiunta alle stazioni di misura già citate. I dati raccolti sono riassunti nelle tabelle 1, 2, 3, 4 e 5.

Anche attraverso l'organizzazione e la strutturazione di banche dati e di un GIS dedicato, sono stati redatti elaborati cartografici e schemi esplicativi delle indagini svolte sul terreno, alcuni dei quali sono riportati nel presente report.

Quindi, sono state scelte le tipologie d'indagine ritenute più appropriate per ciascuno dei siti in studio, in funzione dell'estensione e delle caratteristiche del territorio e della tipologia di evento da indagare.

BACINO FIUME SORDO			giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	Portata	Portata	Portata	Portata	Portata	Portata
		(m)	(m ³ /s)					
F.Torbidone sorgente	sorgente	623	0.589	0.654	0.684	0.466	0.606	0.667
F.Sordo a valle San Martino	a valle San Martino	602	0.879	0.931	0.932	0.675	0.851	0.894
F.Sordo pista ciclabile	pista ciclabile	580	0.797	0.865	0.833	0.929	0.919	0.816
F.Sordo C.Passerini	C.Passerini	550	1.782	2.113	2.035	2.307	1.934	1.907

Tab. 1 – Principali dati di portata (periodo giugno-novembre 2018) misurati nell'area Torbidone-Piana di Norcia-Marcite, situata nell'ambito del Bacino idrografico del Fiume Sordo.

Sigla pozzo	Long. WGS84	Latit. WGS84	Quota piano campagna (PC) in m s.l.m.	Profondità del pozzo da PC (in m)	Quota livello statico (LS) in m s.l.m.	Quota LS in m s.l.m.				
					giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18
P10 (q.627)	345007	4737710	627	70	599.48	599.34	599.23	598.78	598.64	598.62
P11 (q.641)	346236	4738519	641	40	619.01	617.64	618.40	618.00	617.79	617.42
P12bis (q.631)	345120	4739098	631	n.d.	609.80	609.72	609.66	609.48	609.47	609.19
P14 (q.620)	343984	4737600	620	50	-----	599.57	599.37	595.59	598.44	598.93
P20 (q.581)	343403	4738948	581	n.d.	576.50	576.40	576.30	576.17	576.22	576.31
P21 (q.574)	343260	4739202	574	n.d.	570.80	570.74	570.68	570.74	570.72	570.74

Tab. 2 – Dati di livello (periodo giugno-novembre 2018) della falda idrica sotterranea della Piana di Norcia nei punti di controllo selezionati (n.d.= non disponibile).

BACINO FIUME TENNA			giu-18	ago-18	ott-18
Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	Portata	Portata	Portata
		(m)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
S.te Tenna (sfioro)	S.te Tenna (sfioro)	1178	0.028	0.000	0.000
F.Tenna C. le Cerasa	C. le Cerasa	1178	0.175	0.000	0.000
F.Tenna dopo F.so Valle Lunga	a valle F.so Valle Lunga	1175	0.194	0.000	0.000
F.Tenna a valle delle Vene	a valle delle Vene	990	0.945	0.199	0.028
F.Tenna a monte laghetto	a monte laghetto	985	0.802	0.208	0.033
F.Tenna a valle sentiero San Leonardo	a valle sent. San Leon.	945	0.822	0.213	0.035
F.Tenna al sasso piramidale	sasso piramidale	941	0.900	0.184	0.020
F.Tenna al guado delle Pisciarelle	guado delle Pisciarelle	845	0.802	0.197	0.010
Le Pisciarelle	Le Pisciarelle	925-845	0.020	0.010	0.005

Tab. 3 – Principali dati di portata (periodo giugno-ottobre 2018) misurati nell'area delle sorgenti del Fiume Tenna.

BACINO FIUME NERA	giu-18	lug-18	ago-18	set-18	ott-18	nov-18
-------------------	--------	--------	--------	--------	--------	--------

Nome stazione di misura	Nome stazione nel grafico	Quota s.l.m.	Portata	Portata	Portata	Portata	Portata	Portata
		(m)	(m ³ /s)					
F.te Spugna 2	F.te Spugna 2	1000	0.020	0.020	0.010	0.003	0.002	0.001
F.so Ravarro dell'Acqua	F.so Ravarro dell'Acqua	925	0.004	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000
Sorgenti del Nera	Sorgenti	844	0.166	0.121	0.066	0.038	0.035	0.024
F. Nera a Vallinfante	Vallinfante	815	0.180	0.176	0.097	0.051	0.063	0.046
F.Nera all'oasi faunistica	oasi	767	0.353	0.163	0.104	0.057	0.059	0.048
F.Nera all'altezza di San Chiodo	San Chiodo	760	0.277	0.234	0.229	0.134	0.153	0.107
F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo	dopo San Chiodo	759	0.877	0.834	0.829	0.634	0.603	0.507
F.Nera area pic-nic S.Trita	area pic-nic	758	2.800	2.800	2.800	2.400	2.400	2.800
F.Nera a Castelsantangelo	Castelsantangelo	730	3.500	3.200	2.900	2.900	2.800	2.900
F.Nera a valle del Rapegna	a valle Rapegna	730	3.700	3.320	3.020	3.020	2.890	2.980

Tab. 4 – Principali dati di portata (periodo giugno-novembre 2018) misurati nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Nera (N.B.: per i motivi riportati in seguito nel testo, i dati delle ultime quattro sezioni sono stati stimati e non misurati).

		Quota	CE	TH ₂ O	pH
Denominazione	Corso d'acqua	m s.l.m.	μS/cm	°C	
Sorgente Torbidone	Torbidone	623	534	10	7.6
F.Torbidone sorgente	Torbidone	623	515	11	7.9
Sorgente San Martino	San Martino	602	640	12	7.9
F.Sordo pista ciclabile	Sordo	580	535	12	8.4
Sordo C.Passerini	Sordo	550	570	13	8.3
F.Tenna C. le Cerasa	Tenna	1178	211	9	7.9
Capotenna (troppo pieno)	Capotenna	1178	219	9	7.8
F.Valle Lunga + Capotenna	Valle Lunga	1175	217	8	7.8
F.Tenna a monte delle Vene	Tenna	990	222	8	7.5
F.sso Le Vene	Le Vene	990	176	11	7.2
F.Tenna a monte laghetto	Tenna	985	220	8	7.6
Fossi lato S.Leonardo	S.Leonardo	970-945	275	9	8.1
F.Tenna al sasso piramidale	Tenna	941	232	9	7.5
F.Tenna al guado delle Pisciarelle	Tenna	845	222	9	7.8
Le Pisciarelle	Pisciarelle	925-845	240	10	7.5
F.te Spugna	Spugna	1000	238	8	7.4
F.sso Ravarro dell'Acqua	Ravarro dell'Acqua	925	315	13	7.5
Sorgenti del Nera	Nera	844	290	9	7.5
F. Nera a Vallinfante	Nera	815	290	9	7.5
F.Nera all'oasi faunistica	Nera	767	290	9	7.5
F.Nera all'altezza di San Chiodo	Nera	760	298	10	7.5
Lago Pilato (bacino a S)	Lago Pilato	1941	120	11	8.5
Lago Pilato (bacino a N)	Lago Pilato	1941	125	10	8.5
Sorgente del Lago	Valle del Lago di Pilato	1955	133	4	8.3

Tab. 5 - Tabella riassuntiva dei valori medi (periodo giugno-novembre 2018) dei parametri idrochimici dei principali punti di controllo selezionati (CE= conducibilità elettrica).

Nel dettaglio, per l'area che comprende Sorgente del Torbidone, Piana di Norcia e risorgive delle Marcite sono state eseguite misure di portata in alveo delle acque della Sorgente del Torbidone, delle Sorgenti di San Martino e nel F. Sordo nel settore delle risorgive delle Marcite e misure di livello piezometrico in alcuni pozzi della Piana di Norcia.

Riguardo alle sorgenti e al corso dell'alta valle del F. Nera sono state eseguite misure di portata in alveo della sorgente e lungo il corso del F. Nera e la stima degli apporti laterali di sorgenti minori e fossi canalizzati. Nel tratto compreso tra la Sorgente San Chiodo ed il settore immediatamente a valle dell'abitato di Castelsantangelo sul Nera, la complessa situazione dovuta alla presenza di molteplici contributi, derivazioni e restituzioni idrici in alveo ha portato ad optare per la selezione di alcuni punti di controllo maggiormente rappresentativi per una stima seppure approssimativa delle portate fluviali.

Per quanto attiene alle sorgenti del F. Tenna sono state misurate le portate in alveo dello sfioro della Sorgente del Tenna e lungo il corso del F. Tenna e la misura e stima dei contributi laterali di alcuni fossi minori.

Un discorso a parte vale per la differente tipologia di situazione riguardante l'area del Lago di Pilato, dove sono state eseguite misure di portata sorgiva, rilevamento delle coordinate di punti chiave situati lungo il bordo del lago (per la ricostruzione della variazione nel tempo della sua estensione; Fig. 3), alcune prime indagini geofisiche (mirate alla verifica della possibilità di ottenere una migliore definizione dell'assetto delle geometrie sepolte) e analisi di foto satellitari e da drone del Lago di Pilato, queste ultime effettuate da ISPRA in un sopralluogo preliminare ad inizio giugno 2017 (che serviranno per confrontare le variazioni dell'estensione del lago nel tempo ed in particolare tra prima e dopo gli eventi sismici; le loro elaborazioni definitive saranno disponibili nei prossimi report delle attività).

Si prenda inoltre in considerazione che, in funzione degli obiettivi in precedenza definiti, per la scelta in ciascuna delle aree di studio della distribuzione spaziale dei punti di controllo e dell'intervallo temporale tra le campagne di misura, è stato adottato un criterio generale che permettesse di ottenere un ottimale rapporto costi/risultati.

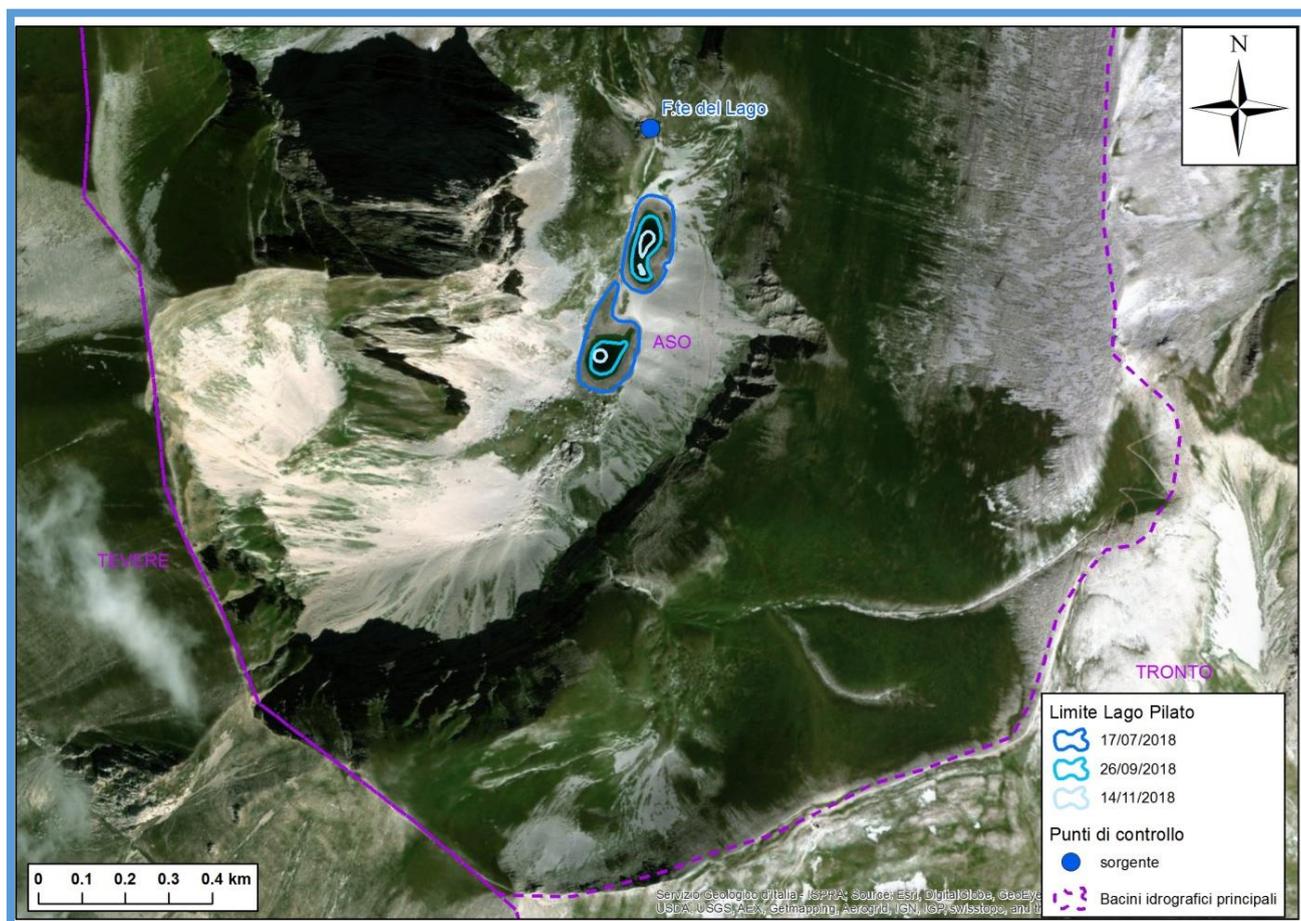


Figura 3: Carta dell'ubicazione dei punti di controllo e dei limiti del lago nell'area di indagine del lago di Pilato.

Le misure che saranno raccolte nell'ambito dello studio proseguiranno per due anni, con cadenza mensile o bimestrale, così da comprendere due cicli di magra e due di morbida. Le misure raccolte nel periodo giugno-novembre 2018 rispecchiano la situazione della prima fase di magra prevista e sono rappresentative dell'esaurimento delle portate dovute all'acqua accumulata negli acquiferi durante la ricarica nel periodo piovoso e possono quindi dare indicazione riguardo al flusso di base del corrente anno idrologico.

In parallelo alle indagini di campagna, si sta procedendo alla caratterizzazione meteo-climatica degli areali in studio mediante l'acquisizione e l'analisi delle serie di dati disponibili. Le fonti dei dati sono i Servizi Idrografici delle Regioni Umbria e Marche e gli Annali Idrologici. In particolare sono in fase di acquisizione i dati delle precipitazioni (anche nevose, laddove disponibili) e di temperatura in un arco temporale almeno trentennale, ove possibile; le medie su lungo periodo saranno poi utilizzate per valutare gli scostamenti dalla media dei singoli anni e le serie temporali saranno analizzate per individuare e valutare eventuali trend e cicli pluriennali, oltre alla componente stagionale. Le stazioni selezionate sono Norcia, Visso per Castelsantangelo sul Nera, Montemonaco, Monte Prata, Monte Bove Sud; laddove vi fossero, fra le stazioni scelte, serie temporali di dati lacunose o molto brevi, potranno essere aggiunte altre stazioni con caratteristiche di localizzazione e quota tali da poter essere considerate indicative delle condizioni climatiche degli areali in studio.

3.2. SINTESI DELLE PRIME OSSERVAZIONI NEI SITI STUDIATI

Gli areali di studio precedentemente descritti sono stati segnalati per alterazioni e modifiche alle condizioni idrogeologiche consistite in un aumento della disponibilità di risorsa idrica nell'area della sorgente del Torbidone e delle risorgive delle Marcite e nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del F. Nera. Si è al contrario riscontrata una diminuzione di risorsa alle sorgenti del F. Tenna. L'area del Lago di Pilato è stata invece scelta per verificare gli eventuali effetti su questo bacino montano sede della presenza endemica del crostaceo Chirocefalo del Marchesoni.

L'elaborazione preliminare dei calcoli di bilancio lungo le aste fluviali delle portate rilevate in ciascuna campagna di misure ha permesso di avere indicazioni sugli scambi idrici reciproci tra acque sotterranee e corsi d'acqua (Tabb. 6, 7 e 8). Inoltre, dal confronto dei risultati delle misure di campagna nei diversi mesi d'indagine sono state stimate le variazioni stagionali della quantità di risorsa idrica disponibile per questo primo periodo indagato (Figg. 4, 5, 6 e 7). Alla fine del progetto sarà anche possibile suggerire indicazioni sulla probabile evoluzione di tali variazioni nel breve-medio termine.

Al momento è stato possibile solo un confronto approssimativo delle nostre misure eseguite tra giugno e novembre 2018 con alcuni dati pregressi resi disponibili dalla letteratura o da rapporti inediti di enti pubblici e privati.

Per quanto concerne i parametri idrochimici delle acque campionate nei punti di controllo selezionati nelle varie aree di studio, i loro valori medi nel periodo giugno-novembre 2018 (Tab. 5) possono portare alle considerazioni riportate nel seguito, che dovranno comunque essere confermate dalle successive osservazioni e misure e dal confronto con i dati, sia pregressi sia attuali, che sarà possibile raccogliere in letteratura.

I parametri idrochimici presi in considerazione (conducibilità elettrica specifica, temperatura e pH), hanno evidenziato sostanziali differenze tra le aree di studio solo riguardo ai valori di conducibilità elettrica specifica (CE). Nell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite le acque hanno valori di CE (intervallo 515-640 $\mu\text{S}/\text{cm}$) più elevati rispetto a quelli più bassi e sostanzialmente più simili tra loro misurati nelle aree sorgive del Tenna (176-275 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e del Nera (238-315 $\mu\text{S}/\text{cm}$). La provenienza delle acque dal settore di bassa quota dell'Acquifero carbonatico basale, riguardo alla prima suddetta area, e dall'Acquifero della Maiolica e dai settori di quota alta ed intermedia dell'Acquifero calcareo basale, rispetto alle ultime due, potrebbe esserne la causa. Questo primo indizio potrà comunque essere verificato tramite i Modelli idrogeologici concettuali degli acquiferi che saranno delineati nel seguito dello studio.

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente**Campagna misure di giugno 2018****Campagna misure di luglio 2018****Campagna misure di agosto 2018****BACINO FIUME SORDO**

Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante/ disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.589				0.654				0.684		
2 Sorgenti San Martino	602		0.290	0.290			0.277	0.277			0.248	0.248		
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			0.879				0.931				0.932		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.797				0.865				0.833		
Calcolo scambio idrico: 4-3		2.5			-0.082	-33			-0.066	-26			-0.099	-40
5 F.Sordo C.Passserini	550			1.710				2.040				1.970		
6 Tubo C. Passerini	550		0.072	0.072			0.073	0.073			0.065	0.065		
7 F.Sordo dopo tubo C.Passserini (5+6)	550			1.782				2.113				2.035		
Calcolo scambio idrico: 7-4		2.5			0.985	394			1.248	499			1.202	481

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 ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Sordo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)
1 F.Torbidone sorgente	623			0.466				0.606				0.667		
2 Sorgenti San Martino	602		0.209	0.209			0.245	0.245			0.227	0.227		
3 F.Sordo a valle San Martino (correzione:1+2)	602			0.675				0.851				0.894		
4 F.Sordo pista ciclabile	580			0.929				0.919				0.816		
Calcolo scambio idrico: 4-3		2.5			0.254	102			0.068	27			-0.078	-31
5 F.Sordo C.Passserini	550			2.230				1.880				1.810		
6 Tubo C. Passerini	550		0.077	0.077			0.054	0.054			0.097	0.097		
7 F.Sordo dopo tubo C.Passserini (5+6)	550			2.307				1.934				1.907		
Calcolo scambio idrico: 7-4		2.5			1.378	551			1.015	406			1.091	436

Tab. 6 – Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo (periodo giugno-novembre 2018) nell'area d'indagine del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite

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

Campagna misure di giugno 2018

Campagna misure di agosto 2018

Campagna misure di ottobre 2018

BACINO FIUME TENNA

Nome stazione di misura	Quota	Tratto drenante/ dispersente (km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Tenna (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in	Drenaggio/ Perdita/km	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Tenna (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in	Drenaggio/ Perdita/km	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Tenna (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in	Drenaggio/ Perdita/km
	(m)				alveo (m ³ /s)	(l/s/km)			alveo (m ³ /s)	(l/s/km)			alveo (m ³ /s)	(l/s/km)
1 F.Tenna C. le Cerasa	1178			0.175				0.000				0.000		
2 F.so Valle Lunga + S.te Tenna (sfioro)	1175		0.019	0.019			0.000	0.000			0.000	0.000		
3 S.te Tenna (sfioro)	1178		0.028				0.000				0.000			
(Calcolo scambio idrico: 3-2)		0.2			-0.009	-45			0.000	0			0.000	0
5 F.Tenna dopo F.so Valle Lunga (correzione: 1+2)	1175			0.194				0.000				0.000		
6 F.Tenna a monte delle Vene	990			0.873				0.198				0.028		
Calcolo scambio idrico: 6-5		1.8			0.679	377			0.198	110			0.028	16
7 F.sso Le Vene	990		0.072	0.072			0.001	0.001			0.000	0.000		
8 F.Tenna a valle delle Vene (correzione: 6+7)	990			0.945				0.199				0.028		
9 F.Tenna a monte laghetto	985			0.802				0.208				0.033		
Calcolo scambio idrico: 9-8		0.3			-0.143	-477			0.009	30			0.005	17
10 Fossi lato sentiero S.Leonardo	970-945		0.020	0.020			0.005	0.005			0.002	0.002		
11 F.Tenna a valle sentiero San Leonardo (correzione: 9+10)	945			0.822				0.213				0.035		
12 F.Tenna al sasso piramidale	941			0.900				0.184				0.020		
Calcolo scambio idrico: 12-11		1			0.078	78			-0.029	-29			-0.015	-15
13 F.Tenna al guado delle Pisciarelle	845			0.802				0.197				0.010		
Calcolo scambio idrico: 13-12		0.6			-0.098	-163			0.013	22			-0.010	-17
14 Le Pisciarelle	925-845		0.020				0.010				0.005			

Tab. 7 – Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo (periodo giugno-ottobre 2018) nell'area d'indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Tenna.

**ISPRA**Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca AmbientaleSistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente**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)	Campagna misure di giugno 2018				Campagna misure di luglio 2018				Campagna misure di agosto 2018			
			Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Nera (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Nera (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Nera (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)
1 F.te Spugna 2	1117		0.020		-0.020		0.020		-0.020		0.010		-0.010	
2 F.so Ravarro dell'Acqua	1000		0.004		-0.004		0.0001		-0.0001		0.0000		0.0000	
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			0.600				0.600				0.600		
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.877				0.834				0.829		
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			2.800				2.800				2.800		
Calcolo scambio idrico: 11-10		0.1			1.923	19230			1.966	19660			1.971	19710
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			3.500				3.200				2.900		
Calcolo scambio idrico: 12-11		0.5			0.700	1400			0.400	800			0.100	200
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			3.700				3.320				3.020		

Tab. 8 - Schema di calcolo dei drenaggi/perdite di portata in alveo (periodo giugno-novembre 2018) nell'area d'indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera (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 ³ /s)		Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)		Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)		Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)		Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)		Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)		Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)		Drenaggio/ Perdita in alveo (m ³ /s)		Drenaggio/ Perdita/km (l/s/km)		
1 F.te Spugna 2	1117		0.003		-0.003				0.002		-0.002				0.001		-0.001				
2 F.so Ravarro dell'Acqua	1000		0.0000		0.0000				0.0000		0.0000				0.000		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		0.5			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		0.4			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		0.1			0.077		773				0.094		940				0.059		590		
9 Troppo pieno San Chiodo	759			0.500						0.450						0.400					
10 F.Nera dopo troppo pieno San Chiodo (correzione: 8+9)	759			0.634						0.603						0.507					
11 F.Nera area pic-nic S.Trita	758			2.400						2.400						2.800					
Calcolo scambio idrico: 11-10		0.1			1.766		17656				1.797		17974				2.294		22935		
12 F.Nera a Castelsantangelo	730			2.900						2.800						2.900					
Calcolo scambio idrico: 12-11		0.5			0.500		1000				0.400		800				0.100		200		
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			3.020						2.890						2.980					

3.2.1. AREA TORBIDONE-PIANA DI NORCIA-MARCITE

Nell'area Torbidone - Piana di Norcia - Marcite (Tabb. 1, 2 e 6; Figg. 4, 5, 6 e 7) è stato possibile evidenziare lungo l'alveo del F. Torbidone nel periodo giugno-agosto e novembre 2018 una diminuzione di portata di circa $0,1 \text{ m}^3/\text{s}$ 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 lineari di alveo. La corrispondente quantità di risorsa idrica di circa 25-40 l/s/km rappresenta acqua sorgiva che ha alimentato la Piana di Norcia. Nello stesso tratto di alveo, tra settembre e ottobre 2018 si è avuto al contrario un aumento di portata di varia entità ($0,070\text{-}0,250 \text{ m}^3/\text{s}$) principalmente dovuto al relativamente lieve aumento della portata a livello delle quote di risorgenza della parte alta delle Marcite. Questo può essere dovuto alla costante e piuttosto consistente alimentazione delle suddette risorgive che si manifesta come contributo proveniente dalla parte di bassa quota dell'Acquifero Basale al deflusso fluviale. Inoltre, l'aumento di portata fluviale (circa $1\text{-}1,5 \text{ m}^3/\text{s}$) calcolato tra le quote 580-550 m s.l.m., ossia in un intervallo di circa 30 m di differenza di quota ed in circa 2,5 km lineari di alveo (corrispondenti a circa 400-600 l/s/km) rappresenta la portata delle risorgive delle Marcite. L'aumento delle portate tra il pre- e post-sisma nel settore Torbidone-Marcite ottenute dal confronto di alcuni dati storici (e.g. Boni et al., 1986) con i valori stimati attraverso le nostre misure (giugno-settembre 2018) risulta circa del 40%.

La quota del livello statico rilevata nei pozzi da noi selezionati quale rete di controllo della Piana di Norcia è variabile tra 570-620 m s.l.m. e quindi compatibili con quelle riportate in letteratura riferite a valori medi annui (e.g. Boni et al., 1986). La flessione verso quote più basse del livello piezometrico registrato nel pozzo P14 a settembre 2018 (Fig. 4) è imputabile al prelievo da un pozzo limitrofo per l'irrigazione del mais, che ha instaurato una locale situazione di equilibrio dinamico nell'acquifero della piana.

Nell'area del Torbidone - Piana di Norcia-Marcite sono evidenti i più bassi valori di CE delle acque della Sorgente del Torbidone (circa $530 \mu\text{S}/\text{cm}$) rispetto a quelle delle Sorgenti San Martino (circa $640 \mu\text{S}/\text{cm}$), che possono far pensare a differenti percorsi e/o origini delle acque delle due sorgenti, situate l'una al margine NW del Poggio Valaccone e probabilmente collegata a percorsi idrici sotterranei provenienti dal settore SE di alta quota dell'unità idrogeologica M. Utero - Piana di Norcia e l'altra al 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. Nella parte di monte dell'area delle risorgive delle Marcite le acque hanno valori di CE (circa $535 \mu\text{S}/\text{cm}$), simili a quelli dell'area sorgiva del Torbidone, mentre in quella di valle tali valori tendono a crescere (circa $570 \mu\text{S}/\text{cm}$), probabilmente per effetto dell'incremento di acque provenienti dal settore di bassa quota dell'Acquifero carbonatico basale. Inoltre, sia le temperature dell'acqua ($10\text{-}13 \text{ }^\circ\text{C}$) sia il pH ($7.6\text{-}8.5$; da moderatamente alcalino a mediamente alcalino) tendono a crescere da monte a valle, probabilmente con il progredire delle caratteristiche delle acque da prettamente sorgive (Torbidone) a fluviali (Sordo).

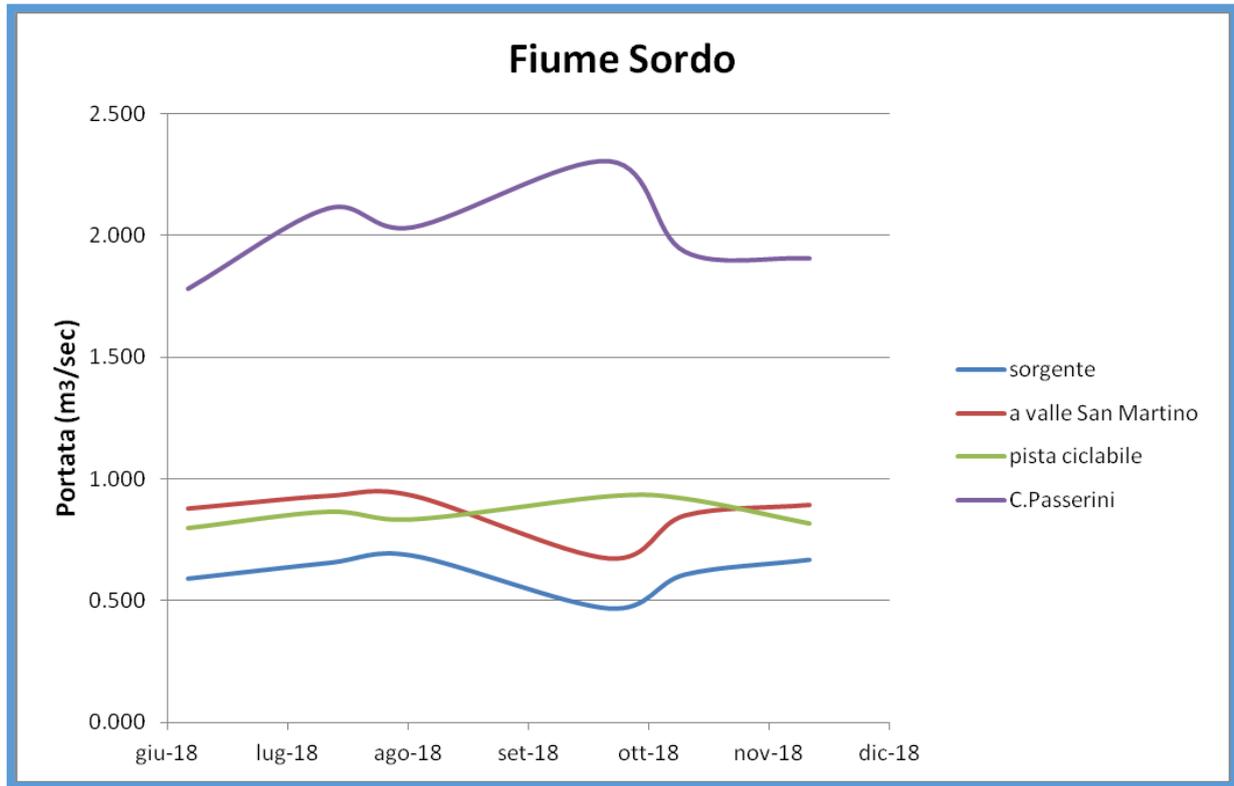


Figura 4: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo nei punti di controllo dell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite.

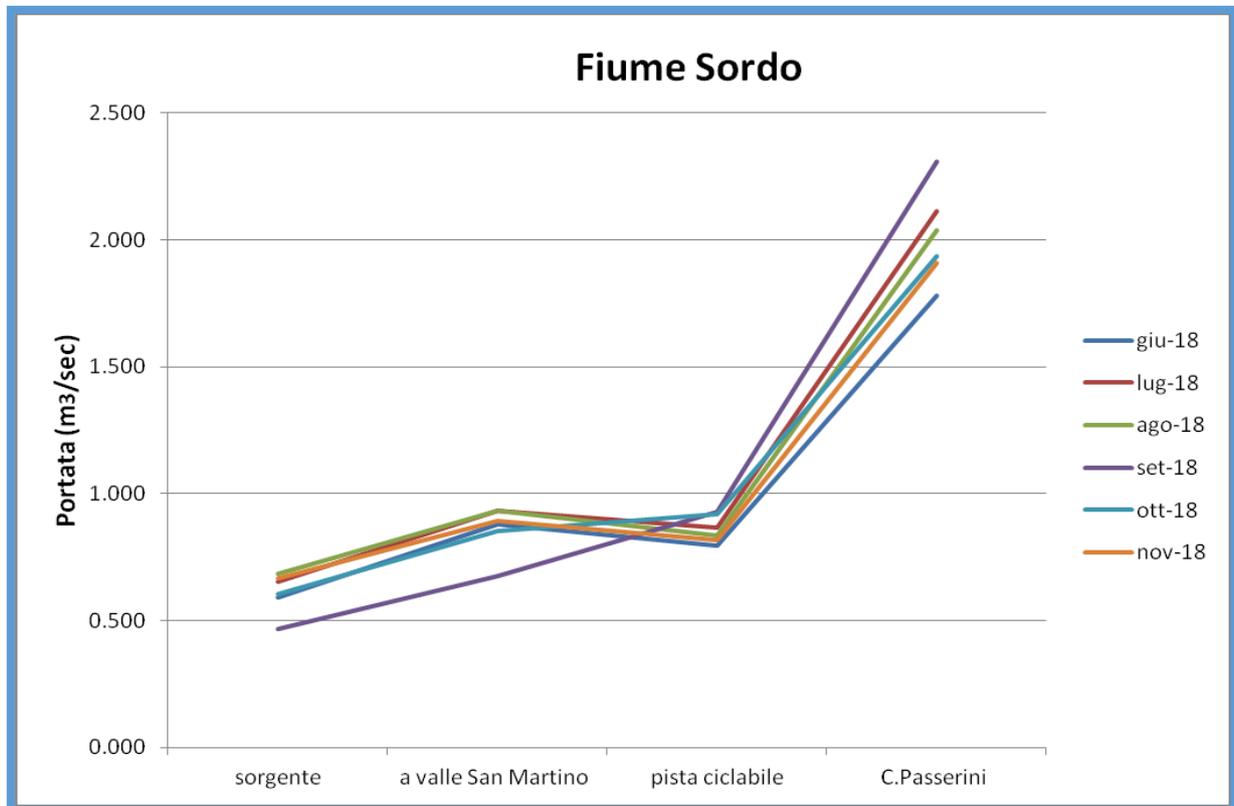


Figura 5: Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo dei fiumi Torbidone e Sordo durante le varie campagne di monitoraggio.

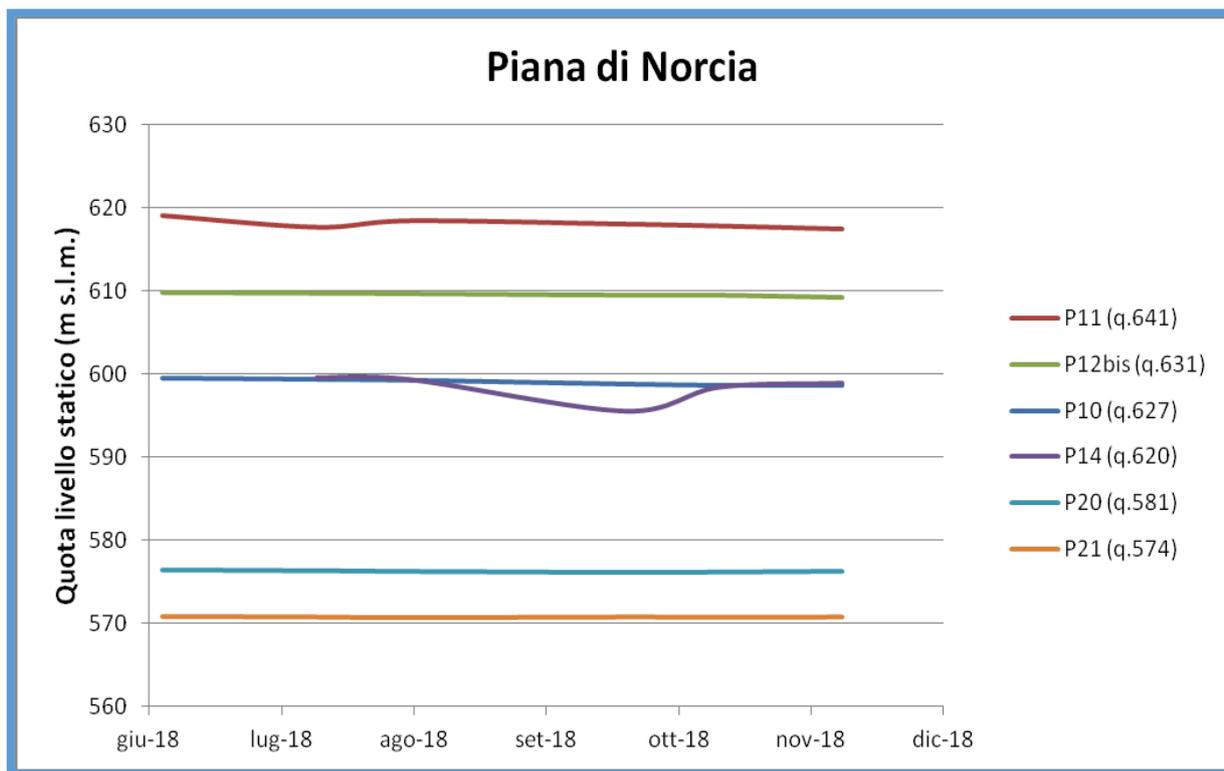


Figura 6: Diagramma delle variazioni nel tempo del livello della falda idrica sotterranea nei pozzi selezionati come punti di controllo nella Piana di Norcia

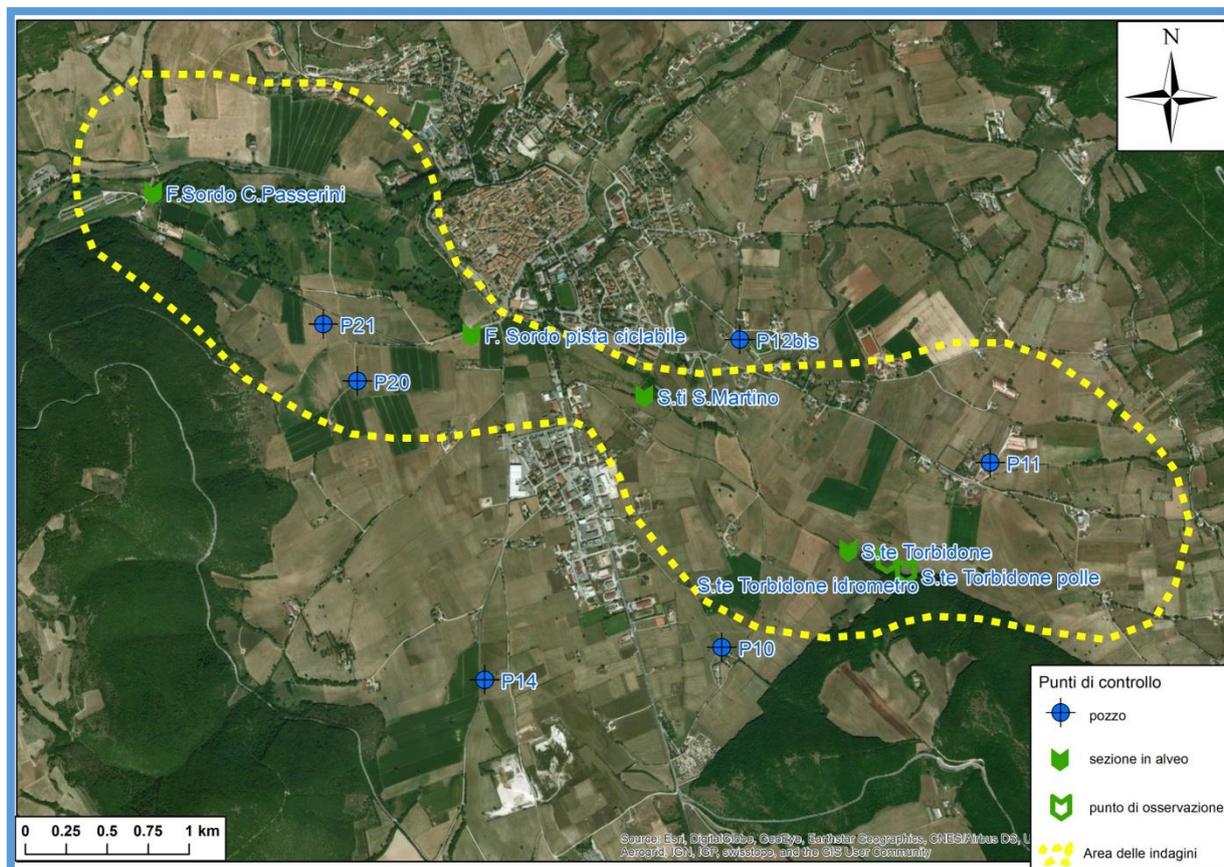


Figura 7: Carta dell'ubicazione dei punti di controllo nell'area di indagine Torbidone-Piana di Norcia-Marcite.

3.2.2. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME NERA

Nell'area delle Sorgenti del F: Nera (Tab. 4 e 8; Figg. 8, 9 e 10), a monte dell'area sorgiva principale prevale la funzione di area di ricarica, testimoniata dalla pronta infiltrazione delle acque delle sorgenti di alta quota. E' stato inoltre possibile evidenziare un rilevante aumento di portata fluviale (circa 2,5 m³/s) tra le quote 760-758 m s.l.m., ossia in un intervallo di soli 2 m di differenza di quota, ed in circa 200 m lineari di alveo (corrispondenti a circa 15-20 m³/s/km). Pertanto, si è riscontrata una differenza di incremento delle portate nel Nera tra prima del sisma (e.g. i valori medi dell'incremento di portata annua nel settore tra Sorgenti del Nera e Visso da Boni et al., 1986 sono di 1,5 m³/s) e dopo sisma (e.g. valori da noi stimati nel periodo di magra giugno-settembre 2018 di circa 2 m³/s nel solo tratto tra le Sorgenti del Nera e a valle della Sorgente San Chiodo), che corrisponderebbe approssimativamente ad almeno un 100% di incremento.

Inoltre, i valori di variazione post sisma dei livelli acquiferi nella rete di controllo piezometrico dell'ente gestore della Sorgente San Chiodo sono stati limitati alla decina di centimetri (Petitta et al., 2018). Al contrario, è stato notato che nel novembre 2016 gli effetti macroscopici osservabili nell'alveo fluviale causati dall'incremento delle portate del Nera iniziavano a partire da circa quota 800 m s.l.m. (ossia immediatamente a valle dell'abitato della frazione Vallinfante) mentre attualmente sono riscontrabili nell'intorno della quota 760 m s.l.m. (ossia all'altezza dell'imbocco della galleria del bottino della Sorgente San Chiodo). Dal confronto tra i suddetti effetti in alveo nei due periodi, è pertanto stato possibile stimare una variazione di circa 40 m di quota.

Non abbiamo al momento una spiegazione per la differenza tra i suddetti intervalli di quota rilevati nei piezometri ed in alveo, ma probabilmente l'effetto della compressione subita dalla falda ha provocato nella fascia di venuta a giorno delle acque sotterranee un aumento della permeabilità dei depositi di subalveo e conseguentemente un incremento del drenaggio che hanno avuto la possibilità di manifestarsi in un intervallo maggiormente esteso in quota rispetto a quello rilevato all'interno dell'acquifero.

Nel tratto compreso tra la sorgente San Chiodo ed il settore immediatamente a valle dell'abitato di Castelsantangelo sul Nera si è rilevata una complessa situazione dovuta alla presenza di molteplici contributi idrici da ambo le sponde del F. Nera e di derivazioni e restituzioni per vario scopo (e.g., idroelettrico, piscicoltura).

Riguardo all'area delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera, le acque di questo hanno valori di CE compresi in un intervallo ristretto tra 290 e 298 µS/cm, mentre le acque provenienti da Fonte Spugna 2 e dal Fosso Ravarro dell'Acqua hanno valori, rispettivamente, più bassi (238 µS/cm) e più elevati (315 µS/cm), in accordo con una provenienza delle acque di questi due ultimi punti di controllo da acquiferi sospesi situati, pur sempre nella medesima unità idrogeologica Piano Grande-M. delle Prata-Alta Valnerina, per Fonte Spugna dal rilievo di M.Prata (probabilmente collegato idraulicamente tramite percorsi sotterranei all'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo) e per il Ravarro dell'Acqua dal rilievo di M.Spina di Gualdo. Si notano in accordo corrispondenti differenze anche nelle temperature delle acque, che per il Nera sono di 9-10 °C, mentre per Fonte Spugna di 8 °C e per il Ravarro dell'Acqua 13 °C. I valori del pH delle acque dei punti di controllo di quest'area di studio sono invece tutti indistinti tra 7.4 e 7.5 (debolmente alcaline).

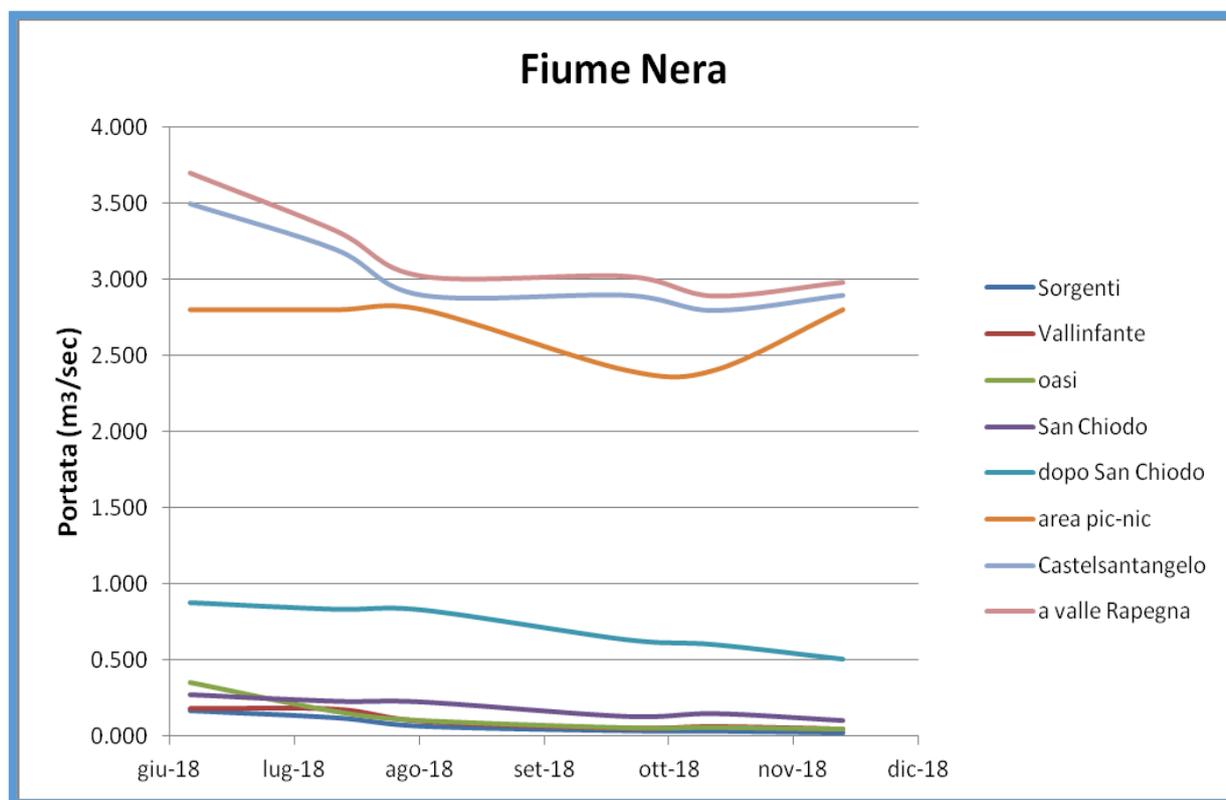


Figura 8: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo nei punti di controllo dell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Nera.

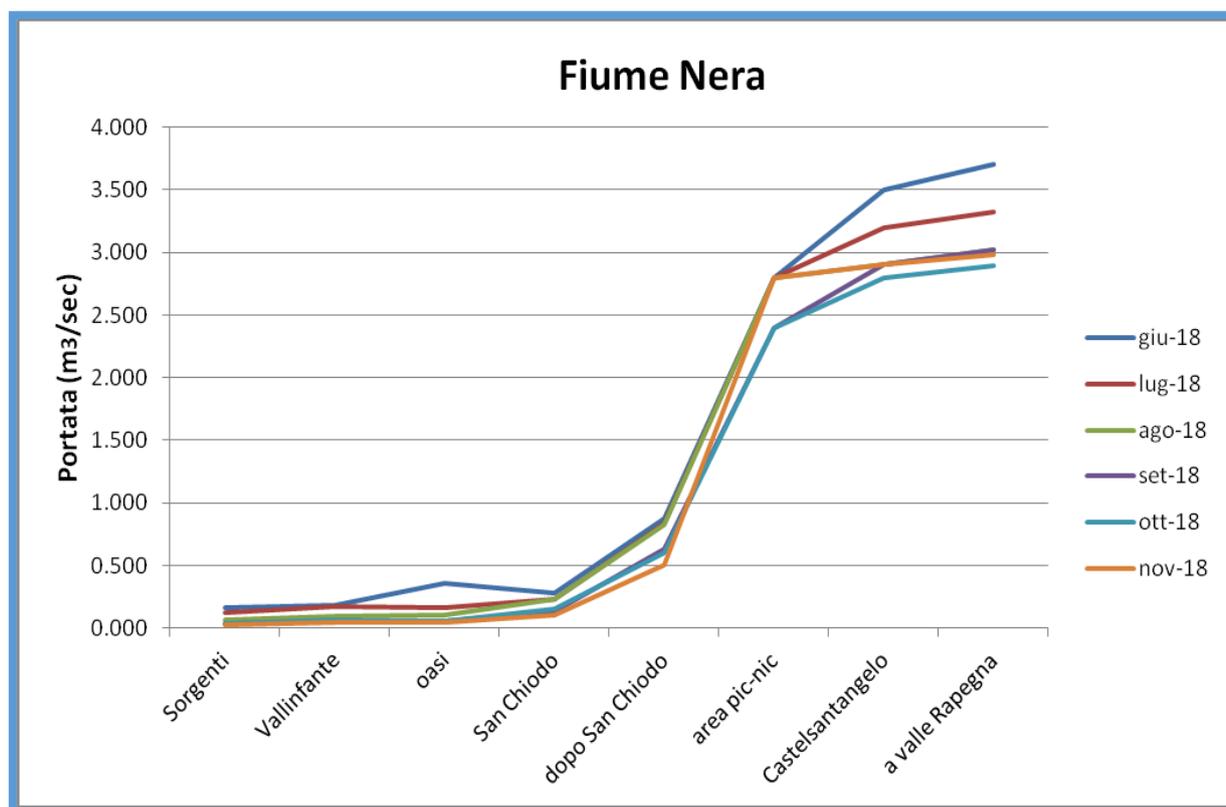


Figura 9: Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo del Fiume Nera durante le varie campagne di monitoraggio.

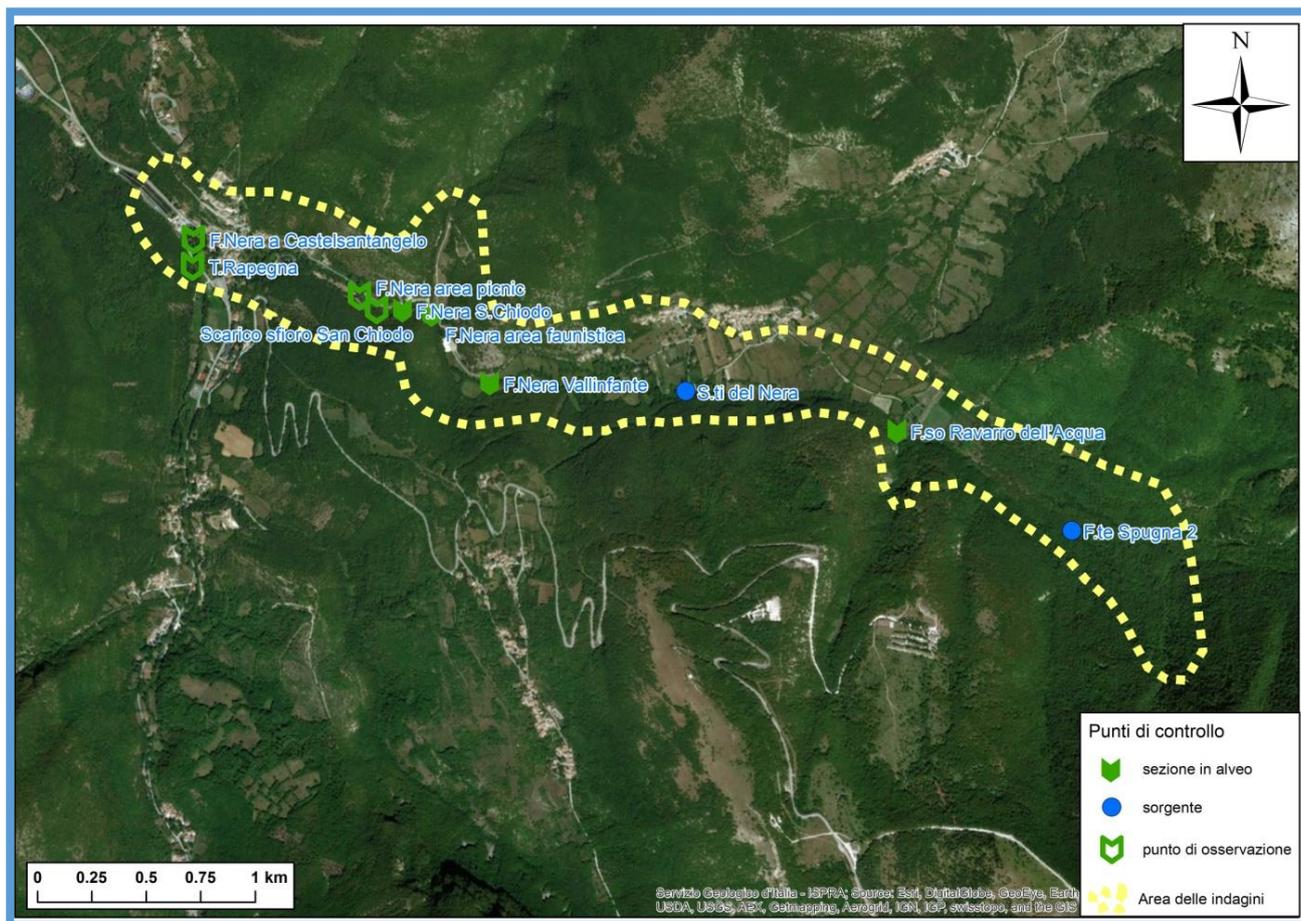


Figura 10: Carta dell'ubicazione dei punti di controllo nell'area di indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera.

3.2.3. AREA SORGENTI E ALTO CORSO DEL FIUME TENNA

Riguardo all'area delle Sorgenti del F. Tenna (Tab. 3 e 7; Fig. 11, 12 e 13), nel settore di Capo Tenna prevale la funzione di area di ricarica, testimoniata da una diminuzione della portata del fosso che raccoglie le acque dello sfioro della Sorgente del Tenna e quelle provenienti dai corsi d'acqua limitrofi. Procedendo verso valle si alternano settori con aumenti della portata fluviale tra le quote 1175-990 m s.l.m. (circa 0,1-0,7 m³/s in un intervallo di circa 200 m di differenza di quota ed in circa 2 km lineari di alveo (corrispondenti a circa 100-350 l/s/km di acqua sorgiva proveniente dalla parte di alta quota dell'Acquifero calcareo basale), con diminuzione della portata fluviale tra le quote 990-985 m s.l.m. (fino a circa 0,14 m³/s in un intervallo di circa 5 m di differenza di quota ed in circa 300 m lineari di alveo (fino a circa 500 l/s/km di acqua fluviale che va ad alimentare la parte intermedia dell'Acquifero calcareo basale) e con tratti di aumento o diminuzione stagionale della portata fluviale tra le quote 990 e 845 m s.l.m. lungo un intervallo di circa 50 m di differenza di quota ed in circa 2 km lineari di alveo, che testimoniano scambi complessi tra falda e fiume nel settore di bassa quota dell'Acquifero calcareo basale. Non è possibile ancora chiaramente definire se siano aumentati o diminuiti gli incrementi delle portate nel Tenna tra prima del sisma (e.g. valori medi dell'incremento di portata nel settore tra Capo

Tenna e q.685 m s.l.m. da Boni et al., 1986 è di 0,9 m³/s) e dopo del sisma (e.g. valori di magra da noi misurati di circa 0,6 m³/s a giugno 2018, 0,2 m³/s a agosto 2018 e 0,05 m³/s a ottobre 2018 nel solo tratto tra Capo Tenna e le Pisciarelle, a q.845 m s.l.m.). Sarà quindi necessario attendere la raccolta delle successive osservazioni di maggiore ampiezza temporale previste nel programma di attività.

Nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Tenna le acque del corso d'acqua principale hanno valori medi di CE compresi tra 211 e 232 µS/cm, mentre le acque del Fosso Le Vene (in destra idrografica) hanno valori relativamente più bassi (176 µS/cm) e quelle dei fossi in corrispondenza del sentiero per San Leonardo (in sinistra idrografica) hanno valori più elevati (circa 275 µS/cm). Più a valle, le acque del gruppo sorgivo delle Pisciarelle (in destra idrografica; circa 240 µS/cm) hanno valori simili a quelle del Tenna. Anche in quest'area di studio le suddette differenze di valori possono far pensare a differenti percorsi e/o origini delle acque dei differenti corsi d'acqua; pur sempre nell'ambito dell'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo, il Tenna drenerebbe in prevalenza il fianco E del M. Bove sud (connesso con l'acquifero sospeso della Maiolica), il Fosso Le vene convoglierebbe il drenaggio del fianco N del M. Sibilla (connesso con la parte di alta quota dell'Acquifero calcareo basale) e i Fossi lato San Leonardo raccoglierebbero le acque del fianco S del M.Priora (connesso con la parte intermedia dell'Acquifero calcareo basale). Le temperature di tutte le acque suddette sono tra gli 8 e i 9 °C (tranne le acque del Fosso Le Vene di circa 11°C). I valori dei pH delle acque del Fiume Tenna sono invece tra 7.5-7.9 (moderatamente alcaline) mentre le acque del Fosso Le Vene hanno valori di 7.2 (neutre), quelle dei fossi lato San Leonardo hanno valori di 8.1 (mediamente alcaline) e quelle delle Pisciarelle valori simili a quelle del Tenna di circa 7.5 (moderatamente alcaline).

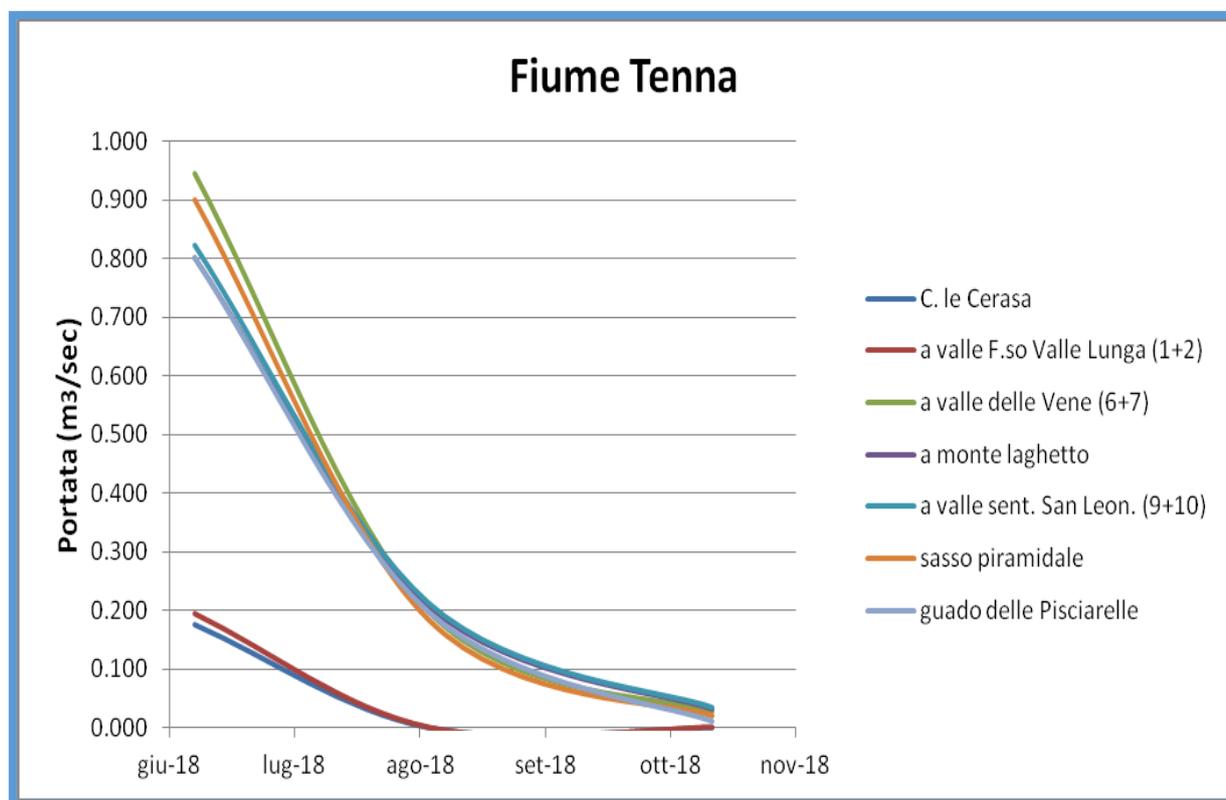


Figura 11: Diagramma delle variazioni della portata nel tempo nei punti di controllo dell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Tenna.

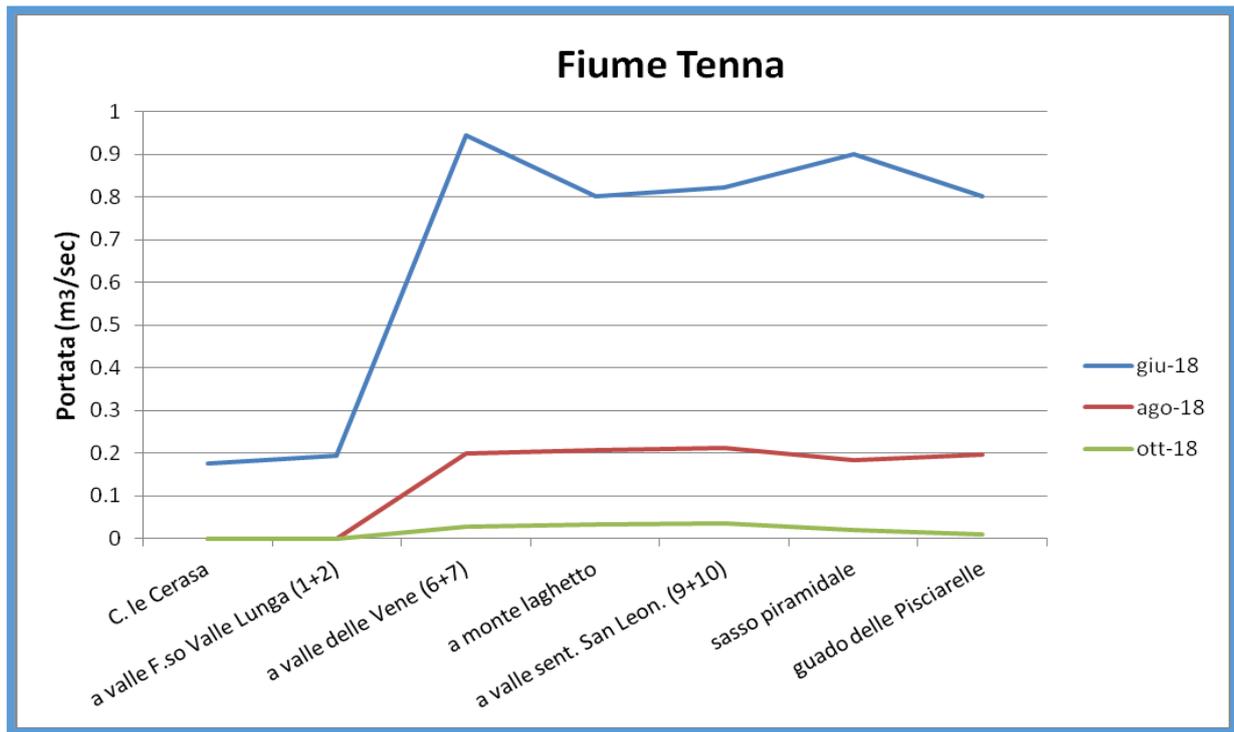


Figura 12 Diagramma delle variazioni della portata nei punti di controllo selezionati lungo l'alveo del Fiume Tenna durante le varie campagne di monitoraggio.

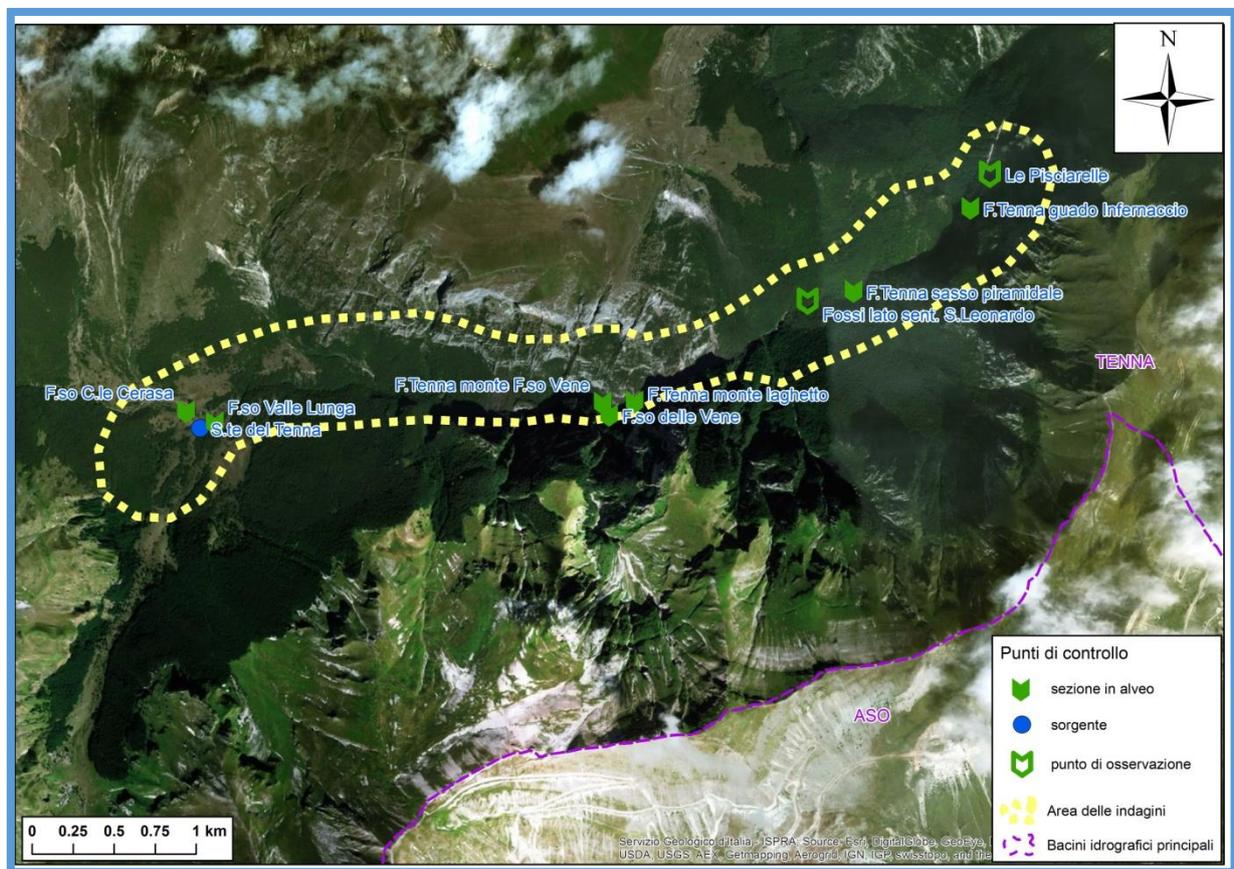


Figura 13 Carta dell'ubicazione dei punti di controllo nell'area di indagine delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Tenna.

3.2.4. AREA DEL LAGO DI PILATO

Nell'area del Lago di Pilato (Fig. 2) è stata verificata l'assenza di evidenze geomorfologiche di rotture legate alla sequenza sismica del 2016-2017 (a parte la presenza di alcuni massi franati per crollo dalle coste di Monte Redentore-Scoglio del Lago) che possano giustificare la situazione di crisi dei livelli del lago nell'estate 2017, che probabilmente è imputabile principalmente a condizioni meteo-climatiche instauratesi nel corso dell'inverno-primavera del 2016-2017 (precipitazioni ridotte, soprattutto quelle nevose). Per il resto, le osservazioni relative al presente studio hanno evidenziato che il livello del lago dai suoi valori di quota di massimo invaso di circa 1960 m s.l.m. del periodo maggio-giugno (completamento dello scioglimento delle nevi) è sceso piuttosto rapidamente fino alla quota di circa 1955 m s.l.m. relativa alla Sorgente del Lago, sorgente di trabocco che funge da sfioro, per poi proseguire più lentamente a diminuire per effetto dell'evaporazione e di una ancora non nota prevedibile infiltrazione attraverso i terreni di letto dei due bacini, ormai separati, fino ai livelli minimi osservati a novembre (in anni particolarmente siccitosi i livelli diminuiscono fino all'essiccazione del lago).

In accordo con la prevalente provenienza della ricarica del lago dallo scioglimento delle nevi e dalle precipitazioni è il basso valore di conducibilità elettrica specifica delle sue acque (da 60-110 $\mu\text{S}/\text{cm}$ durante lo scioglimento delle nevi nel lago e fino a circa 130 $\mu\text{S}/\text{cm}$ dopo il loro scioglimento) rispetto alle acque degli acquiferi carbonatici dell'area sibillina (180-640 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

Per quanto attiene all'area del Lago di Pilato, rispetto alle acque analizzate nelle altre aree, i valori di CE sono sensibilmente più bassi (120-125 e 133 $\mu\text{S}/\text{cm}$, rispettivamente per le acque del lago e della Sorgente del Lago). I valori di temperatura (mediamente 12-13 °C) e di pH (mediamente 8.5; 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. Per la Sorgente del Lago, che ha carattere temporaneo, è stato possibile rilevare solo a luglio 2018 una temperatura di 4 °C ed un pH di 8.3 (mediamente alcaline).

Durante un sopralluogo preliminare eseguito ad inizio giugno 2017 è stato effettuato da ISPRA un rilievo fotogrammetrico con drone dell'area del Lago di Pilato. Le prime elaborazioni relative a tali indagini nell'area del lago hanno riguardato la ricostruzione di un mosaico di immagini planimetriche (Fig. 14), della batimetria del bacino lacustre (Fig. 15) e di una sezione geologica preliminare (Figg. 16 e 17). I dati ottenuti dai suddetti elaborati contribuiranno nel proseguimento delle attività previste alla definizione delle variazioni nel tempo dell'estensione e dei volumi del lago.

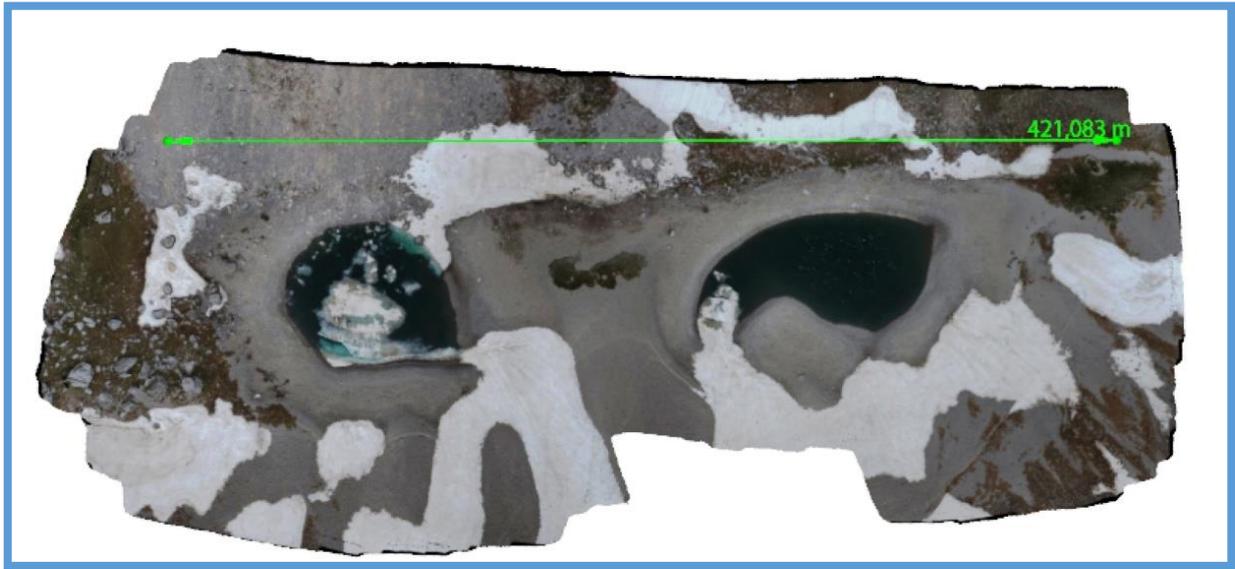


Figura 14: Ortofotomosaico delle immagini da drone riprese ad inizio giugno 2017 nell'area del Lago di Pilato.

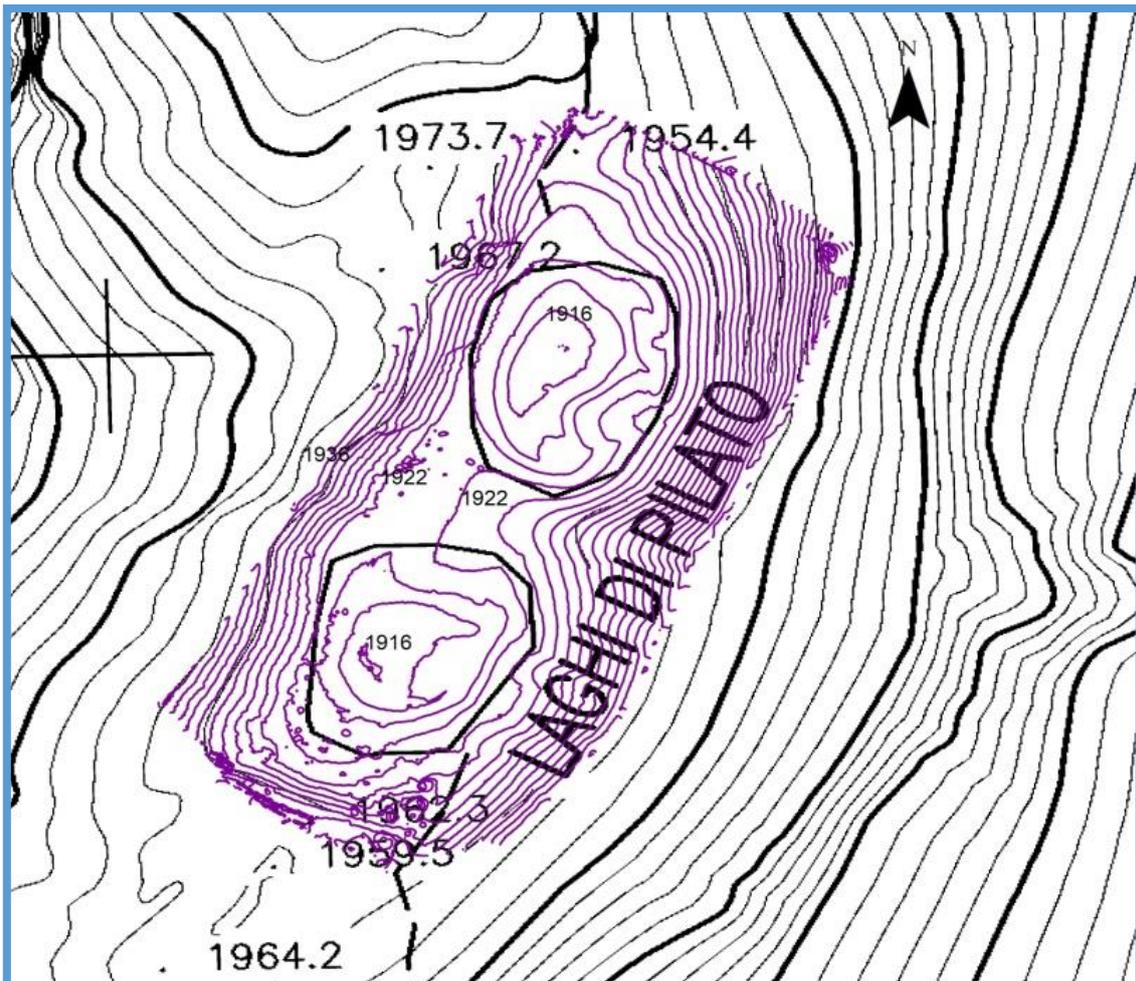


Figura 15: Ricostruzione della batimetria del bacino lacustre del Lago di Pilato elaborata dalle immagini da drone al 1 giugno 2017.

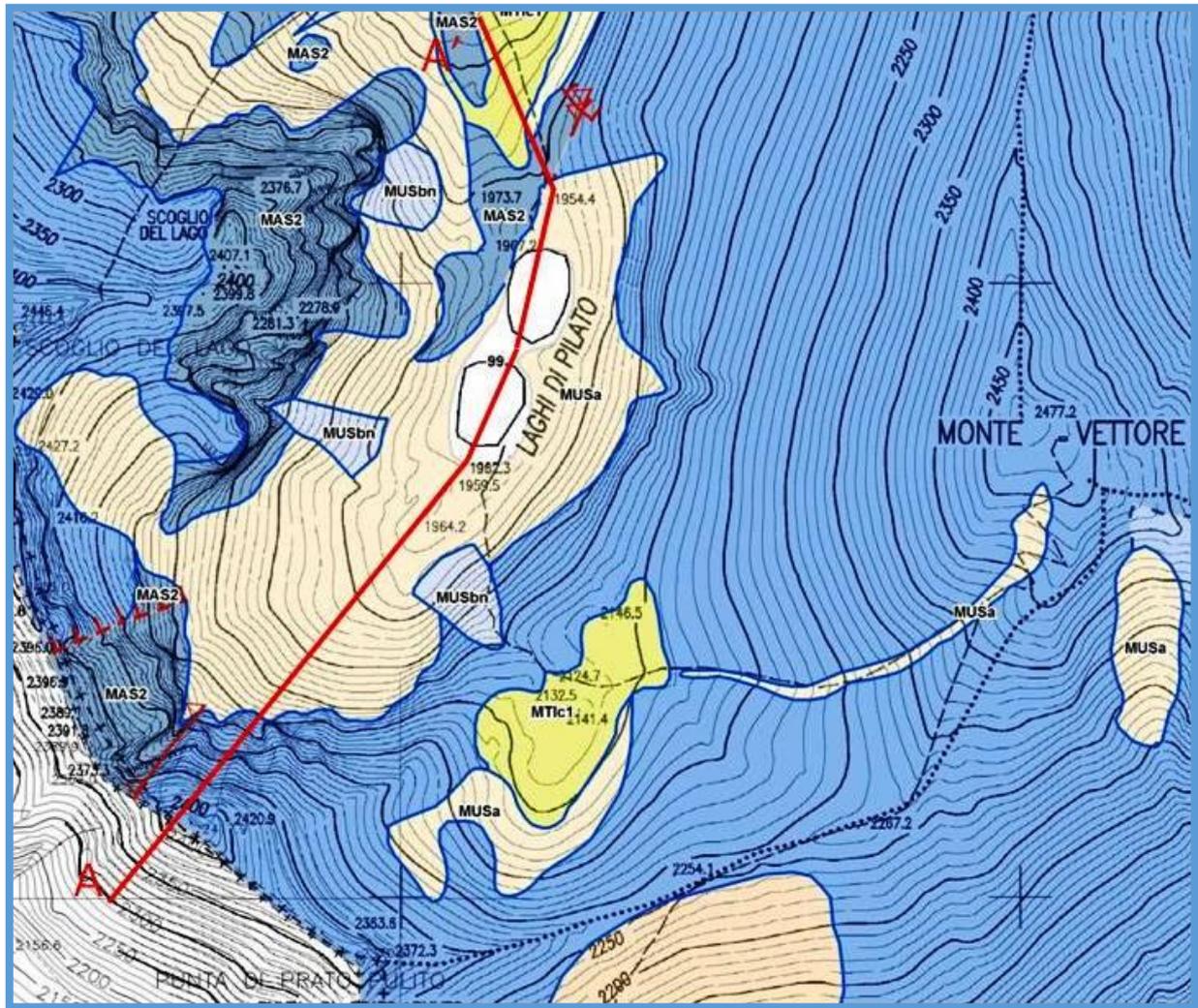


Figura 16: Traccia della sezione geologica dell'area del Lago di Pilato riportata in figura 17.

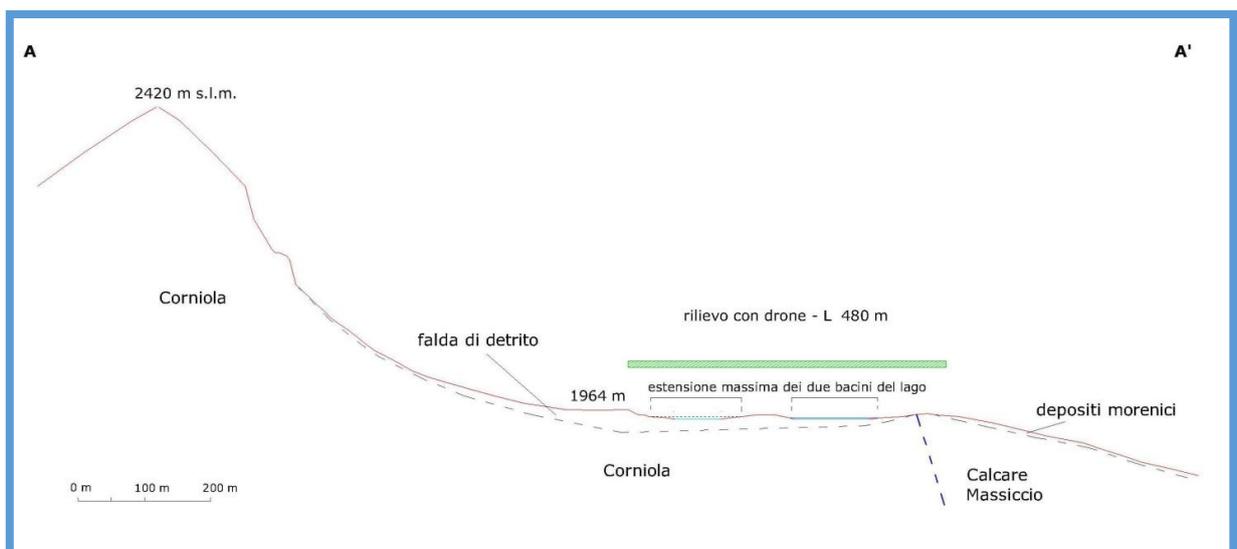


Figura 17: Sezione geologica (traccia di sezione in Fig. 16) nell'area del Lago di Pilato integrata con informazioni ottenute dalle immagini da drone.

3.2.4.1. Prime indagini geofisiche nell'area del Lago di Pilato

In corrispondenza del sito dei Laghi di Pilato in data 26 novembre 2018 sono state realizzate n.2 indagini di sismica attiva in onde superficiali, denominate SW1 e SW2, per la caratterizzazione del sottosuolo in termini di velocità delle onde di taglio (V_s), parametro direttamente correlato al grado di rigidità del deposito. L'indagine è stata realizzata allo scopo di fornire un contributo per la stima dello spessore dei depositi detritici al di sopra del bedrock roccioso. Per l'acquisizione dei dati in entrambe i siti è stata realizzata una simulazione multicanale, utilizzando un singolo ricevitore a 3 componenti e n. 9 punti di energizzazione su ciascun sito, equidistanti tra loro 2,5 metri. Le onde superficiali sono state prodotte energizzando il terreno verticalmente con massa battente (>20 kg) a distanza di 5 metri (minimum offset) dal primo ricevitore.

I sismogrammi sono stati registrati per una lunghezza pari a 1 s, la registrazione è avvenuta utilizzando un intervallo di campionamento del segnale pari a 1 ms. La dispersione delle onde di superficie, in particolare della componente verticale delle onde di Rayleigh, è stata analizzata mediante il software winMASW 7.2 Academy (www.eliosoft.it). L'ubicazione delle due linee di acquisizione è riportata nella Figura 18.

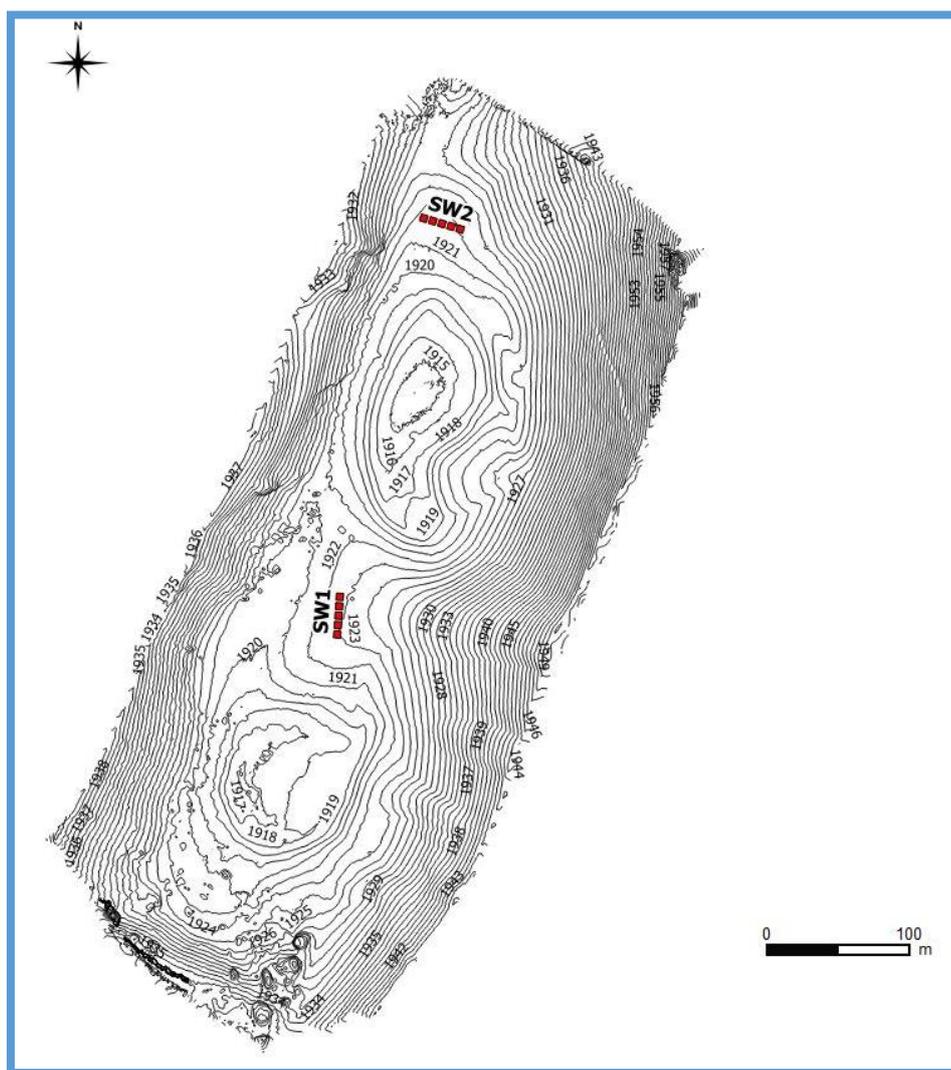


Figura 18: Ubicazione delle aree test di sismica attiva.

Per il sito SW1 è stato ottenuto il profilo di velocità illustrato in Figura 19, in base al quale lo spessore massimo di detrito è stato stimato in questi punti pari a circa 12 m. La velocità attribuita alla coltre di detrito varia, per questo sito, da valori di 320 m/s in superficie fino a oltre 900 m/s in profondità.

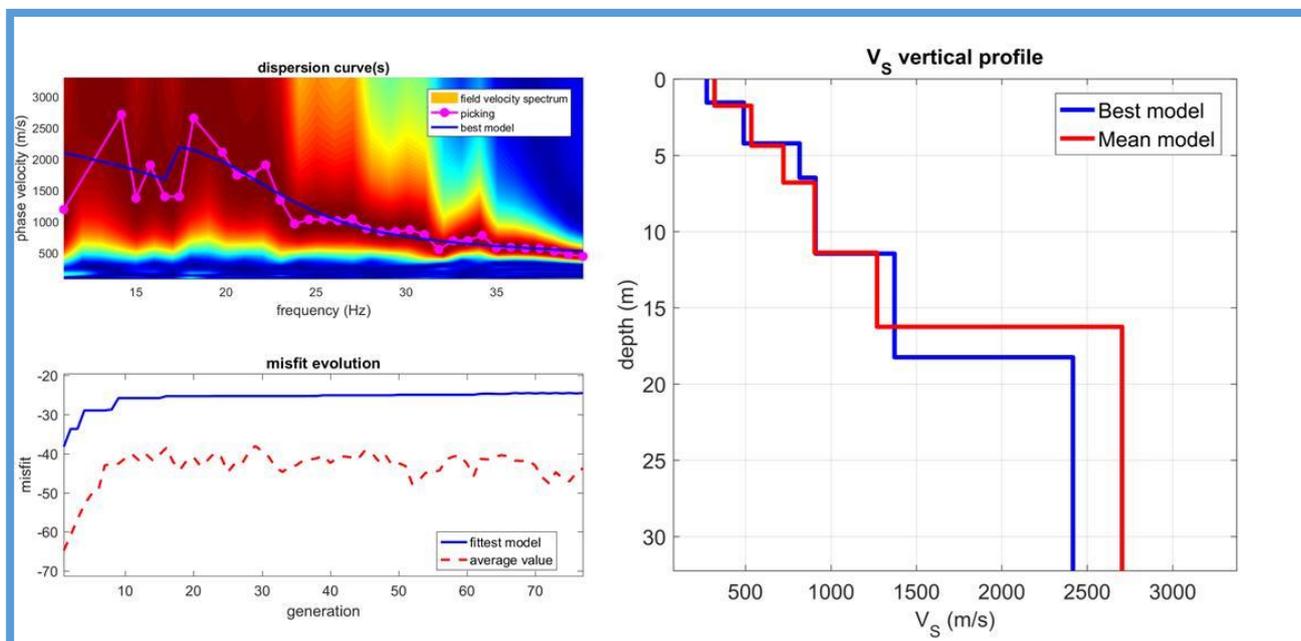


Figura 19: Risultato dell'elaborazione del sito test SW1 ubicato in posizione intermedia tra i due laghetti.

Per il sito SW2 è stato ottenuto il profilo di velocità illustrato in Figura 20, sulla base del quale è stato stimato uno spessore massimo di detrito di circa 15 m con velocità V_s variabile da 310 m/s in superficie fino a circa 800 m/s in profondità.

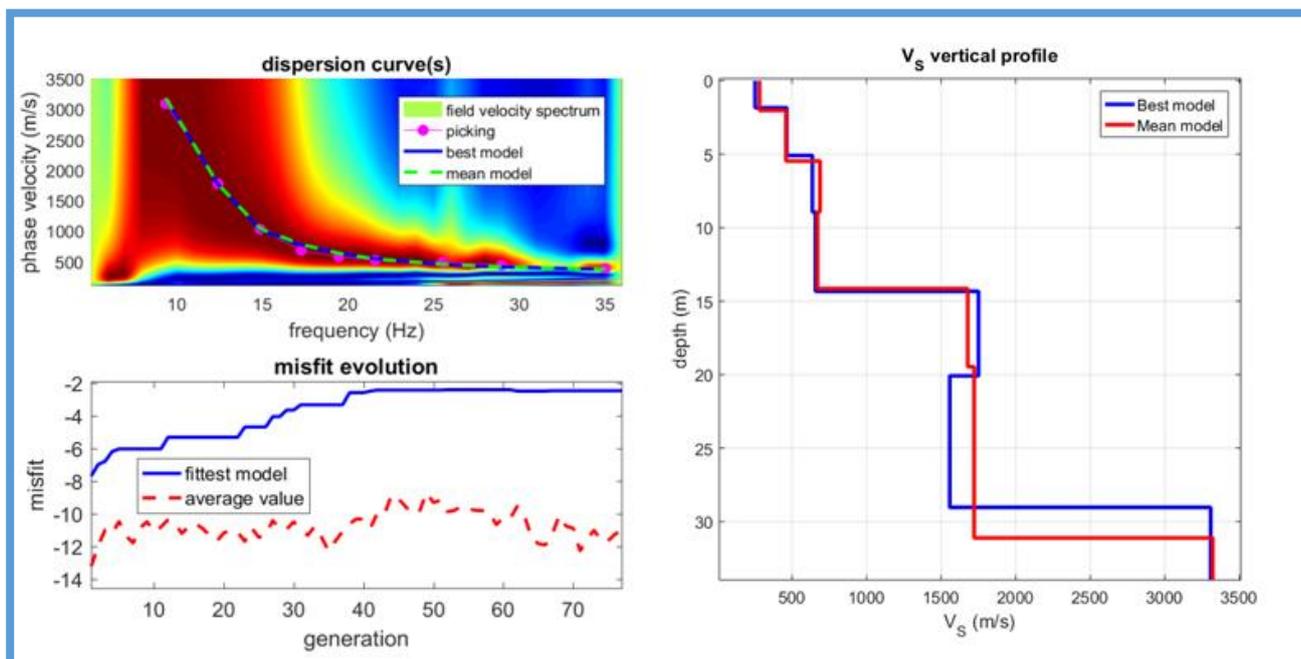


Figura 20: Risultato dell'elaborazione del sito test SW2 ubicato a nord dei laghetti.

In termini generali la qualità dei dati registrati è risultata migliore presso il sito SW2 e ciò si riflette nella maggiore affidabilità del modello di velocità. Presso il sito SW1, a causa del basso rapporto segnale/rumore contenuto nei sismogrammi, il modello è senz'altro affetto da una maggiore imprecisione. Inoltre per il sito SW1 si è ottenuta una minore penetrazione in profondità: ciò potrebbe essere imputabile all'utilizzo di una massa inadatta per le energizzazioni (20 kg).

3.2.4.2. Considerazioni per la programmazione di ulteriori indagini geofisiche

Sulla base dei test effettuati, si ritiene che l'eventuale utilizzo di prospezioni sismiche multicanale per ottenere profili di velocità 2D (tomografia) in onde P possa soffrire di severi limiti di utilizzo, a causa in particolare della presenza di materiale detritico sciolto e grossolano fin dalla superficie che rende l'accoppiamento al terreno dei sensori estremamente difficile da ottenere. D'altra parte, seppure con le difficoltà commisurate alla particolarità del sito di indagine, l'utilizzo del metodo in onde superficiali ha consentito di ottenere informazioni sufficientemente attendibili in termini di rigidità dei terreni (onde S). Va tenuto conto che ulteriori limitazioni, per entrambi i metodi, derivano dalla impossibilità di utilizzare sorgenti sismiche, quali p.es. massa battente >100 kg o esplosivo, che risulterebbero senza dubbio più adeguate.

Sulla base delle osservazioni condotte durante il sopralluogo e tenuto conto dello spessore massimo ipotizzato per la coltre dei depositi detritici (< 20m), si ritiene possibile l'utilizzo del metodo GPR (Ground Probing Radar) con antenna schermata da 100 MHz e da 50 MHz non schermata. Tale metodologia risulterà particolarmente adatta a investigare la coltre di depositi detritici lungo profili di acquisizione (quindi 2D) anche in presenza di condizioni topografiche particolarmente difficili e con presenza di copertura nevosa.

Ulteriore contributo alla ricostruzione delle geometrie sepolte potrebbe essere ottenuto mediante prospezione geoelettrica con metodo della resistività (ERT) ma l'ottenimento di risultati soddisfacenti è vincolato, come per le indagini sismiche, alla possibilità di ottenere un adeguato contatto tra sensori e terreno, in particolare nel caso di indagini ERT, sia per l'immissione di una adeguata quantità di corrente elettrica nel sottosuolo che per la misura della differenza di potenziale indotta artificialmente nel terreno stesso. In base alle considerazioni sopra riportate, si ritiene che possano essere realizzate:

- indagini (2D) GPR con antenna schermata da 100 MHz e da 50 MHz non schermata;
- indagini sismiche (1D) in onde superficiali;
- indagini (2D) geoelettriche con metodo della resistività.

3.3. CONCLUSIONI PRELIMINARI E SVILUPPI DELLO STUDIO IDROGEOLOGICO

Al momento è possibile proporre alcune considerazioni preliminari di sintesi sulla base degli elementi rilevati nella prima fase di studio, relativa all'intervallo giugno-novembre 2018, nella quale si è provveduto allo studio delle variazioni delle condizioni idrogeologiche avvenute a carico di alcune sorgenti, corsi d'acqua e laghi montani dei Monti Sibillini.

Le aree scelte come oggetto di studio sono: 1) la sorgente del Torbidone, la Piana di Norcia e le risorgive delle Marcite; 2) le sorgenti e il corso dell'alta valle del F. Nera; 3) le sorgenti del F. Tenna; 4) il Lago di Pilato.

Le aree d'interesse del presente studio sono di estensione limitata rispetto a quella del territorio del Parco Nazionale dei Monti Sibillini, ma rivestono un ruolo chiave per importanza idrogeologica e strategica nella gestione delle risorse idriche sibilline.

Le misure che saranno raccolte nell'ambito dello studio proseguiranno per due anni totali così da comprendere due cicli di magra e due di morbida. Le misure raccolte in questo primo periodo (giugno-novembre 2018) rispecchiano la situazione della prima fase di magra prevista e sono rappresentative dell'esaurimento delle portate dovute all'acqua accumulata negli acquiferi durante la ricarica nel periodo piovoso e possono quindi dare indicazione riguardo al flusso di base del corrente anno idrologico.

Gli areali di studio sono stati segnalati per alterazioni e modifiche alle condizioni idrogeologiche consistite in un aumento della disponibilità di risorsa idrica nell'area della sorgente del Torbidone e delle risorgive delle Marcite e nell'area delle sorgenti e del corso dell'alta valle del F. Nera. Si è al contrario riscontrata una diminuzione di risorsa alle sorgenti del F. Tenna. L'area del Lago di Pilato è stata invece scelta per verificare eventuali effetti su questo bacino montano sede della presenza endemica del crostaceo Chirocefalo del Marchesoni.

Nell'area Torbidone-Piana di Norcia-Marcite, lungo l'alveo del F. Torbidone tra le quote 602-580 m s.l.m. è stato definito che acqua sorgiva alimenta la Piana di Norcia. È inoltre stata calcolata la portata delle risorgive delle Marcite. L'aumento delle portate tra il pre- e post-sisma nel settore Torbidone-Marcite è circa del 40%. La quota del livello statico rilevata nella Piana di Norcia è compatibile con quelle riportate in letteratura.

Nell'area delle Sorgenti del Nera, a monte dell'area sorgiva principale prevale la funzione di area di ricarica. È stata riscontrata una differenza di incremento delle portate nel Nera tra prima del sisma e dopo sisma, che corrisponderebbe approssimativamente ad almeno un 100% di incremento. Inoltre, indipendentemente dai valori di variazione post sisma dei livelli nella rete di controllo piezometrico, è stata notata una fascia di 40 m di quota in cui la falda interferisce con il fiume provocando effetti significativi.

Riguardo all'area delle Sorgenti del F. Tenna, nel settore di Capo Tenna prevale la funzione di area di ricarica. Procedendo verso valle si alternano settori nei quali acqua sorgiva giunge in alveo (proveniente dalla parte di alta quota dell'Acquifero calcareo basale), poi acqua fluviale va ad alimentare la parte intermedia dell'Acquifero calcareo basale e quindi tratti che testimoniano scambi complessi tra falda e fiume nel settore di bassa quota dell'Acquifero calcareo basale.

Nell'area del Lago di Pilato è stata verificata l'assenza di evidenze geomorfologiche di rotture legate al sisma 2016-2017 che possano giustificare la situazione di crisi dei livelli del lago nell'estate 2017, che probabilmente è imputabile alle condizioni meteo-climatiche manifestatesi nell'inverno-primavera 2016-2017. Per il resto si è notato che il livello del lago dalla sua quota di massimo invaso nel periodo maggio-giugno (completamento dello scioglimento delle nevi) scende

piuttosto rapidamente fino alla quota della Sorgente del Lago, che funge da sfioro, per poi diminuire più lentamente per effetto dell'evaporazione e di una ancora non nota prevedibile infiltrazione attraverso i terreni del suo letto fino ai livelli minimi che, in anni particolarmente siccitosi, portano alla sua essiccazione. Il basso valore di conducibilità elettrica specifica delle acque del lago è in accordo con la prevalente provenienza della ricarica del lago dallo scioglimento delle nevi e dalle precipitazioni.

Per quanto concerne i parametri idrochimici delle acque campionate nei punti di controllo selezionati nelle varie aree di studio, sono state evidenziate sostanziali differenze tra le aree di studio solo riguardo ai valori di conducibilità elettrica specifica. Nell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite le acque hanno valori di CE più elevati rispetto a quelli più bassi e sostanzialmente più simili tra loro misurati nelle aree sorgive del Tenna e del Nera. La provenienza delle acque da differenti settori dei vari acquiferi presenti nell'area dei Monti Sibillini potrebbe esserne la causa. I Modelli idrogeologici concettuali degli acquiferi che saranno delineati nel seguito dello studio potranno confermare questa ipotesi preliminare.

Inoltre, nell'area del Torbidone-Piana di Norcia-Marcite ci sono evidenze che possono far pensare a differenti percorsi e/o origini delle acque della sorgente del Torbidone e della Sorgente San Martino, probabilmente collegate a diversi percorsi idrici sotterranei provenienti, rispettivamente, dal settore SE di alta quota dell'unità idrogeologica M.Utero-Piana di Norcia e dal settore SE di monte dell'unità idrogeologica M.Vetica-M.Moricone. Nel settore delle risorgive delle Marcite si ha probabilmente un incremento di acque provenienti dal circuito di bassa quota dell'Acquifero carbonatico basale.

Anche nell'area delle sorgenti e dell'alto corso del Fiume Tenna è possibile ipotizzare differenti percorsi e/o origini delle acque dei differenti corsi d'acqua, pur sempre nell'ambito dell'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo, con provenienza per il Tenna dal fianco E del M.Bove sud (connesso con l'acquifero sospeso della Maiolica), per il Fosso Le vene dal fianco N del M.Sibilla (connesso con la parte di alta quota dell'Acquifero calcareo basale) e per i Fossi lato San Leonardo dal fianco S del M.Piora (connesso con la parte intermedia dell'acquifero calcareo basale).

Riguardo all'area delle sorgenti e dell'alta valle del Fiume Nera, le acque di questo fiume hanno una provenienza probabilmente diversa, pur sempre nell'ambito dell'unità idrogeologica Piano Grande-M. delle Prata-Alta Valnerina, da quelle che emergono a Fonte Spugna (dal rilievo di M.Prata, probabilmente collegato idraulicamente all'unità idrogeologica M.Vettore-M.Sibilla-M.Castel Manardo) ed al Ravarro dell'Acqua (dal rilievo di M.Spina di Gualdo).

Per quanto attiene all'area del Lago di Pilato, le caratteristiche delle acque sono in accordo con il fatto che si tratta di acque in sostanza stagnanti e poco ossigenate. Nel prossimo report saranno riportate le informazioni, in questo momento in corso di elaborazione, relative alla ricostruzione della batimetria del lago, al calcolo dei volumi idrici del bacino nei vari periodi osservati, alla stima dell'evaporazione dalla superficie lacustre e al confronto con le informazioni relative ad anni precedenti rispetto al presente studio.

Le misure effettuate confluiranno a fine progetto nel modello idrogeologico concettuale che sarà proposto per ciascuna area. I modelli idrogeologici concettuali potranno contribuire ad adottare le più opportune azioni per la gestione sostenibile di queste ingenti quantità di risorsa idrica sotterranea. Alla fine del progetto sarà anche possibile suggerire indicazioni sulla probabile evoluzione della quantità della risorsa idrica disponibile nel breve-medio termine. Sempre alla fine del progetto sarà possibile anche verificare l'affidabilità della rete di controllo preliminare

adottata, che potrà essere proposta in una forma più avanzata con le modalità nello spazio e nel tempo che saranno ritenute più opportune.

Al momento è stato possibile solo un confronto approssimativo delle nostre misure eseguite tra giugno e novembre 2018 con alcuni dati pregressi resi disponibili dalla letteratura o da rapporti inediti di enti pubblici e privati (es. enti gestori di acquedotto, enti locali e altri enti di ricerca). Il confronto di dettaglio con i dati disponibili provenienti dai suddetti studi, al momento in corso di acquisizione, sarà presentato in occasione del prossimo report sullo stato delle attività svolte. Pertanto, tutte le considerazioni espresse nel presente report dovranno comunque essere verificate dalle successive osservazioni e misure che saranno eseguite nel corso del presente studio e dal confronto con i dati precedenti ed attuali che potranno essere direttamente consultati o messi a disposizione dagli autori.

3.4. STUDIO DELLE CONDIZIONI DI PERICOLOSITÀ DA FRANA LUNGO LA RETE SENTIERISTICA

Lo studio delle condizioni di pericolosità da frana lungo la rete sentieristica ha riguardato due sentieri: il Grande Anello dei Sibillini (GAS), relativamente alla 8^a tappa compresa tra Fonte delle Cacere e Colle Pisciano, ed il Sentiero E4, denominato “La cascata nascosta”.

Nelle pagine seguenti vengono descritti i fenomeni di erosione e dissesto riscontrati e i risultati delle analisi di dettaglio. Un ulteriore paragrafo è dedicato alla descrizione delle ipotesi di intervento.

La documentazione fotografica di dettaglio, ulteriori informazioni di carattere cartografico relative all’assetto geologico e geomorfologico e la localizzazione degli interventi proposti sono riportati nelle tavole fuori testo:

TAV. GAS.1 Carta geologica e Geomorfologica (scala 1: 5.000)

TAV. GAS.2 Carta delle criticità idrogeologiche (scala 1: 5.000)

TAV. GAS.3 Carta degli Interventi (scala 1: 5.000)

TAV. E4.1 Carta geologica e Geomorfologica (scala 1: 5.000)

TAV. E4.2 Carta delle criticità idrogeologiche e dei punti di attenzione (scale varie) 4 tav.

TAV. E4.3 Carta degli interventi (scala 1: 2000) 2 tav.

3.4.1. SENTIERO GRANDE ANELLO DEI SIBILLINI (GAS)

3.4.1.1. Descrizione del sentiero nel tratto di interesse

Il segmento del Grande Anello dei Sibillini compreso tra Fonte delle Cacere e Colle Pisciano si sviluppa nella fascia mediana del settore orientale del massiccio del M. Vettore (Fig. 21), ad una quota compresa tra 1300 e 1350 m s.l.m.

Lungo il sentiero, le litologie prevalenti all’affioramento sono date dai terreni arenaceo-siltosi della formazione del Flysch della Laga, sulle quali risulta sovrascorsa tettonicamente la successione carbonatica del Monte Vettore con un fronte di sovrascorrimento posto poco più a monte, all’incirca alla quota di 1500 m s.l.m. (Fig. 22 e TAV.GAS.1 f.t.).

Soprattutto in prossimità delle incisioni ed al piede delle pareti più ripide, è presente una potente coltre detritica accumulata per effetto di una dinamica morfologica molto attiva, caratterizzata dal prevalere dei fenomeni di tipo gravitativo, favoriti dal disfacimento e dalla degradazione della successione carbonatica fratturata, che si presenta a luoghi tettonizzata.

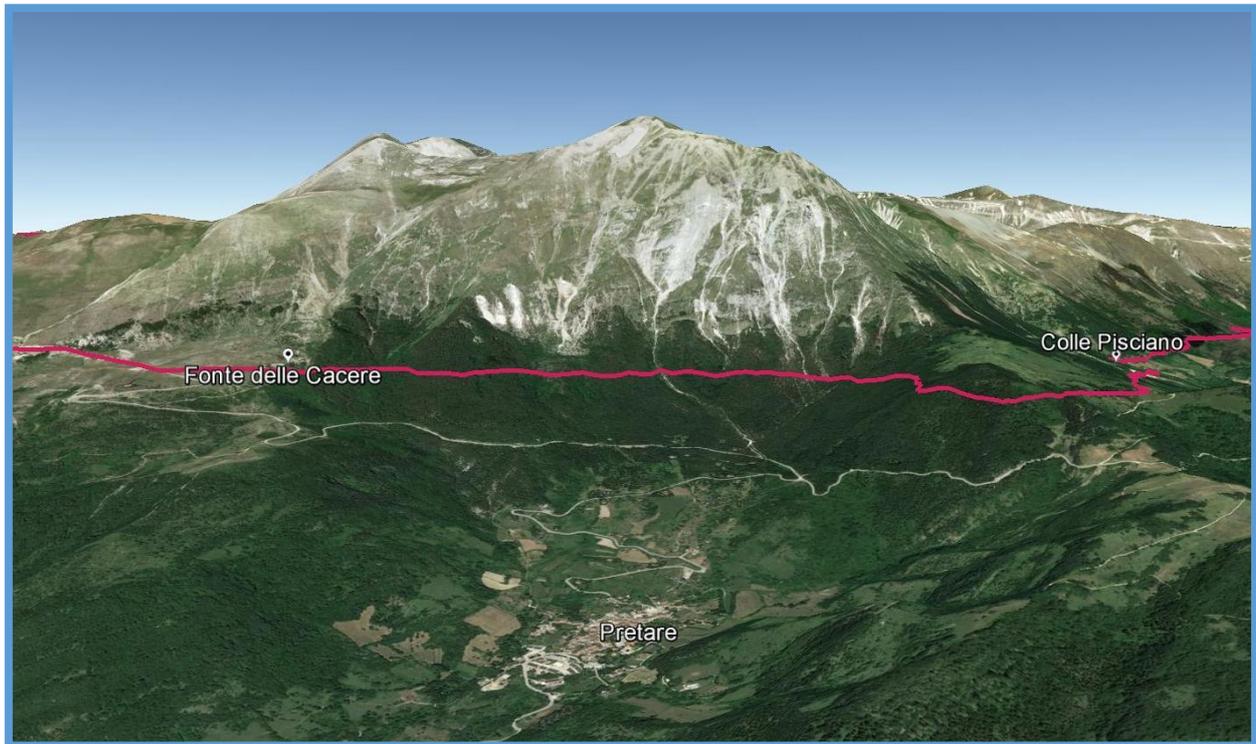


Figura 21: Immagine 3D del versante orientale del M. Vettore (© Google Earth 2018); in viola il sentiero Grande Anello dei Sibillini.

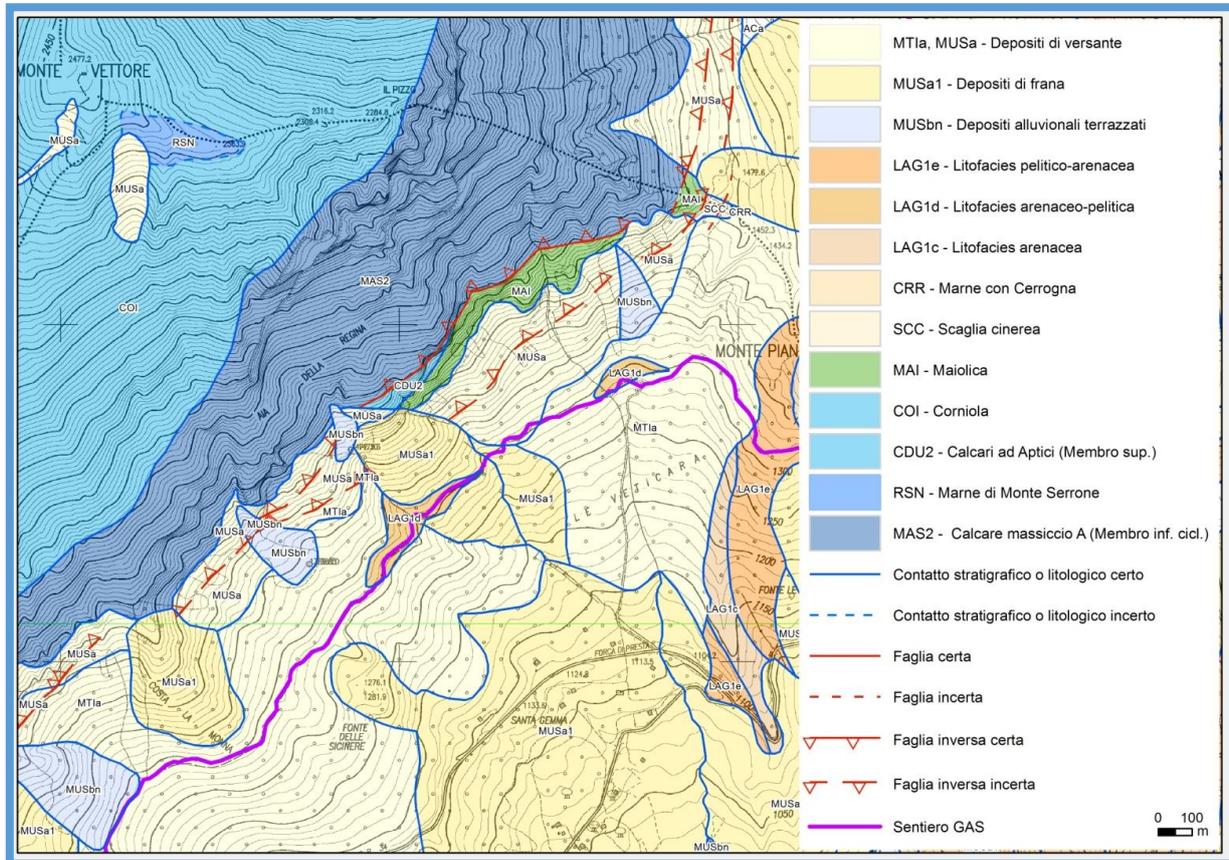


Figura 22: Stralcio della Carta Geologica della Regione Marche (<http://www.regione.marche.it>).

Per quanto riguarda l'assetto morfologico, il sentiero si sviluppa lungo la fascia altimetrica di passaggio tra la fascia sommitale e quella inferiore dell'esteso versante orientale del M. Vettore.

Nella fascia sommitale, che si eleva fino a oltre 2400 m s.l.m., il paesaggio è aspro, ed è caratterizzato dal rapido susseguirsi di versanti ripidi interrotti da guglie, pinnacoli, crinali sottili e incisioni, scarpate molto ripide e continue rotture di pendenza, ed è generalmente spoglio o con rada vegetazione a carattere erbaceo-arbustivo (fig. 23).

La fascia mediana, compresa tra i 1500 m e 1100 m s.l.m., all'interno della quale si sviluppa il sentiero escursionistico, corrisponde alla zona di accumulo delle potenti sequenze detritiche originate dall'erosione e dal disfacimento della sequenza carbonatica sovrascorsa, e presenta un assetto morfologico meno articolato. In confronto alla fascia posta più a monte, risulta relativamente più stabile anche per effetto della presenza di una copertura boschiva continua, ed i fenomeni franosi sono localizzati arealmente.

A valle, si sviluppa la fascia inferiore del versante che si collega all'ambito morfologico vallivo del fiume Tronto, ed è impostato nella formazione del Flysch della Laga, con versanti molto lunghi, da acclivi a molto acclivi (le classi di acclività maggiormente rappresentate sono quelle comprese tra 30° e 45°) a profilo irregolare e improvvise rotture di pendenza legate all'affioramento degli strati più litoidi e delle bancate arenacee.

Il reticolo idrografico superficiale comprende, a partire dal settore più elevato, una rete di piccole incisioni a controllo strutturale che si raccolgono in canali molto sviluppati, tributari del Fosso della Valle dell'Acero e del Fosso di Morricone, a loro volta tributari del Fiume Tronto.

La dinamica morfologica del settore in studio è estremamente attiva, con il prevalere dei fenomeni di degradazione e disfacimento di tipo crio-nivale nella fascia sommitale, dei movimenti in massa gravitativi (frane da crollo nelle sequenze carbonatiche e frane da scorrimento nella falda detritica e nei terreni arenaceo siltosi) e imponenti fenomeni da flusso detritico torrentizio (debris flow) lungo le incisioni e i canali.

In particolare, questi ultimi fenomeni sono in grado di percorrere lunghe distanze, attraversare la fascia boscata, intercettare il sentiero frequentato dagli escursionisti e interessare a valle anche la strada provinciale.

L'innesco è legato ad intensi e prolungati eventi meteorici o al distacco e allo scivolamento della massa nevosa; i debris flow si caratterizzano per una elevata capacità erosiva sul fondo e sulle sponde degli alvei, ed il materiale trasportato è in grado, oltre a percorrere lunghe distanza, di tracimare fuori dall'alveo interessando lateralmente il versante.

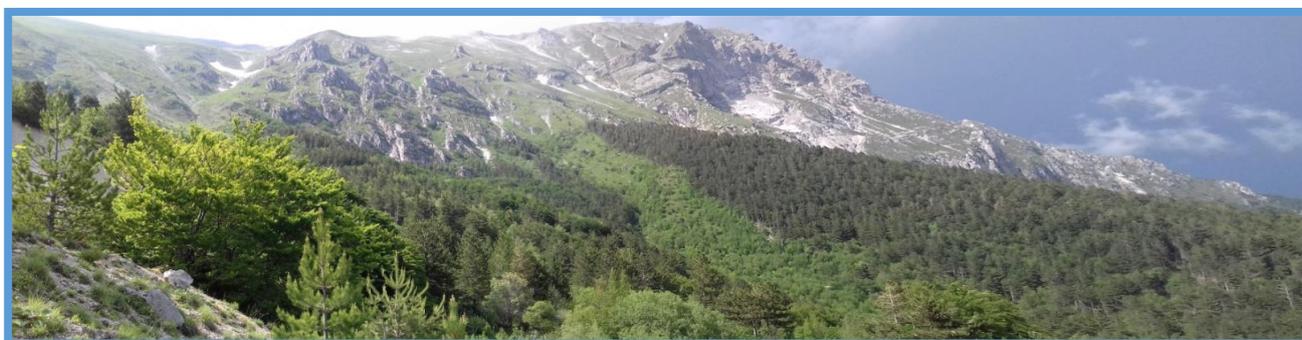


Figura 23: Panoramica dal sentiero, del versante orientale del Monte Vettore.

3.4.1.2. Descrizione delle criticità idrogeologiche

Di seguito vengono descritte le principali criticità idrogeologiche incontrate lungo il sentiero, numerate a partire dall'accesso al sentiero presso Fonte delle Cacere, muovendo da sud ovest in direzione nord est (fig. 24).

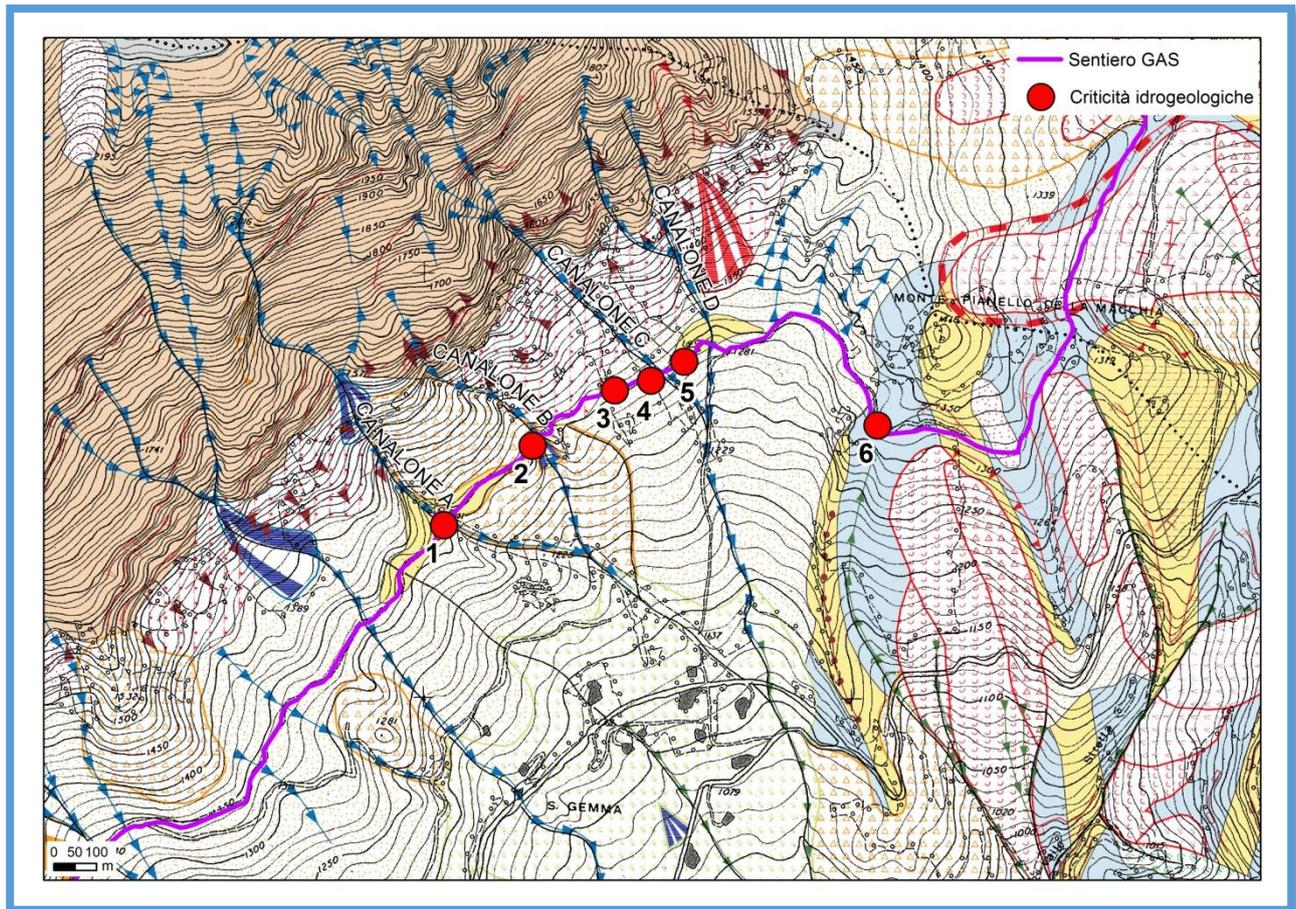


Figura 24: Stralcio dalla Carta Geomorfologica della Regione Marche (<http://www.regione.marche.it>) con indicazione delle criticità idrogeologiche descritte nel testo.

Criticità idrogeologica n. 1

Corrisponde al tratto in cui il sentiero, dopo circa 2 km a partire dalla SP 8 attraversa il canale che ha inizio in località Aia della Regina (canalone A in fig. 21) è stato interessato da un fenomeno di *debris flow*.

In questa area sono stati compiuti diversi sopralluoghi, a partire dal mese di maggio 2018.

Nel corso del primo sopralluogo, sono state verificate e condivise sul terreno con il personale tecnico dell'ente, le informazioni rese disponibili dal Parco. È stato possibile osservare in situ la presenza di materiale detritico e pezzame lapideo di dimensioni da pluricentriche a decimetriche che aveva invaso il sentiero per una lunghezza di una decina di metri, creando un accumulo avente uno spessore di circa 1 metro (Fig. 25 e TAV. GAS.2 f.t.).

L'assetto morfologico riscontrato lungo il sentiero non ne impediva la fruizione sia pure con l'adozione delle consuete procedure di sicurezza per una sentieristica di montagna, e risultava in questa prima fase sufficientemente coerente con le informazioni preliminari raccolte e con l'analisi della documentazione aerofotografica acquisita relativa agli ultimi decenni.



Figura 25: Condizioni del sentiero in corrispondenza con l'intersezione con il canalone proveniente da L'Aia della Regina, nel mese di maggio 2018.

Ulteriori verifiche sul terreno sono state svolte nel mese di luglio 2018; in particolare nel corso di uno dei sopralluoghi è stato ispezionato l'intero tratto del canalone posto tra il sentiero e la ripida scarpata che lo interrompe a monte a quota 1550 m. Il canalone è apparso quasi "soffocato" dal detrito e dai massi, probabilmente mobilizzati e accumulatisi soprattutto a causa degli eventi franosi innescati dalla sequenza sismica del 2016-2017.

Alcuni mesi dopo il primo sopralluogo, lo stato dei luoghi è radicalmente mutato a seguito degli eventi franosi innescati dell'evento piovoso del 15 agosto, che hanno determinato l'interruzione del sentiero (vedi Nota).

Per effetto dei nuovi eventi franosi, il "canalone" si presentava approfondito e ampliato lateralmente (Fig. 26), fino a occupare una sezione media trasversale di oltre 20 metri.

All'interno del canalone è ora riconoscibile una incisione profonda circa 1-2 m e, lateralmente, un susseguirsi di accumuli di pietrame e massi di dimensioni anche superiori a 2-3 m³. L'erosione

esercitata dal flusso detritico ha riportato alla luce una parte di un'opera muraria realizzata in passato (fig. 27).

NOTA

Attraverso la consultazione e l'analisi dei dati presenti nel Sistema Informativo Meteo-Idro-Pluviometrico della regione Marche è stato possibile ricostruire l'evento pluviometrico del mese di agosto 2018. A tal fine, sono state utilizzate le stazioni pluviometriche di Arquata del Tronto, Capodacqua e Montemonaco, prossime al sentiero GAS ed in condizioni altimetriche e di esposizione compatibili; la loro ubicazione è riportata in figura A.

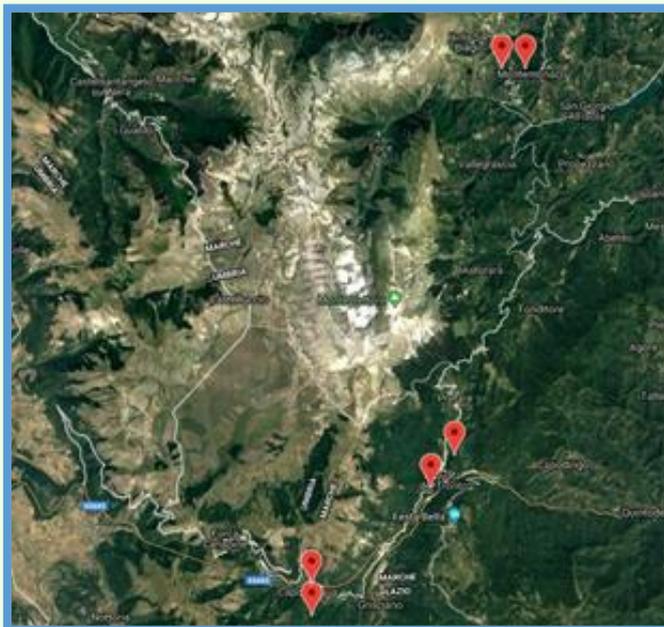


Figura A: Ubicazione delle stazioni pluviometriche citate.

Il giorno 15 del mese di agosto 2018, al pluviometro di Arquata del Tronto sono stati registrati 18 mm di pioggia; il 17 agosto nella stazione di Montemonaco in un'ora è stato registrato un afflusso di 27 mm con un picco di intensità pari a 20 mm in 15 minuti.

In assenza di studi specifici per l'area di interesse, la significatività di tali apporti pluviometrici può essere valutata utilizzando la relazione proposta da CAINE (1980). L'Autore propone una soglia pluviometrica per l'innescio di frane superficiali e debris flow determinata utilizzando i dati relativi ad una settantina di fenomeni avvenuti in diverse zone del mondo, caratterizzate da differenti condizioni geologiche, morfologiche e climatiche. Secondo questa relazione, il verificarsi o meno di una colata, dipende essenzialmente dall'intensità media e dalla durata dell'evento pluviometrico che colpisce l'area ($I=14.82 \cdot D^{-0,39}$). La relazione risulta applicabile per eventi di durata compresa tra 10 minuti e $14,4 \times 10^3$ minuti (10 giorni).

Nel grafico in figura B si osserva che questa soglia, per quanto indicativa, in un arco temporale di quasi 30 anni è stata superata ed anche in maniera rilevante diverse volte, come ad esempio nell'evento dell'agosto 2018.

I fenomeni di erosione e alluvionamento innescati da eventi pluviometrici simili sono quindi da considerarsi piuttosto probabili, se non frequenti, nell'area in studio e devono essere oggetti di analisi specifiche nel momento in cui si decide di mettere in sicurezza in maniera definitiva il tracciato.

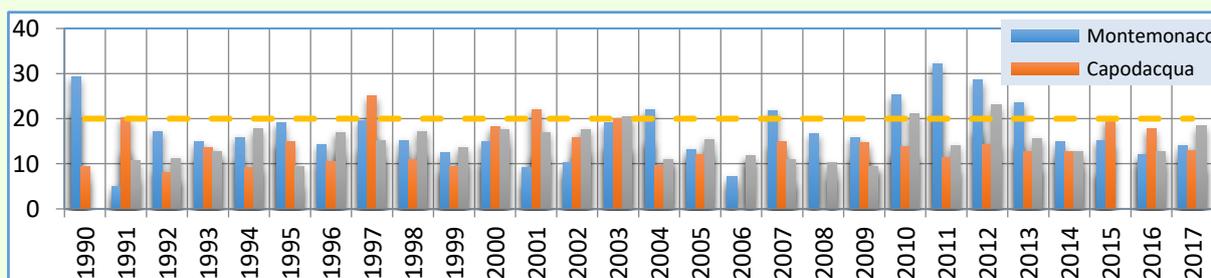


Figura B: Pluviometria eventi estremi 30 minuti.

Dopo questo evento franoso, il tratto del sentiero di attraversamento del canale non può più essere considerato idoneo alla fruizione da parte dell'escursionista.



Figura 26: Condizioni del sentiero in corrispondenza dell'intersezione con il canale proveniente da l'Aia della Regina, nel settembre 2018.



Figura 27 : Particolare della foto precedente. L'erosione prodotta dal flusso detritico ha portato alla luce una preesistente opera muraria.

Criticità idrogeologica n. 2

Corrisponde al tratto in cui il sentiero, ad una distanza di circa 300 m dalla criticità idrogeologica n. 1, attraversa una seconda incisione (canalone "B" in fig. 24).

Anche in questo caso un fenomeno da debris flow innescato dalle piogge di agosto ha radicalmente mutato l'assetto dei luoghi, approfondendo l'incisione preesistente e provocando una frana in sinistra idrografica; il sentiero è di fatto interrotto e non percorribile (figg. 28, 29 e 30).



Figura 28: Attraversamento del sentiero prima dell'evento piovoso di fine agosto 2018, in corrispondenza della attuale criticità n. 2: l'incisione è poco definita e la traccia del sentiero (indicata dalla freccia) è ben riconoscibile



Figura 29: Canalone B: effetti del passaggio del flusso detritico nell'agosto 2018.



Figura 30: Canalone B: una frana da scivolamento ha coinvolto il sentiero (le frecce indicazione la posizione pre-evento).

Criticità idrogeologica n. 3

La presenza di blocchi e massi di dimensioni pluridecimetriche nel bosco, generalmente trattenuti nel loro percorso verso valle dai tronchi degli alberi, è costante in quasi tutto lo sviluppo del sentiero considerato; la criticità idrogeologica n. 3 è riferita a una presenza ancora più massiccia, in cui spiccano le dimensioni di alcuni massi superiori al metro cubo (fig. 31).

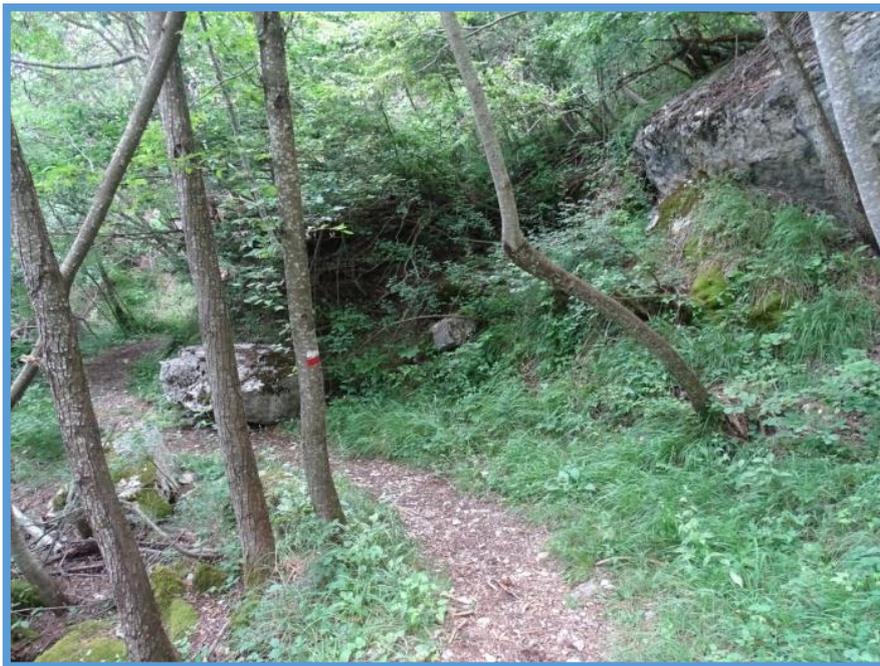


Figura 31: Massi di dimensioni superiori al metro cubo prossimi al sentiero.

Criticità idrogeologiche n.4 e 5

Sono molto ravvicinate e simili tra di loro. In entrambi i casi, similmente a quanto accaduto in corrispondenza della criticità n.1, il sentiero è stato interessato a seguito dell'evento piovoso del 15 agosto 2018, dal passaggio di flussi detritici, che hanno invaso la sede del sentiero depositando un cumulo dello spessore di alcuni metri, re-inciso irregolarmente da profondi solchi dovuti al passaggio della corrente (fig. 32).



Figura 32 Criticità idrogeologica n. 4: il sentiero (linea tratteggiata verde) sommerso dalla massa di detrito e blocchi (la freccia indica la direzione del flusso).

Criticità idrogeologica n.6

La criticità idrogeologica n. 6 corrisponde a un fenomeno franoso di dimensioni modeste attivatosi lungo il versante meridionale di Monte Pianello della Macchia, immediatamente a monte del sentiero in concomitanza della sequenza sismica (fig. 30). La frana ha interessato la porzione superficiale della copertura detritica del versante, con un meccanismo di attivazione del tipo debris slide che, per il limitato spessore del materiale mobilizzato potrebbe essere classificato

anche come un *soil slip*. Al momento del sopralluogo (maggio 2018) il materiale franato sul sentiero risultava già rimosso (fig. 33).



Figura 33: Frana da scivolamento superficiale a danno della copertura detritica del versante.

3.4.2. STUDIO DI DETTAGLIO FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE DEGLI INTERVENTI NELLE AREE IN FRANA

Allo scopo di individuare le tipologie di intervento da realizzare lungo la rete sentieristica nelle aree interessate dalle principali criticità, è stato svolto uno studio di dettaglio mirato alla definizione del contesto geomorfologico e morfoevolutivo responsabile del verificarsi delle criticità, articolato in tre fasi.

- Attraverso il confronto di immagini satellitari pre e post evento meteorico del 15 agosto 2018, sono state delimitate le aree in frana a monte e a valle del sentiero. L'elaborazione ha riguardato l'intero versante orientale del M. Vettore (settore A in fig. 34).
- Sono stati svolti rilievi *in situ*, comprendenti rilievi geomorfologici di dettaglio, rilievi morfometrici speditivi e rilievi fotogrammetrici di prossimità mediante drone su specifiche aree (settore B in fig. 34).
- Infine, sono state eseguite elaborazioni dei dati acquisiti finalizzate a:
 - a) stima del volume del materiale mobilizzabile;
 - b) valutazione di scenari di evento in relazione al verificarsi di ulteriori fenomeni.

Le elaborazioni hanno riguardato gli areali riportati come settore C in fig. 34.

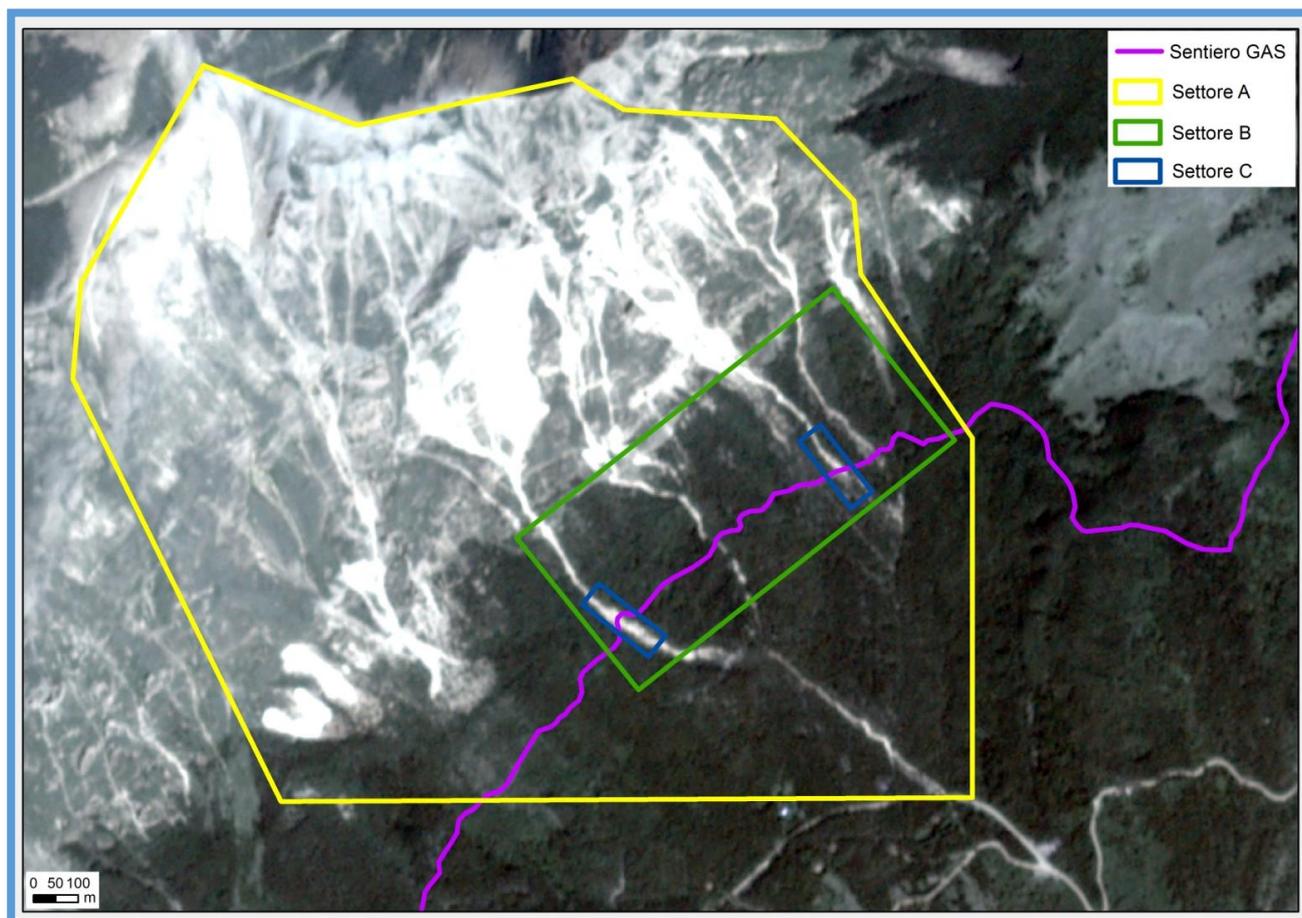


Figura 34: Areali interessati dalle attività di studio di dettaglio.

3.4.3. ANALISI DELL'EVOLUZIONE GEOMORFOLOGICA TRAMITE CONFRONTO DI IMMAGINI SATELLITARI

Il confronto tra immagini satellitari pre e post-evento pluviometrico del 15 agosto 2018 ha consentito la delimitazione areale speditiva delle criticità idrogeologiche precedentemente esposte.

Le immagini utilizzate (fig. 35), distribuite da Planet Labs Inc., derivano dall'acquisizione di satelliti di tipo PlanetScope, nei giorni 2 luglio (pre-evento) e 12 settembre (post-evento); presentano una risoluzione geometrica di circa 3 m e sono disponibili in 4 bande (visibile - RGB ed infrarosso vicino - NIR).

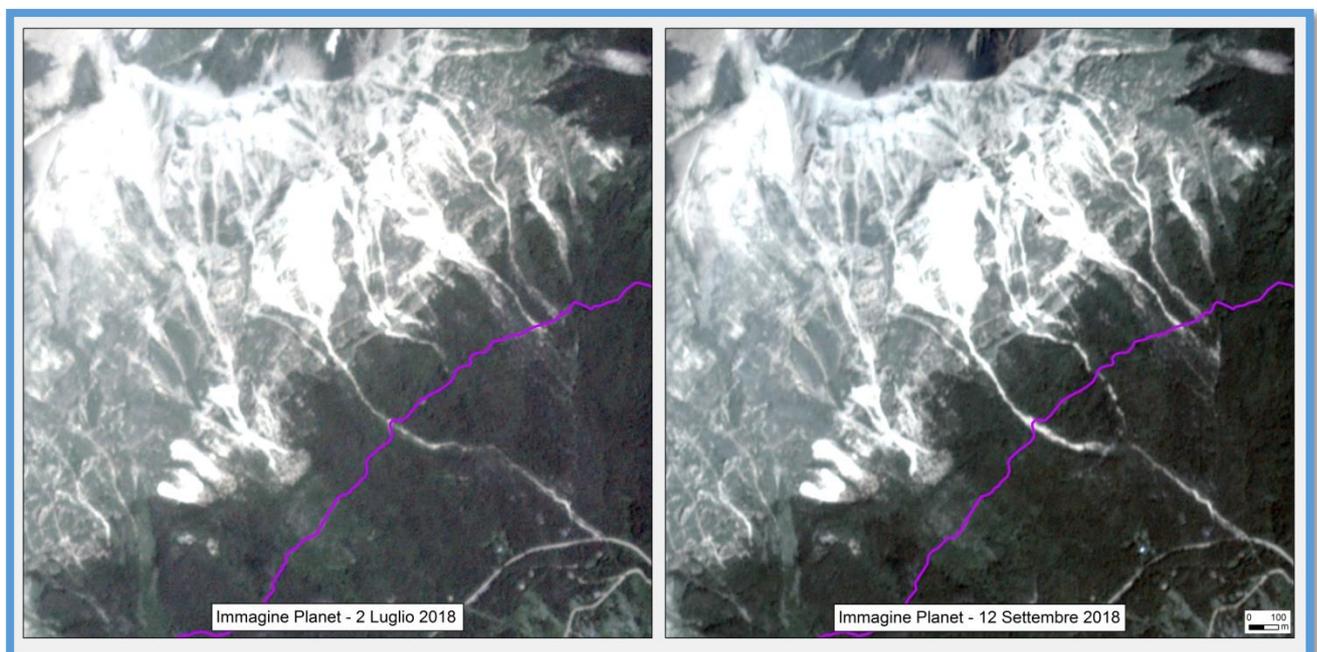


Figura 35: Immagini Planet a 4 bande relative al 2 luglio e 12 settembre 2018 (in viola è riportato il sentiero GAS).

La metodologia utilizzata consiste nell'analisi del cambiamento della copertura del suolo ("change detection"), in cui il cambiamento è riferito alla scomparsa della copertura vegetale e all'affioramento del bedrock o all'accumulo di detrito a seguito di un evento in corrispondenza delle sorgenti che alimentano i canali soggetti a fenomeni di debris flow oggetto di studio.

Il *software* utilizzato è il Semi-Automatic Classification Plugin (Congedo L., 2016), un *open source plugin* gratuito per QGIS che permette di effettuare classificazioni di immagini satellitari. In particolare è stato utilizzato lo strumento *Spectral Distance* che consente il calcolo della distanza spettrale tra ogni *pixel* corrispondente nelle due immagini pre e post-evento; l'algoritmo di calcolo delle distanze utilizzato è lo *Spectral Angle Mapping (SAM)*, che prevede il calcolo dell'angolo spettrale tra ogni firma spettrale di un *pixel* dell'immagine pre-evento e la firma spettrale dello stesso *pixel* nell'immagine post-evento.

Il risultato dell'analisi produce una nuova immagine i cui *pixel* esprimono il valore di angolo spettrale, variabile da 0, quando le firme sono identiche (nessun cambiamento avvenuto tra le due immagini), a 90, quando le firme sono completamente differenti, ovvero in corrispondenza di quei *pixel* nei quali esiste un forte cambiamento spettrale tra l'immagine pre e post-evento. I *pixel* a più

elevato valori di angolo spettrale (evidenziati con colori rossi intensi nella mappa a sinistra della fig. 36) evidenziano le porzioni di territorio invase dal detrito a seguito dell'evento pluviometrico di fine agosto; la mappa ha permesso una prima delimitazione dei limiti poligonali delle aree in frana che hanno generato le criticità lungo il sentiero (mappa a destra della fig. 36) le cui geometrie hanno trovato riscontro nei rilievi fotogrammetrici di prossimità mediante drone e nei rilievi speditivi sul materiale mobilizzabile (par. 3.2).

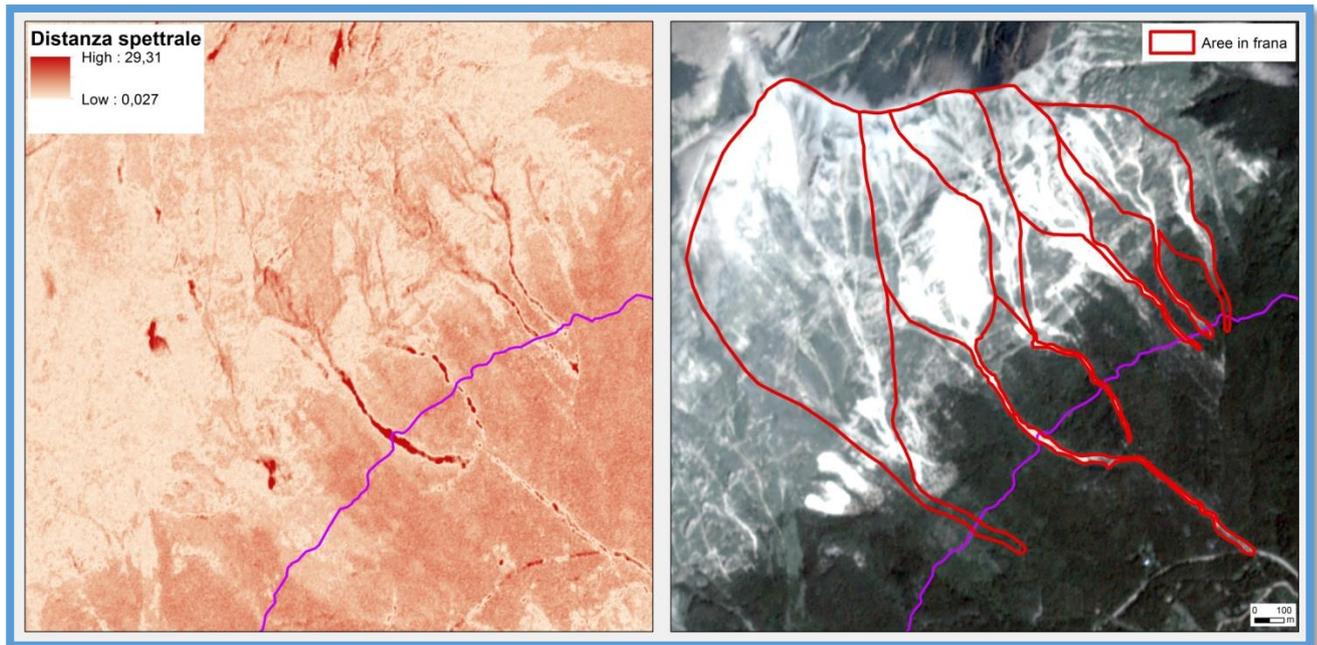


Figura 36: Mappa della distanza spettrale tra le due immagini di fig. 35 (a sinistra) e limiti poligonali delle aree in frana ottenuti considerando le aree a più elevato angolo spettrale (a destra).

In fig. 37 è proposto un confronto tra le foto aeree del “Volo Base” IGM (strisciata 7 del foglio 132, data del volo: 30/9/1954, altezza volo: 6.000 m) ed una immagine satellitare Planet attuale (12/09/2018): sono ben riconoscibili le evidenze di eventi di frana e di debris flow che avevano interessato in maniera analoga a quanto accaduto nell'agosto 2018 il versante orientale del massiccio del M. Vettore antecedentemente al 1954.

Tali fenomeni franosi sono caratterizzati da maggiori estensioni e maggiori quantità di materiale detritico mobilizzato rispetto allo scenario attuale.

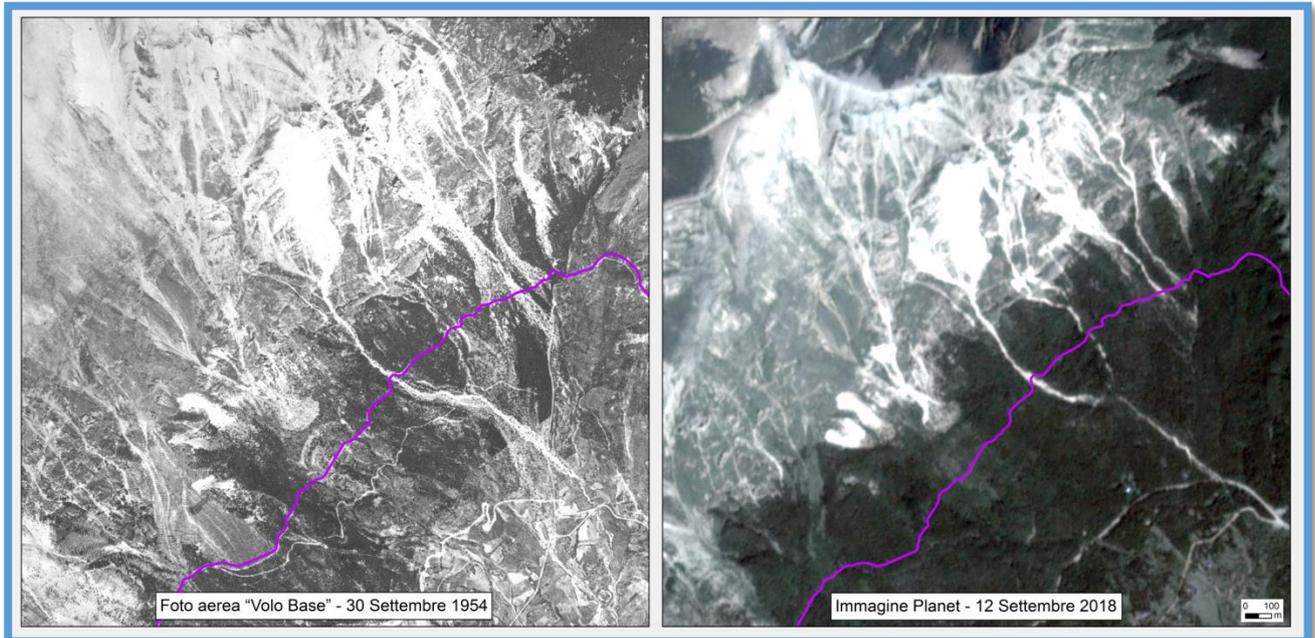


Figura 37: Confronto tra foto aerea del "Volo Base" (30/9/1954) ed immagine satellitare Planet (12/09/2018).

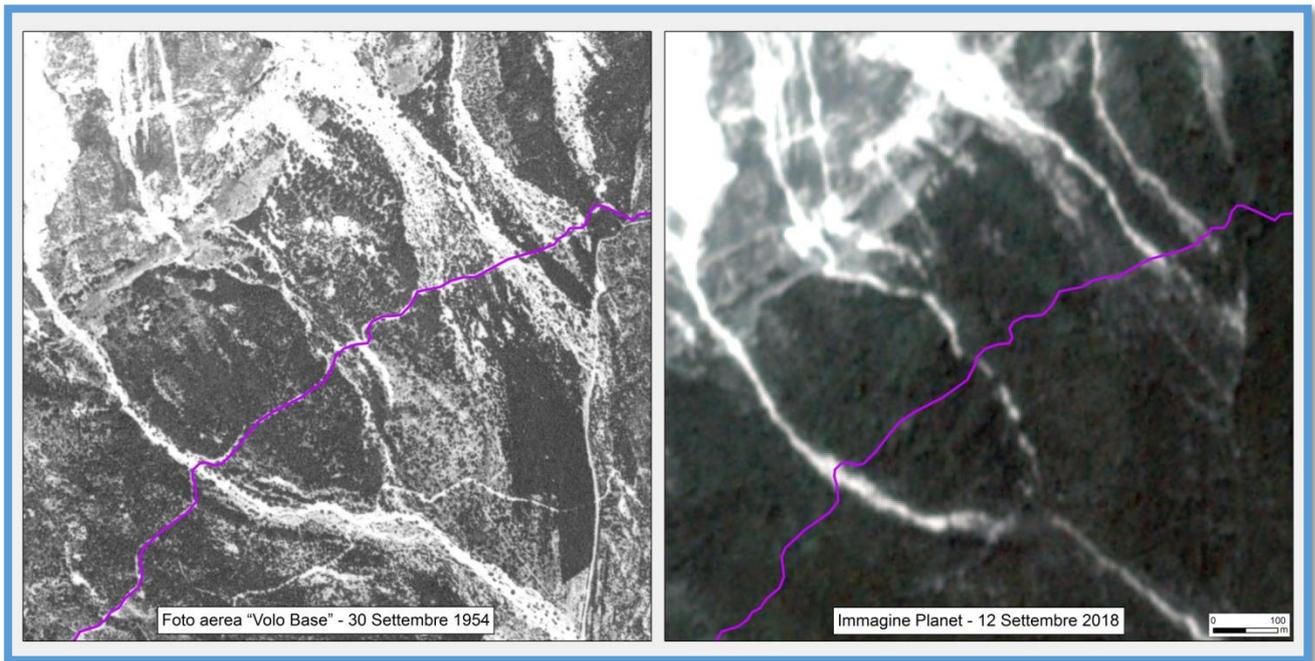


Figura 38: Particolare della figura 37 relativo all'area oggetto di studio.

3.4.4. RILIEVI IN SITU

3.4.4.1. Rilievi con drone

Sono stati realizzati 2 rilievi fotogrammetrici di prossimità utilizzando un aeromobile a pilotaggio remoto (APR) modello DJI Phantom 4.

Il primo rilievo ha interessato un'area di oltre 4 ettari allungata longitudinalmente rispetto al canale "A", che ha dato origine alla criticità 1 (fig. 39); il secondo rilievo ha interessato un'area di circa 2,5 ettari, di forma quadrangolare, in corrispondenza delle criticità 4 e 5 (canaloni "C" e "D"). In entrambi i rilievi l'altezza di volo è stata variabile, per effetto della morfologia dei luoghi, mediamente pari a 70 m. In fig. 40 è rappresentata la proiezione nello spazio delle strisciate relative al rilievo D1.

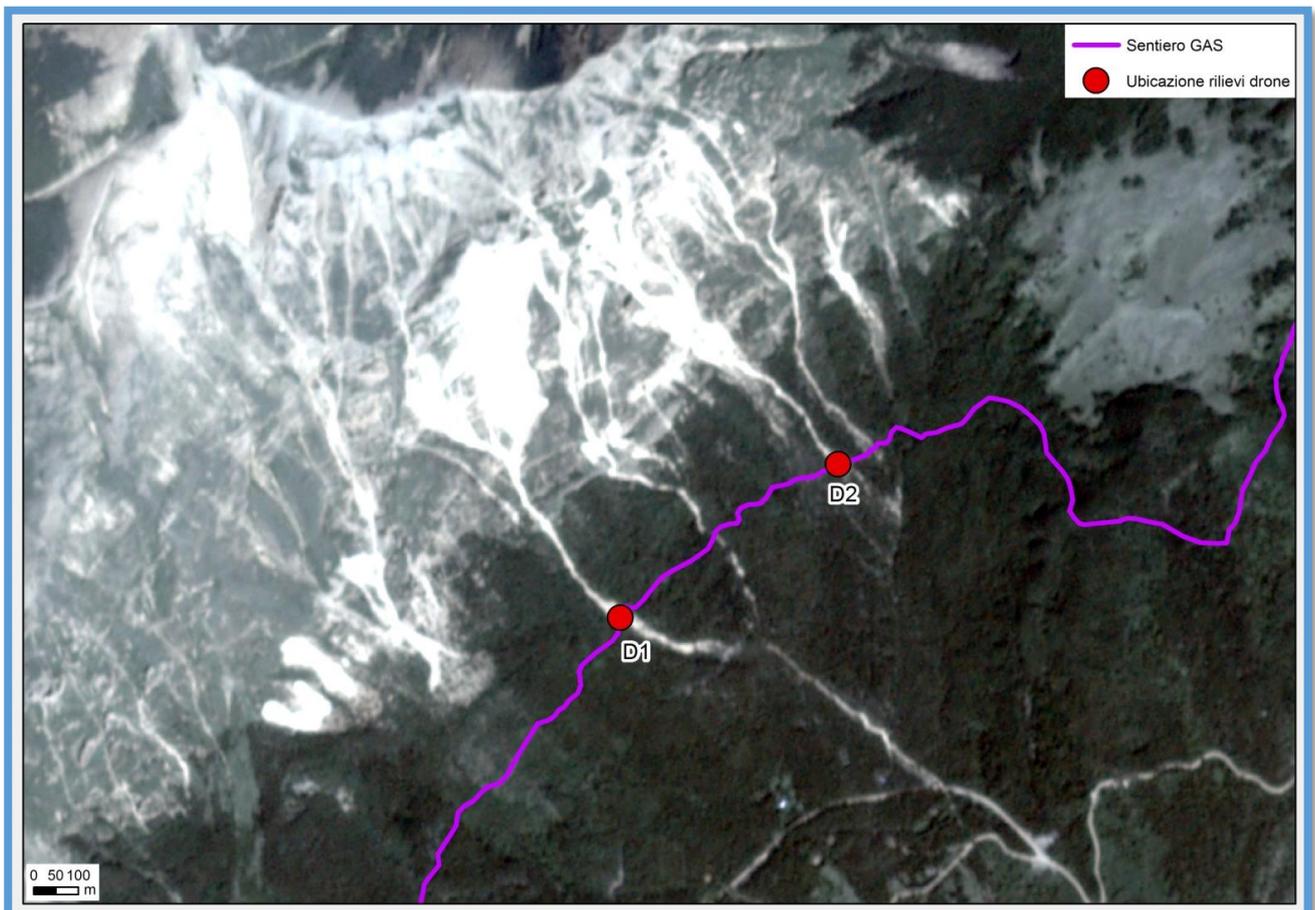


Figura 39: Ubicazione dei rilievi fotogrammetrici di prossimità con drone.

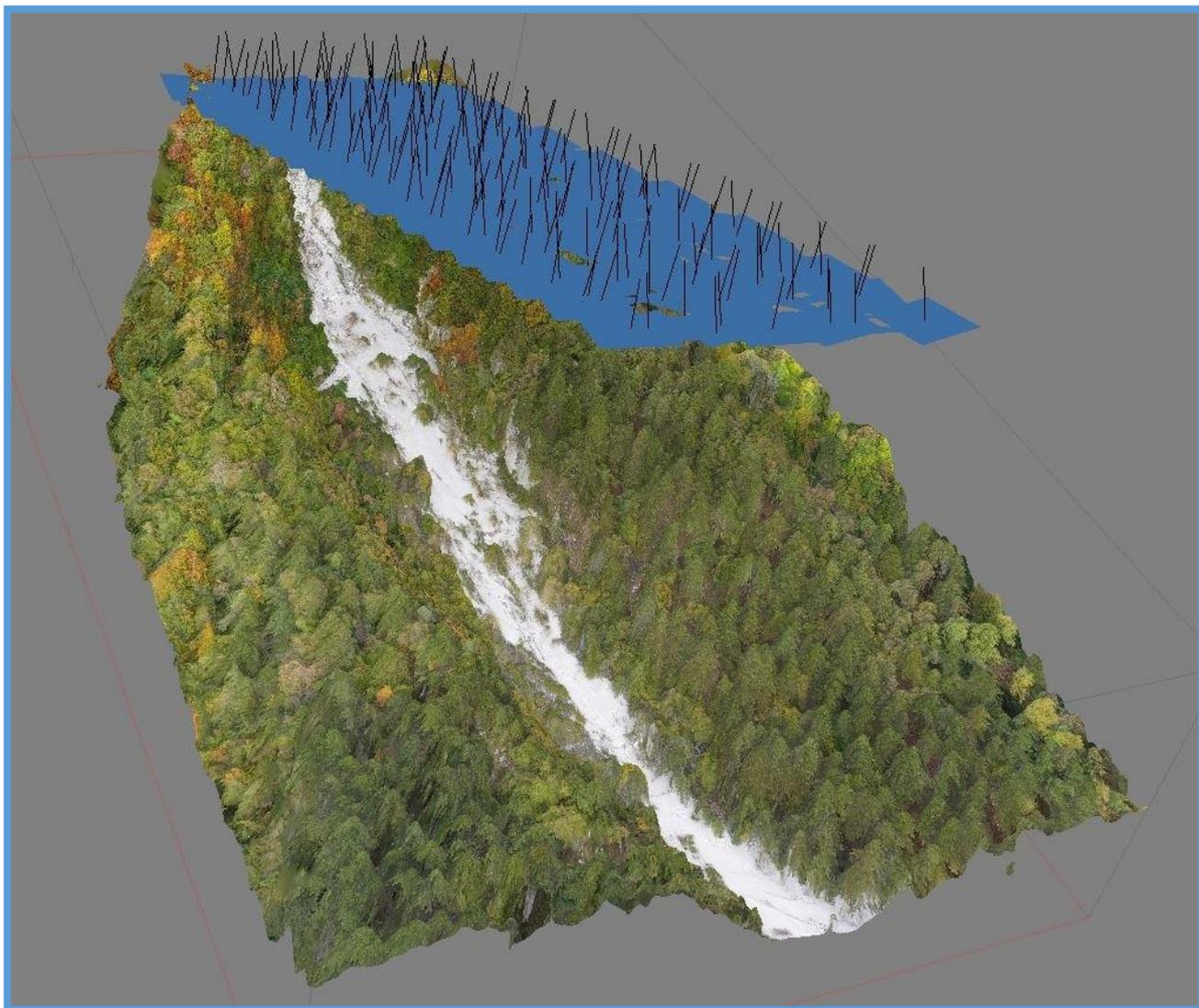


Figura 40: Proiezione nello spazio delle strisciate delle foto riprese con il drone (rilievo D1).

L'elaborazione delle immagini fotografiche scattate con il drone ha permesso la realizzazione di modelli 3D ad alta risoluzione, texturizzati in colori reali, ed ha consentito l'analisi geomorfologica di dettaglio delle aree di interesse. In particolare, si è potuto osservare che: i canali non risultano più ostruiti dal materiale detritico e dai massi che ne occupavano completamente la sede, come era stato possibile verificare nel corso dei sopralluoghi effettuati prima dell'ultimo evento franoso, ma che per effetto dell'evento franoso dell'agosto 2018 si è formato un alveo inciso di circa 1 - 2 metri (ben evidente, ad esempio, nel canalone C in fig. 41). Nel caso del canalone A, l'esonazione del materiale detritico e del pezzame lapideo ha determinato un marcato allargamento della sezione d'alveo da circa 10 m ad oltre 30 m, ed ha portato alla luce alcune opere di sistemazione realizzate in passato (fig. 42).

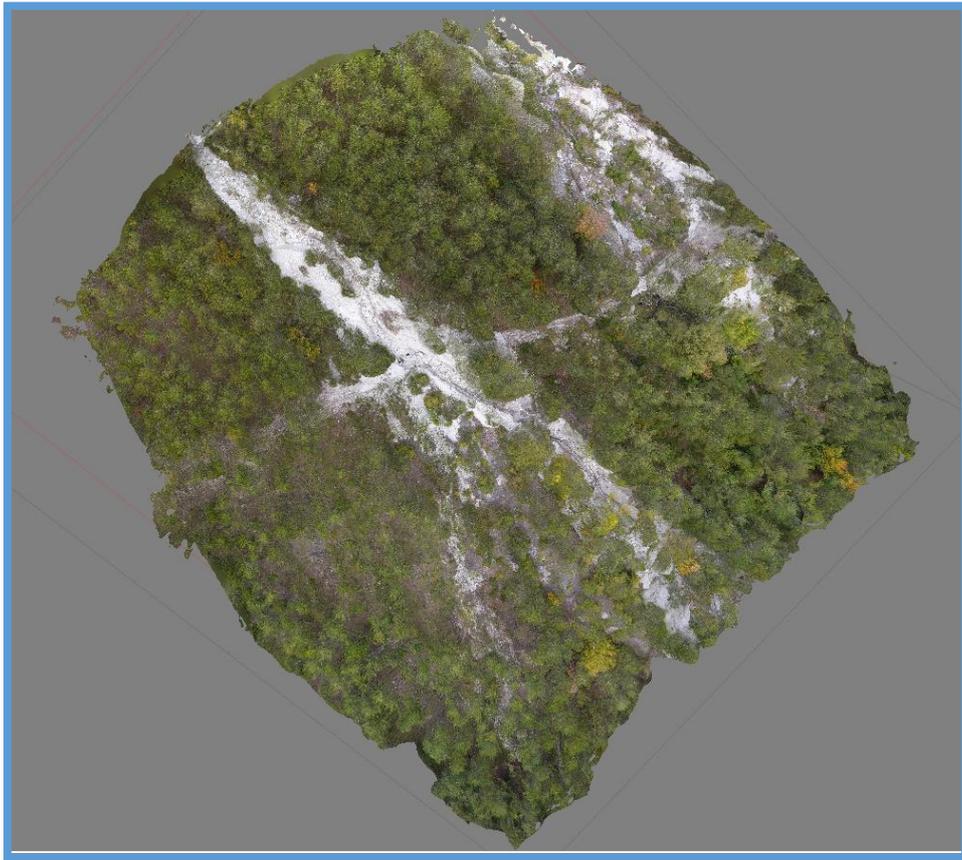


Figura 41: Ortofotomosaico delle immagini riprese da drone (rilievo D2 - Canalone C).



Figura 42: Opere di sistemazione dell'alveo riportate alla luce dai recenti eventi alluvionali lungo il canalone A.

3.4.4.2. Rilievo morfometrico

Nei canali A e C sono state effettuate misure speditive delle caratteristiche geometriche e granulometriche dei depositi detritici riportate sinteticamente nelle tabelle 9 e 10 (l'ubicazione delle stazioni di misura è riportata in fig. 43). Nel campo "Sezione" delle tabelle sono riportate le sezioni trasversali dei canali passanti per la stazione di misura ed estratte dal DSM elaborato con i dati acquisiti tramite drone; in alcuni casi (sezioni 1, 2 e 3) il profilo non è presente poiché la stazione di misura risultava al di fuori dell'area coperta dal volo.



Figura 43: Ubicazione delle stazioni di rilievo morfometrico nei canali A e C.

N. stazione	Granulometria	Sezione (rapporto h/D=1)	Asse maggiore del blocco max (m)	Larghezza (m)
1		Profilo mancante poiché la stazione di misura è al di fuori dell'area rilevata con drone.	1,4	12
2		Profilo mancante poiché la stazione di misura è al di fuori dell'area rilevata con drone.	3,0	11,1
3		Profilo mancante poiché la stazione di misura è al di fuori dell'area rilevata con drone.	2,8	7,2

Tab 9: Rilievo morfometrico: stazioni di misura relative al canale A (segue)

N.	Granulometria	Sezione	Asse maggiore	Larghezza
----	---------------	---------	---------------	-----------

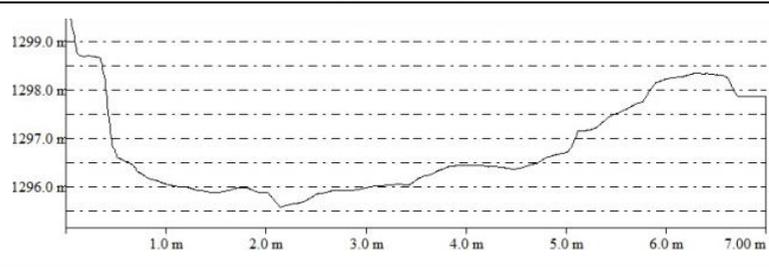
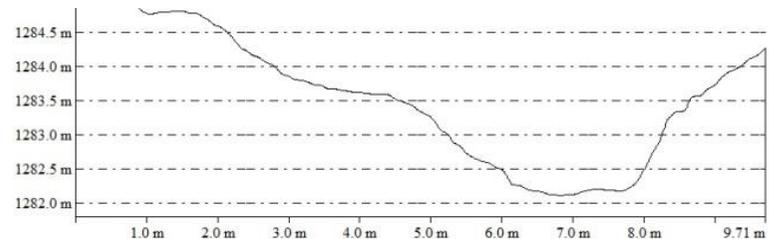
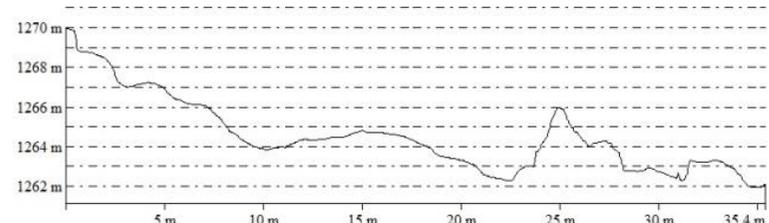


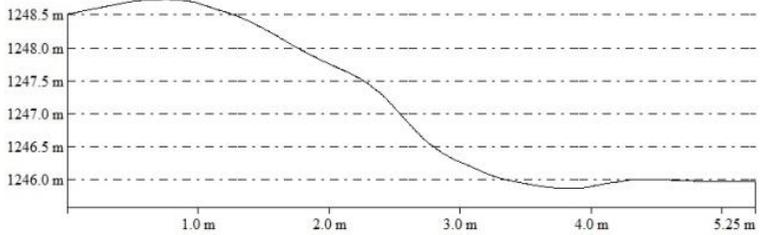
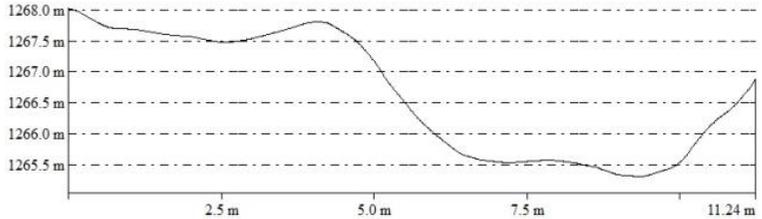
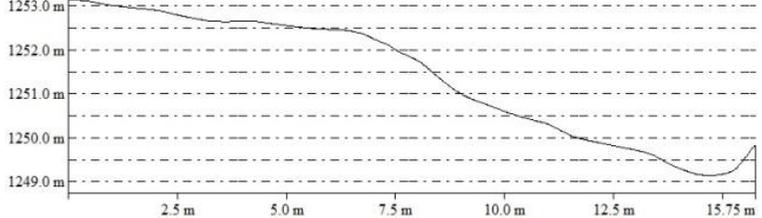
ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione
e la Ricerca Ambientale



Sistema Nazionale
per la Protezione
dell'Ambiente

stazione		(rapporto h/D=1)	del blocco max (m)	(m)
4			2,4	5,4
5			1,2	8,7
6			0,5	34,4

N. stazione	Granulometria	Sezione	Asse maggiore del blocco max (m)	Larghezza (m)
7			1,0	5,3
8			1,5	10,8
9			1,0	16,1

Tab10 – Rilievo morfometrico: stazioni di misura relative al canale C.

3.4.4.3. Confronto tra modelli digitali del terreno

In corrispondenza delle aree oggetto dei rilievi fotogrammetrici con drone è stata effettuata una stima dello spessore del materiale detritico mobilizzato effettuando una differenza di quota tra due modelli digitali del terreno: il DTM (Digital Terrain Model - Modello Digitale del Terreno), elaborato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Tinity), e il DSM (Digital Surface Model - Modello Digitale della Superficie), proveniente dall'acquisizione effettuata con drone.

In fig. 44 è riportata una schematizzazione delle due superfici considerate nell'analisi: il DSM ovvero la superficie terrestre comprensiva di edifici, alberi ed altri manufatti e il DTM rappresentante l'andamento della superficie del suolo senza gli elementi antropici e vegetazionali; effettuando una differenza tra i due modelli si ottengono le altezze (positive o negative) di tutti gli elementi ubicati sul territorio.

Il DSM presenta risoluzione di circa 10cm/pixel, risultante da una quota di volo media di 70 m, mentre il DTM ha una risoluzione di 10m/pixel ed è generato utilizzando come dati di input la carta tecnica regionale della Regione Marche realizzata negli anni 1999-2000.

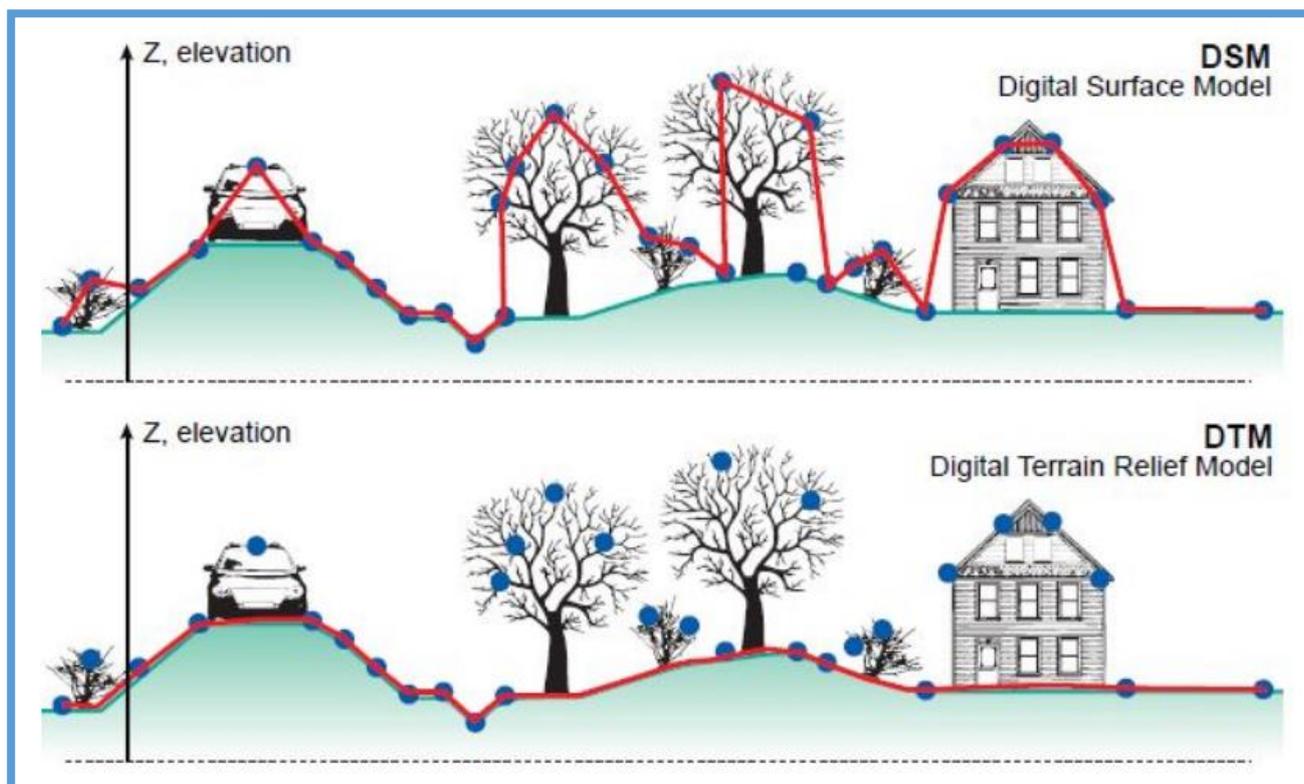


Figura 44: DTM e DSM.

La prima operazione effettuata è stata il ricampionamento della cella dei due modelli digitali a 2 m/pixel in modo da avere la stessa risoluzione spaziale per entrambe le superfici.

Successivamente, attraverso l'utilizzo degli strumenti di Map Algebra disponibili in ambiente GIS, è stata calcolata la differenza tra i due modelli digitali DTM e DSM, ottenendo per ogni singolo *pixel* il valore dello spessore del materiale detritico accumulato (valori positivi di spessore) o asportato (valori negativi di spessore) all'interno dei canali, dagli anni 2000 fino all'attuale (fig. 27 e 28); da tale risultato è stato possibile derivare il volume di materiale moltiplicando il valore di spessore di ogni singolo pixel per la sua area (4 m²).

I valori di spessore e volumi ottenuti dall'elaborazione, di seguito descritti, devono ritenersi puramente indicativi in quanto sulla precisione dei risultati pesano molto la differenza di risoluzione (pari ad un ordine di grandezza) e la differente modalità di acquisizione del dato topografico esistente tra i due modelli digitali considerati nell'analisi.

Esaminando la mappa di fig. 45 relativa al canale A, si nota l'esistenza di zone di asportazione di materiale (pixel rossi con valori negativi variabili tra -1 m e -5 m) poste a monte del muro di sottoscampa e a monte della seconda opera di contenimento (valori compresi tra -1 m e -3 m). Le zone di deposizione (pixel verdi con valori positivi di spessore) si individuano a monte della prima e della terza opera di contenimento con valori compresi tra +1 m e +3 m).

Complessivamente, lungo la porzione del canale A oggetto del rilievo, si stima un volume accumulato pari a 2800 m³ ed un volume asportato di circa 3000 m³ in un periodo di circa venti anni.

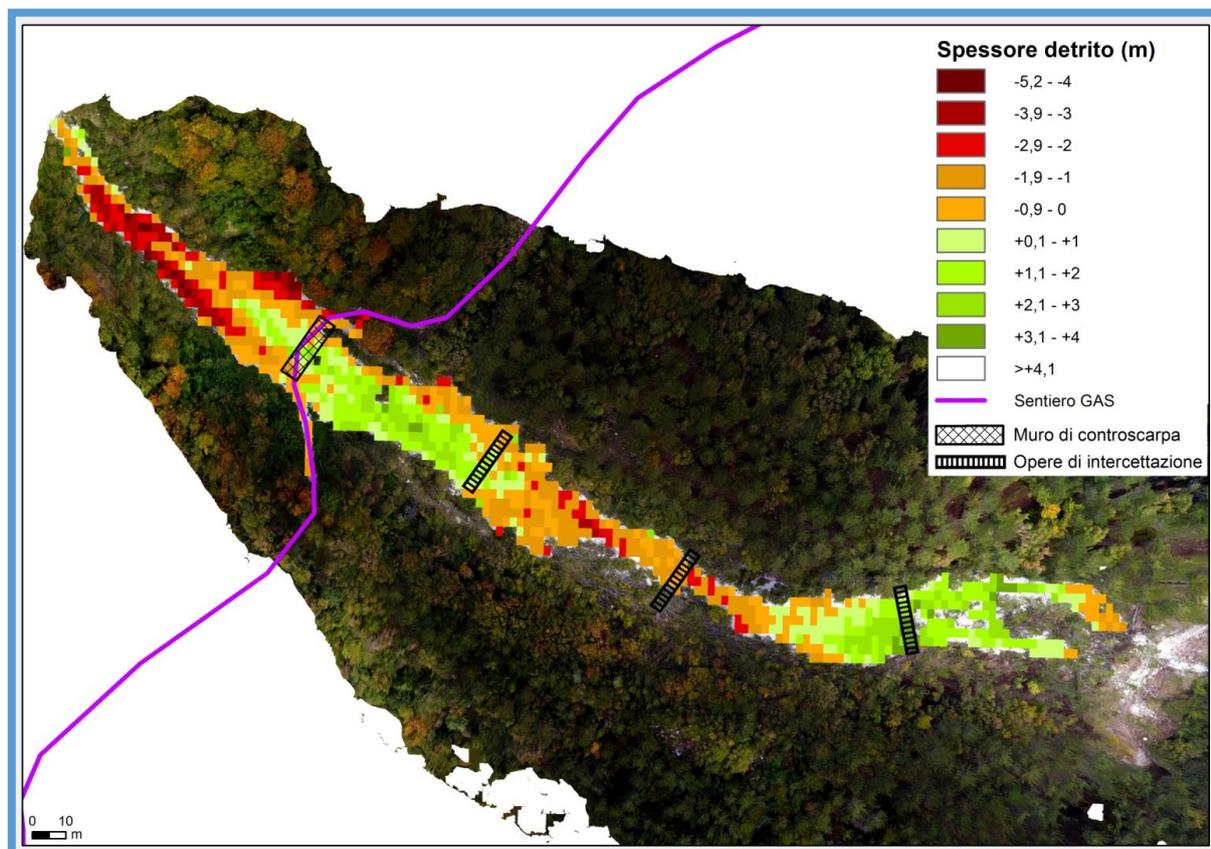


Figura 45: Mappa dello spessore del materiale detritico all'interno del canale A.

Per quanto riguarda il canale C, in fig. 46 è riportata la mappa della distribuzione degli spessori del materiale detritico, elaborata analogamente al caso precedente, dalla quale si nota la presenza di una zona di asportazione (pixel rossi con valori negativi variabili tra -1 m e -4 m) che corre lungo l'incisione di approfondimento attuale all'interno del pre-esistente alveo. L'asportazione risulta più marcata a valle del sentiero con valori compresi tra -3 m e -4,5 m. Le zone di accumulo di materiale sono rilevabili ai bordi dell'incisione di approfondimento attuale e in corrispondenza della parte ad ovest del sentiero con valori compresi tra +1 m e +3 m.

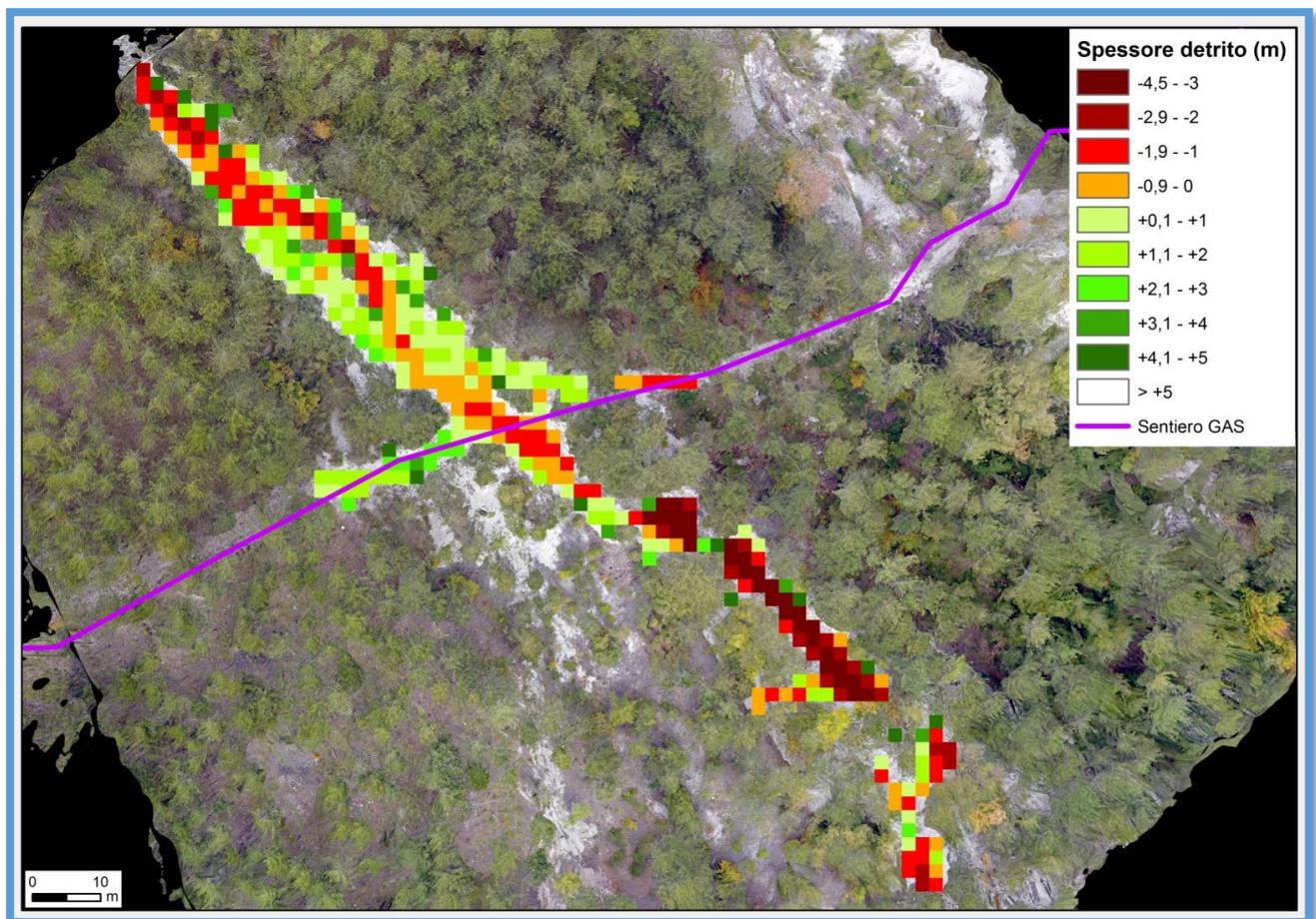


Figura 46: Mappa dello spessore del materiale detritico all'interno del canale C.

3.4.5. PROPOSTE DI INTERVENTO

Le criticità idrogeologiche riscontrate lungo il tratto oggetto di studio del sentiero Grande Anello dei Sibillini presentano caratteristiche diverse: le più impegnative sono legate al verificarsi di fenomeni di debris flow lungo i canali che intercettano il sentiero (criticità 1, 2, 4 e 5); le altre criticità, legate a frane di scivolamento superficiali e al rotolamento di massi, lasciano ipotizzare approcci di intervento meno complessi.

Riguardo alle proposte di intervento, vanno fatte, preliminarmente, alcune considerazioni.

La prima è che, non c'è dubbio che è necessaria l'esecuzione di interventi che consentano di ritornare ad una fruizione in condizioni di sicurezza del sentiero, attualmente interessato in più punti da marcate condizioni di rischio per l'incolumità degli escursionisti.

Tuttavia, la scelta degli interventi che dovranno essere realizzati dovrà essere ponderata anche alla luce di considerazioni e valutazioni che esulano dall'ambito strettamente geologico-tecnico del presente studio. Tali considerazioni potranno essere, ad esempio, la volontà di consentire una evoluzione "naturale" del territorio senza l'intervento dell'Uomo, la necessità di garantire una buona integrazione dell'intervento da realizzarsi con l'ambiente circostante riducendo al minimo l'impatto sul territorio, oppure anche una valutazione strettamente economica dei costi e benefici.

La seconda considerazione è che, relativamente alle criticità connesse al verificarsi di fenomeni di debris flow, questi ultimi, in coincidenza di eventi meteorici particolarmente intensi, hanno interessato in passato anche la strada provinciale che si snoda a valle del sentiero, e potranno interessarla nuovamente in futuro.

Pertanto, l'eventuale realizzazione di interventi di mitigazione del rischio a protezione del sentiero avrebbe una importante ricaduta anche sul miglioramento delle condizioni di sicurezza della strada provinciale nel medio-lungo periodo.

Si tratta pertanto, di valutazioni di più ampio respiro che potrebbero coinvolgere una pluralità di Enti e Amministrazioni, alle quali si intende fornire, di seguito, un supporto strettamente tecnico di analisi delle ipotesi di intervento teoricamente possibili.

L'ubicazione degli interventi è riportata nella TAV. GAS.3 f.t.

3.4.6. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FENOMENI DI COLATA DI DETRITO E MASSI (DEBRIS FLOW)

Ipotesi di intervento n. 1: sistemazione finalizzata esclusivamente alla restituzione della percorribilità del sentiero agli escursionisti

Attraverso la rimozione dei massi e del detrito e la sagomatura del versante limitata alla sola area di passaggio degli escursionisti (fig. 47), è possibile restituire al sentiero la fruibilità in tempi brevi. Questa operazione va realizzata per tutti i canali interessati.

Naturalmente, per quanto vantaggiosa dal punto di vista economico essendo meno onerosa rispetto a qualsiasi altra ipotesi di intervento che contempra la sistemazione delle aree in frana, si tratta di una scelta che rischia di rivelarsi inefficace anche nel breve termine (settimane, mesi),

poiché i canali possono essere interessati da nuovi eventi di flusso detritico che modificherebbero nuovamente lo stato dei luoghi, per i quali non è possibile definire una frequenza di accadimento.

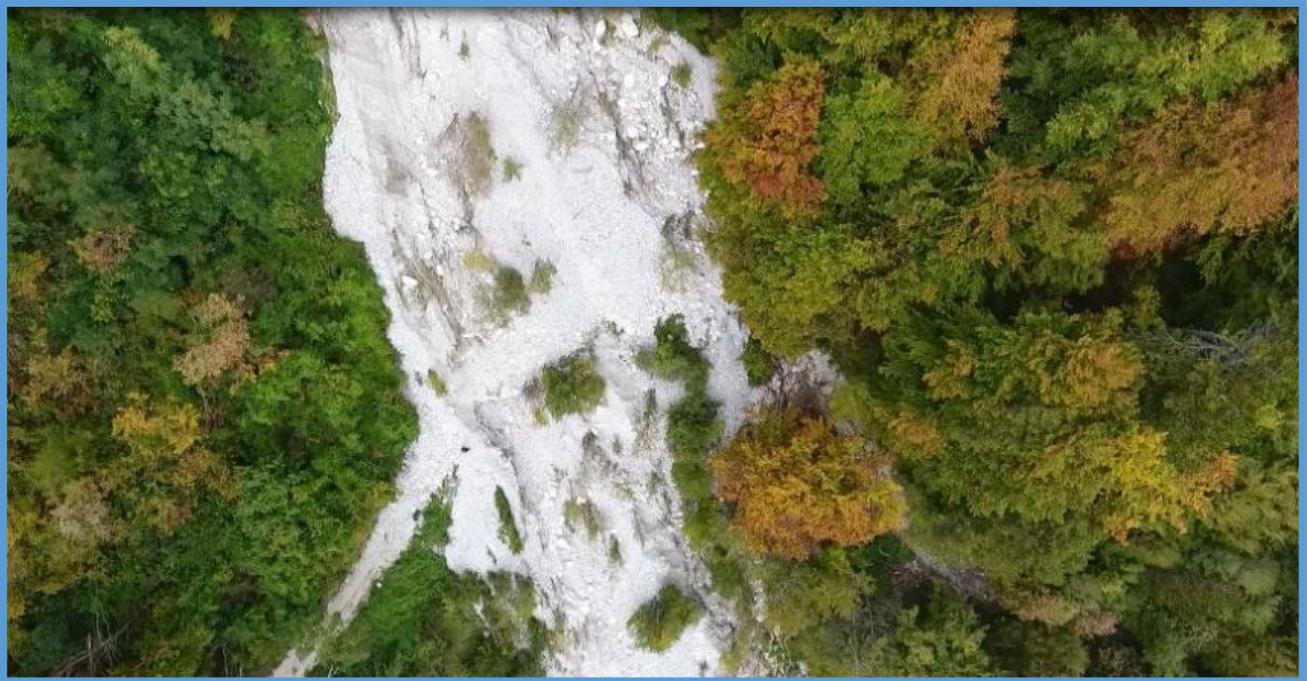


Figura 47: Segmento del sentiero GAS invaso dai detriti e dai massi trasportati dall'ultimo evento di *debris flow*.

Ipotesi di intervento n. 2: Interventi di prevenzione mirati alla riduzione della probabilità di accadimento di eventi di flusso detritico torrentizio di elevata energia

Il secondo approccio di intervento ha come obiettivo la mitigazione del rischio riducendo la pericolosità con interventi di prevenzione mirati alla riduzione della probabilità di accadimento e/o dell'intensità del fenomeno.

Nel nostro caso, gli interventi di prevenzione andrebbero realizzati nelle aree-sorgente, allo scopo di limitare l'innesco delle frane, la mobilizzazione di roccia e detrito e quindi l'alimentazione di nuove colate detritiche. Essi comprendono il disgiungimento di massi e blocchi in equilibrio precario e la chiodatura e il bloccaggio con reti e funi delle masse instabili. Come evidenziato nelle figure 36 e 37, l'alimentazione dei fenomeni di debris flow che scorrono lungo i canali è riferita a bacini molto estesi, diffusamente interessati da frane attive e quiescenti (Figg. 48 e 49).



Figura 48: Il versante orientale del M. Vettore. In evidenza il bacino di alimentazione del canalone A (al centro della foto) che dà origine alla criticità idrogeologica n. 1 (nel bosco, non visibile).

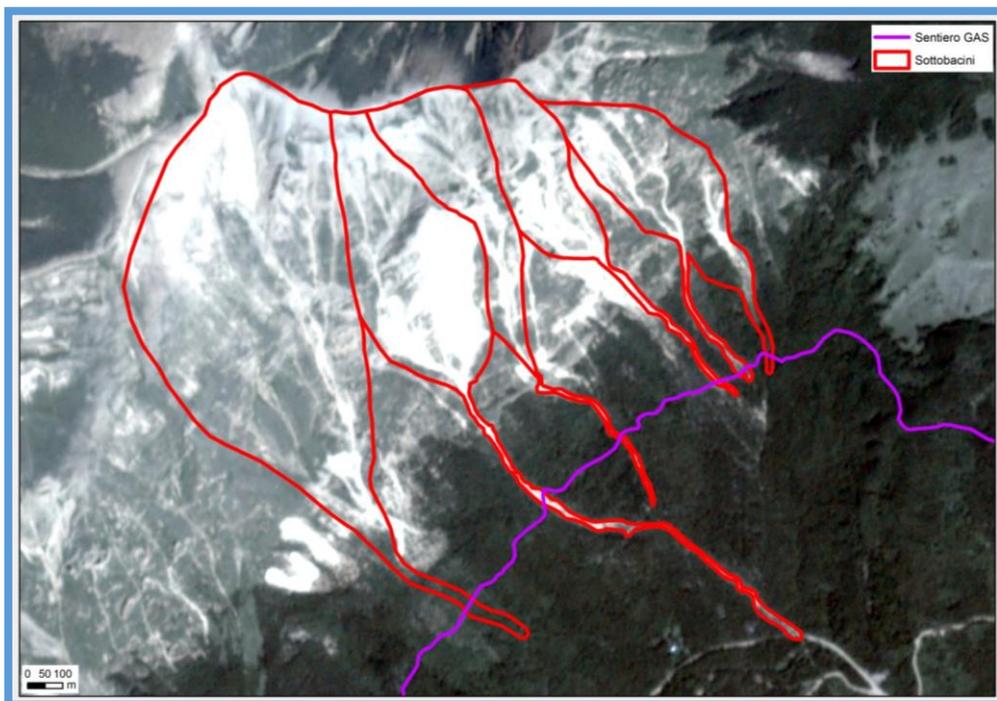


Figura 49: Bacini di alimentazione dei canali che intercettano il sentiero GAS.

È evidente che l'estensione dell'area da sottoporre a interventi, le caratteristiche morfologiche, la difficoltà di operare in condizioni così ostili e poco adatte per lavorazioni che necessitano dell'allestimento di cantieri, rendono questo approccio risolutivo non realizzabile, a causa delle difficoltà tecniche a tratti insormontabili, i costi proibitivi e l'elevato impatto sull'ambiente.

Ipotesi di intervento n. 3: Interventi di protezione del sentiero

L'ipotesi di intervento n. 3 ha come obiettivo la riduzione del rischio attraverso la realizzazione di interventi di protezione che - intercettando, contenendo e deviando la traiettoria del debris flow - possano ridurre la probabilità che la massa in movimento investa il sentiero con elevata energia. In questo modo, a differenza della ipotesi di intervento n. 1, si restituirebbe alla fruizione il sentiero, con una ragionevole aspettativa di durata.

Si tratta di interventi a carattere prevalentemente idraulico, finalizzati a governare la velocità della corrente, ad aumentare la resistenza all'erosione del fondo e ad assorbire l'energia di impatto legata alla spinta della massa delle colate ed alle forze impulsive puntuali dovute ai singoli massi, comprendenti (cfr. TAV. GAS. 3 f.t.):

- a) configurazione di una sezione d'alveo stabilizzata;
- b) rimozione dei massi ostacolanti il deflusso;
- c) realizzazione di opere trasversali di intercettazione e trattenimento del materiale detritico;
- d) realizzazione di un cunettone in corrispondenza del sentiero e, al di sopra di esso, di un attraversamento.

Un intervento di tal genere non costituisce una novità assoluta in termini di inserimento paesaggistico-ambientale in quest'area del parco, poiché le immagini riprese con il drone (fig. 50) e la CTR della Regione Marche (fig. 51) evidenziano la presenza di preesistenti opere di intercettazione lungo l'asta dell'incisione.

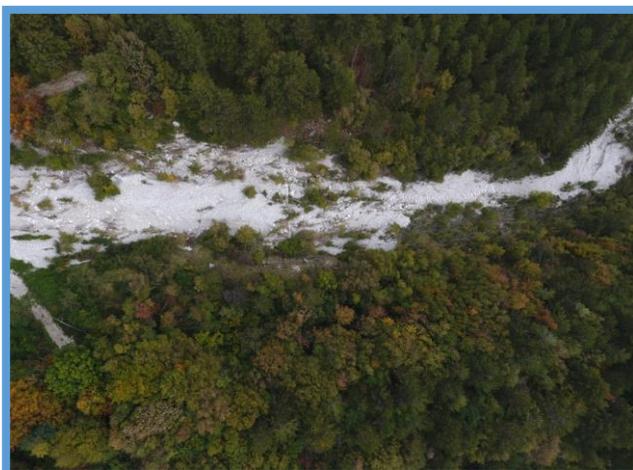


Figura 50: Opere di intercettazione riprese dal drone.

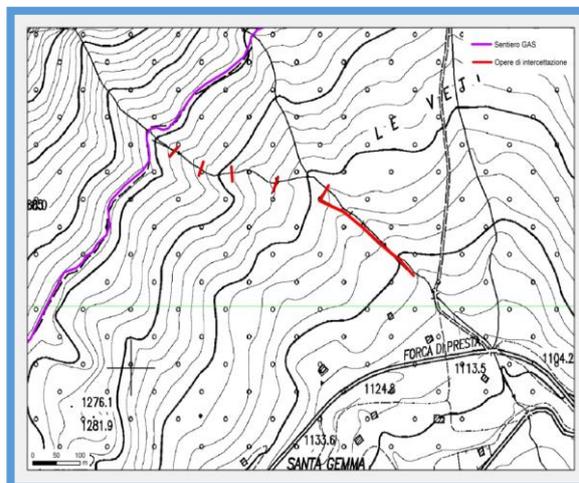


Figura 51: Opere di intercettazione (in rosso) nella CTR.

Tuttavia, a differenza di quanto realizzato in passato, si propone l'integrazione dell'insieme delle opere ampliando l'area di intervento a monte del sentiero, dove occorre prevedere la realizzazione di strutture di intercettazione aperte di cui in fig. 52 è riportato un esempio.



Figura 52: Esempio di briglia aperta idonea alla intercettazione di massi di grosse dimensioni.

Il dimensionamento delle opere non potrà basarsi solo sui dati raccolti nel presente studio, ma richiede una progettazione adeguata e la realizzazione di studi specialistici, tra cui uno studio idraulico e uno studio idrologico di dettaglio.

Di seguito, vengono invece riportati i risultati di una valutazione degli scenari da fenomeni di debris flow basata sull'utilizzo del programma di modellazione Flow-R (Flow path assessment of gravitational hazards at a regional scale. Horton et al., 2013) finalizzata alla verifica della congruità tra l'ipotesi di intervento e lo scenario fisico dell'evento.

E' stato scelto il programma Flow-R per la sua relativa semplicità di utilizzo: l'unico dato strettamente necessario è rappresentato dal modello digitale del terreno (DTM) in formato ASCII. Inoltre, la scelta dei dati e degli algoritmi di dispersione (leggi di attrito o di perdita energetica) è libera; in tal modo è possibile una accurata calibrazione del modello per ogni singolo caso di studio.

Il processo sviluppato dal programma si divide in due fasi: la prima prevede l'individuazione delle aree sorgente a partire dai dati inseriti dall'utente. La seconda prevede il calcolo dell'area raggiunta dalla/e colata/e detritica/che e comprende, a sua volta, la possibilità di effettuare il calcolo della espansione della colata o il calcolo del massimo *runout*.

Nel calcolo, il volume e la massa del flusso di detriti non sono presi in considerazione.

Nel caso specifico, il modello è stato messo a punto attraverso una ricostruzione di *back-analysis* degli eventi trascorsi, variando i parametri descritti.

Si è operato pertanto su:

- definizione delle aree di innesco;
- calibrazione dei parametri che definiscono la direzione del flusso;
- settaggio dei parametri energetici che influenzano l'area di invasione.

Il risultato della modellazione è rappresentato in fig. 53, in cui viene riportato lo scenario dei fenomeni di *debris flow* in senso energetico. I valori più elevati con $E > 100$ kJ si osservano nella parte alta e mediana dei bacini di alimentazione.

In particolare, si può notare che in corrispondenza del sentiero GAS il valore di energia cinetica non è molto elevato ($E < 25$ kJ), confermando l'approccio di intervento precedentemente descritto.

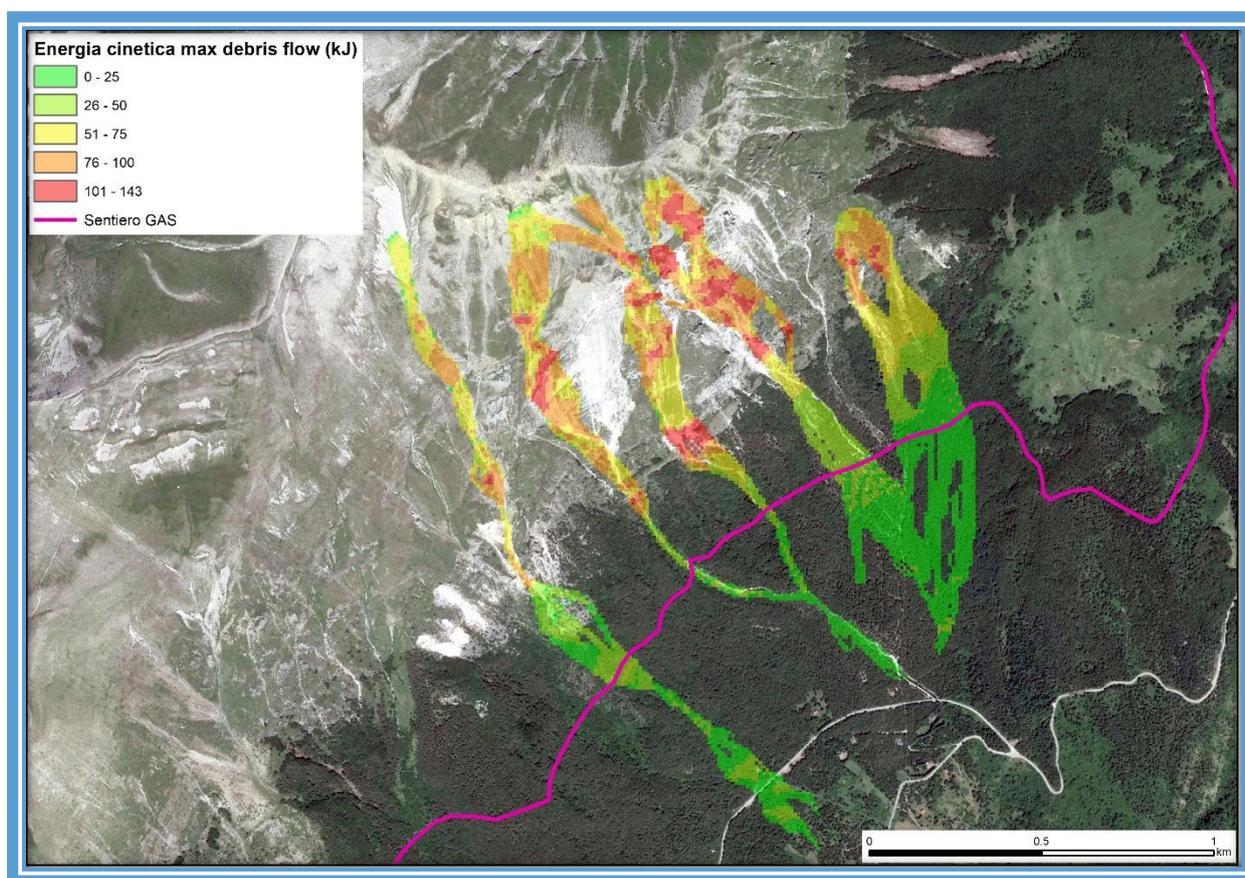


Figura 53: Rappresentazione schematica dell'energia cinetica relativa a uno scenario di più *debris flow* attivatisi lungo il versante orientale del M. Vettore.

3.4.7. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FRANE DA SCIVOLAMENTO SUPERFICIALE

In corrispondenza della criticità idrogeologica n. 2, in aggiunta alle problematiche connesse al verificarsi di eventi di flusso detritico torrentizio lungo l'alveo, è presente un piccolo movimento franoso che ha interessato il versante in sinistra idrografica dell'incisione, interrompendo il sentiero per una lunghezza di alcuni metri.

In questo caso si propone la realizzazione di una palizzata in legno in corrispondenza del tratto di sentiero franato.

Si tratta di un intervento leggero con prevalente funzione di stabilizzazione rispetto a quella di consolidamento, che tiene conto della disponibilità di spazi limitati, della pendenza dell'area e della presenza del *bedrock* flyschoidale sub-affiorante.

L'intervento sarà costituito da una struttura in legname trasversale alla linea di massima pendenza, costituita da picchetti infissi nel terreno, con sistemazione di pali a monte dei picchetti e messa a dimora di materiale vegetale nel gradone ottenuto.

L'attraversamento dell'incisione, considerate le dimensioni estremamente ridotte, potrà essere realizzato mediante una struttura leggera, in legname, di facile sostituzione in caso di danneggiamento provocato da un nuovo evento di flusso detritico in alveo.

In corrispondenza della criticità idrogeologica n. 6 si propone la realizzazione di un intervento combinato finalizzato al consolidamento del versante, costituito da una palificata viva abbinata a una grata viva.

L'estensione dell'area interessata andrà verificata in fase di progettazione attraverso rilievi di dettaglio finalizzati a individuare gli indizi di movimenti della coltre detritica superficiale.

3.4.8. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER ROTOLAMENTO DI BLOCCHI E MASSI LUNGO IL SENTIERO

Nel corso dei sopralluoghi effettuati, tra le progressive 12 + 500 e 12 + 900 è stata riscontrata la presenza diffusa di blocchi e massi, sia nel bosco a ridosso del sentiero che lungo il sentiero stesso.

L'impossibilità di intervenire nelle aree-sorgente dei crolli a causa della loro estensione e della difficoltà operative, suggerisce la realizzazione di un intervento di difesa passiva del sentiero, del tipo vallo-contro vallo.

Al fine di dimensionare l'intervento, è stata effettuata una analisi traiettografica 3D del moto dei blocchi lungo il versante.

Il movimento di caduta dei blocchi è stato schematizzato secondo una successione di moti gravitativi di caduta libera, rimbalzo, rotolamento e scivolamento, in cui, come è noto, le caratteristiche del moto dipendono dalla forma e dimensione del blocco, dalla sua litologia e dalla geometria del pendio. Sono stati utilizzati i parametri riportati in letteratura (Hoek, 1986; Piteau e

Clayton, 1977; Hoek e Brown, 1988) definiti coefficienti di restituzione normale e tangenziale, per esprimere le caratteristiche di impatto e rimbalzo dei massi sul versante. A tali coefficienti, è stato associato il coefficiente di roto-scivolamento, che esprime la perdita di energia causata dagli attriti tra il versante e il masso, nelle fasi di rotolamento/scivolamento.

Utilizzando il software commerciale RocPro3D®, è stato elaborato un modello cinematico 3D che analizza il problema della delimitazione del massimo avanzamento dei blocchi, considerando la fisica del moto attraverso le relative equazioni e associando una trattazione statistica dei parametri di input che rende la valutazione più affidabile. Infine, è stato utilizzato un modello di tipo *rigid body* in cui l'analisi viene espletata utilizzando le reali dimensioni del blocco preferita a quella *lumped mass*, che assimila il blocco in caduta ad un punto materiale dotato di velocità e con massa concentrata nel punto stesso.

Il modello digitale di riferimento è quello del TinItaly con dimensione di cella di 10 metri. La definizione areale dei coefficienti di restituzione è stata effettuata utilizzando foto aeree ad alta risoluzione e la mappatura dell'uso del suolo effettuato nell'ambito del progetto CORINE. I valori sono stati desunti a partire da dati bibliografici presenti in letteratura e settati mediante *back-analysis*.

La sorgente dei blocchi è stata definita a partire dal modello digitale selezionando le aree con acclività maggiore di 55°, verificate anche da foto aeree in cui si rilevava la presenza di affioramenti rocciosi fratturati. Il numero di blocchi generato è superiore a 9000 in modo da rendere statisticamente significativa la valutazione, ed è stato impostato in modo da garantire la presenza di uno scendimento per cella.

Per definire la volumetria del blocco di prova sono state utilizzati come riferimenti i blocchi visionati durante i sopralluoghi e stimati dalle immagini fotografiche relative agli eventi precedenti. Il peso di volume adottato è pari a 2500 kg/m³, la forma assunta è sferica con raggio pari a 1 metro che genera un blocco di peso pari a 1.3 t.

I risultati dell'elaborazione (figure 54 e 55A) indicano che, considerando sia il parametro energia massima associata al moto dei blocchi che la distribuzione delle traiettorie dei blocchi franati, il settore sud occidentale del sentiero viene interessato solo parzialmente dall'arrivo dei blocchi, e inoltre, questi ultimi tendono a incanalarsi lungo i canali. Diversamente, nel settore più orientale della porzione di sentiero analizzata, l'analisi delle traiettorie evidenzia una maggiore frequenza di attraversamento del sentiero da parte dei blocchi franati, cui risulta associato un valore di energia compreso tra 500 e 1500 kJ.

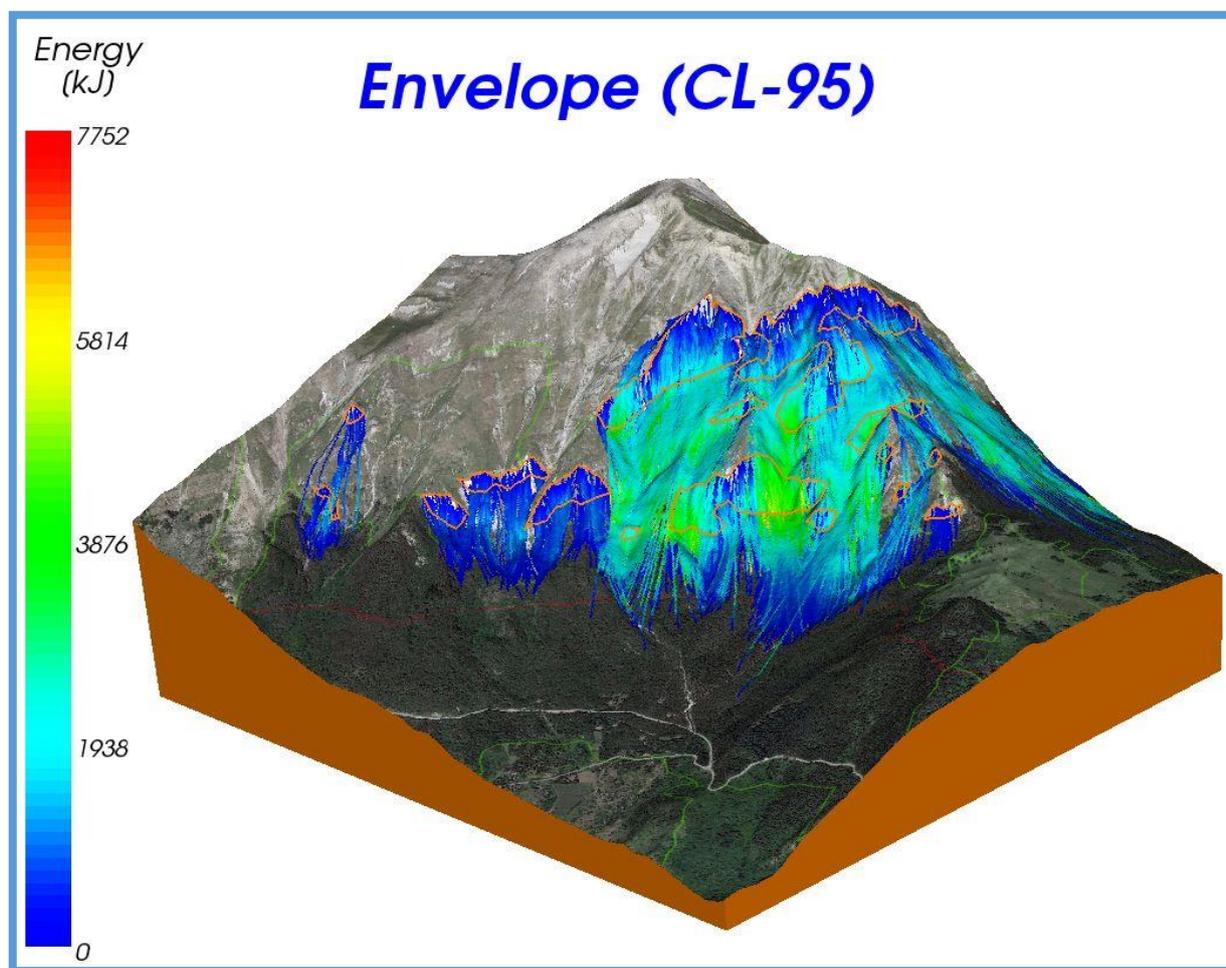


Figura 54: Involuppo in termine di energia massima della modellazione dell'innesco e propagazione dei fenomeni di crollo.

È stato quindi calcolato l'effetto di un sistema vallo e rilevato di 1 metro di altezza come opera di mitigazione (fig. 55B).

In definitiva, l'opera considerata è in grado di intercettare la gran parte dei rotolamenti, ma non la totalità, riuscendo a mitigare il rischio ma non ad annullarlo completamente.

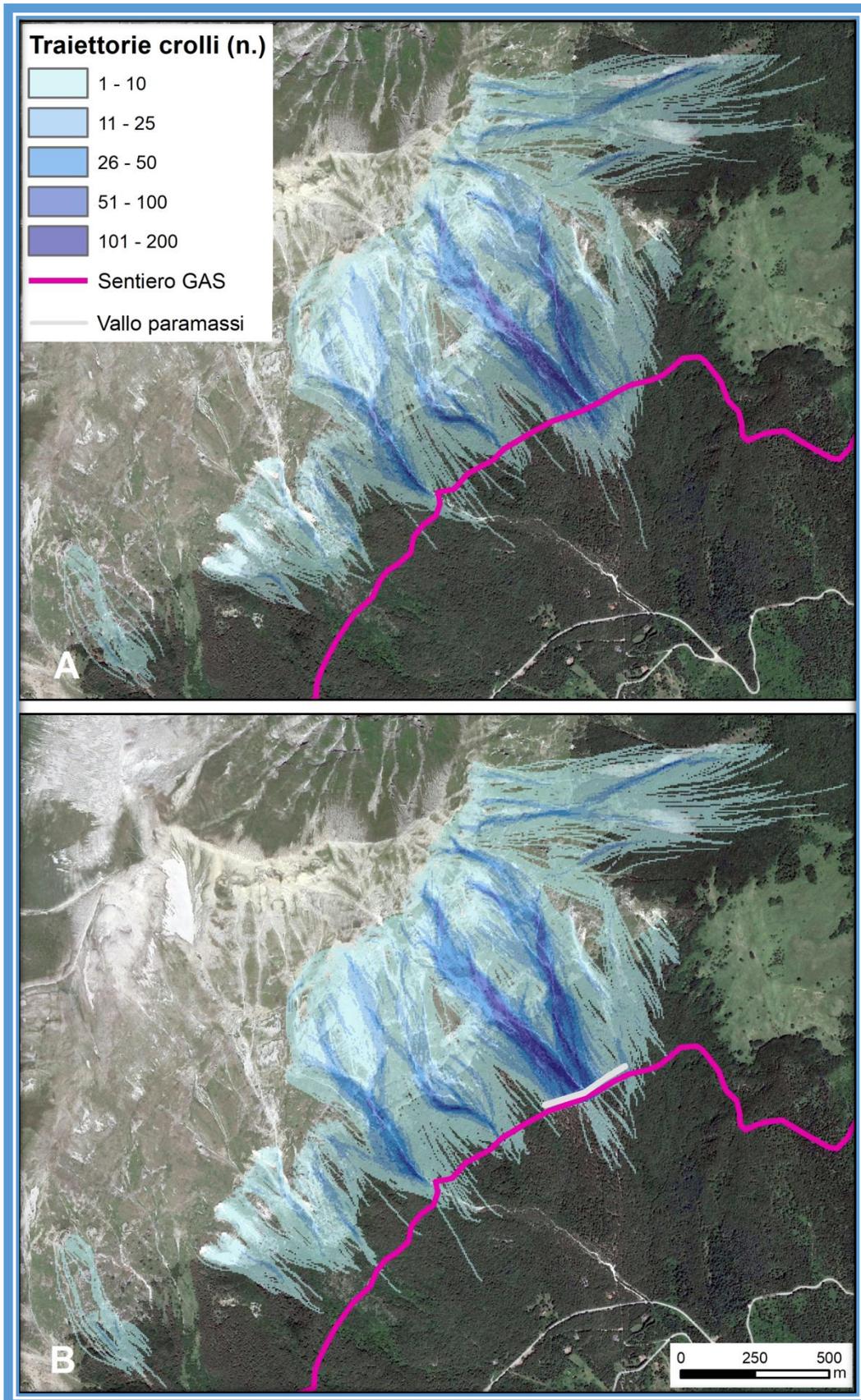


Figura 55: A = Analisi delle traiettorie delle frane di crollo; B = effetto di trattenimento dei blocchi ad opera di un sistema vallo e rilevato (linea grigia) di altezza $H = 1$ metro.

3.5. SENTIERO E4

3.5.1. DESCRIZIONE DEL SENTIERO

Il sentiero escursionistico E4 ha inizio nell'abitato di Bolognola, in località Villa Malvezzi.

Dopo aver attraversato il Torrente Fiastrone, il sentiero si sviluppa a mezza costa lungo il versante in sponda idrografica sinistra del corso d'acqua, per poi entrare, dopo avere aggirato il Balzo della Croce, nella Valle dell'Acquasanta (fig. 56).

Al termine di un percorso di circa 5,4 km, il sentiero conduce alle Gole dell'Acquasanta.

Dal punto di vista altimetrico, il suo sviluppo è compreso tra le quote di 1000 m e 1100 m s.l.m.

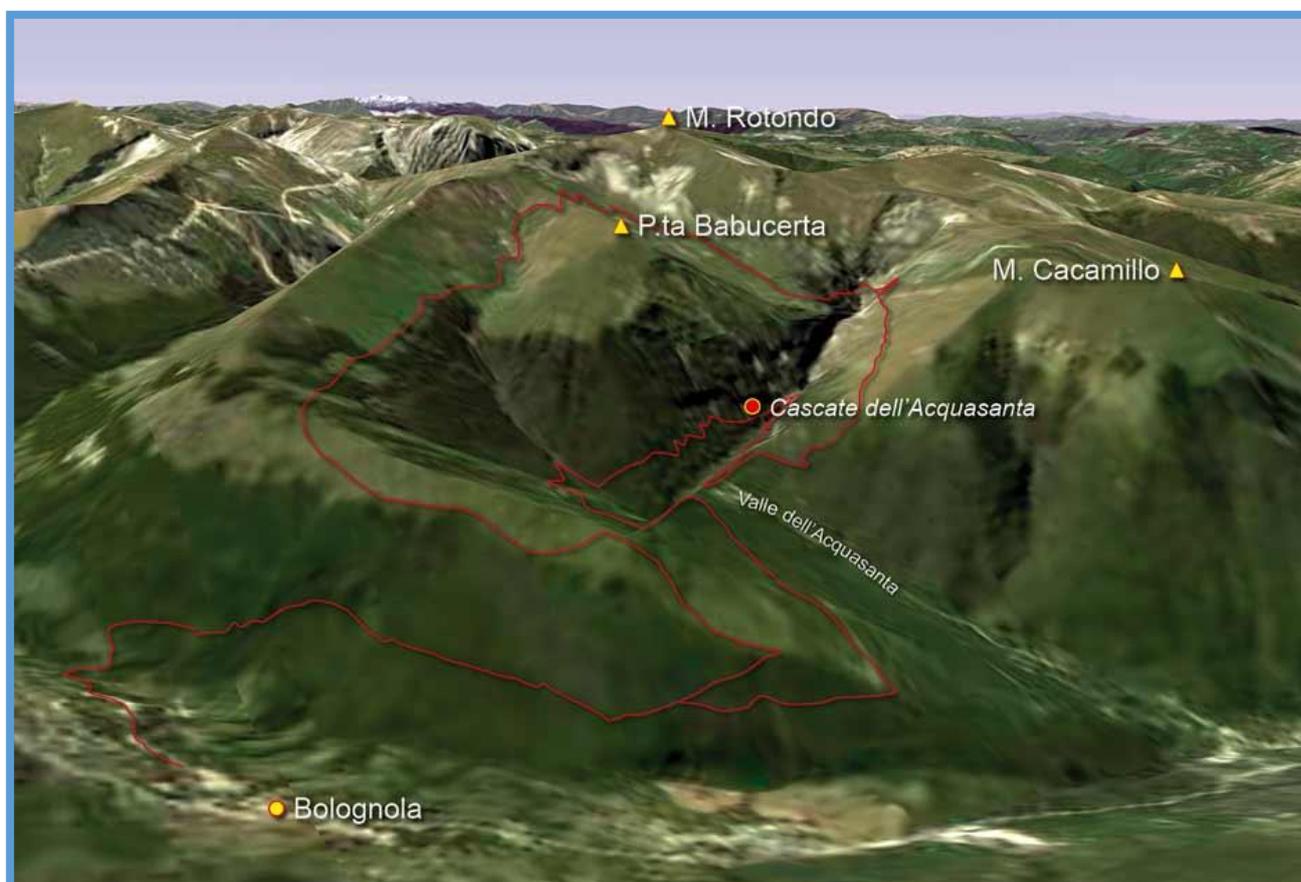


Figura 56: veduta d'insieme da nord est, del percorso del sentiero E4.

Relativamente all'assetto geologico, l'area attraversata dal sentiero E4 è ubicata nel settore nord-occidentale del territorio del Parco dei Monti Sibillini, dove affiorano i terreni della successione umbro-marchigiana di ambiente pelagico, con alternanze di litotipi calcarei, calcareo-marnosi e silicei e con successioni complete, condensate e/o composte, interessati da pieghe e sovrascorrimenti e da una successiva tettonica distensiva. Detta area inoltre si colloca in corrispondenza del fronte di sovrascorrimento delle unità calcaree sui depositi terrigeni più esterni della catena (vedi cap. 2 Breve Inquadramento Geologico ed Idrogeologico).

In particolare, nell'area di studio (cfr. TAV. E4.1 f.t.) affiorano le unità delle successioni pelagiche umbro - marchigiane di età Giurassico – Cretaceo, costituite da alternanze di litotipi calcarei, calcareo-marnosi e argillosi, depositatesi fino al Miocene su un substrato carbonatico liassico di piattaforma, fortemente disarticolato dalla tettonica sinsedimentaria distensiva. La successione sedimentaria è chiusa al tetto dai depositi terrigeni miocenici che affiorano prevalentemente nel settore pedemontano ad est della catena.

A tetto del *bedrock* roccioso, i depositi detritici di versante sono ben sviluppati sia in lunghezza che in ampiezza: gli accumuli di materiale detritico/eluviale e di frana più estesi sono quelli che ricoprono i versanti della valle del T. Fiastrone nel tratto iniziale del sentiero e quelli presenti sul versante destro della valle dell'Acquasanta e lungo i versanti del F.sso del Rio e del F.sso dell'Acquaro, incisi nei litotipi prevalentemente calcarei della Maiolica e in quelli calcareo – marnosi delle Marne a Fucoidi.

Gli accumuli detritici hanno un'elevata acclività, talora superiore all'angolo di riposo del materiale che lo costituisce ($30^\circ - 35^\circ$) e sono spesso interessati da fenomeni d'instabilità, con frane di tipo complesso (scorrimento rotazionale - traslazionale) e di erosione da parte delle acque meteoriche e di fusione nivale, con presenza di fossi e solchi di ruscellamento concentrato.

L'assetto geomorfologico dell'area è strettamente legato alle caratteristiche geologiche e strutturali, ed alla presenza quindi di dislocazioni tettoniche, pieghe e sovrascorrimenti; su queste si sono impostate, alternandosi e sovrapponendosi nel tempo, le azioni di modellamento dei ghiacciai, degli agenti atmosferici e della forza di gravità.

Oltre agli orli di scapata di frana e di degradazione, i versanti vallivi sono caratterizzati dalla presenza di elementi morfologici a controllo strutturale, quali orli di scarpate e cornici strutturali interessati da diffusi fenomeni di crollo e disseccati da fossi e solchi di ruscellamento concentrato, numerosi soprattutto nella parte alta della valle dell'Acquasanta (fig. 57).

Forme del rilievo dovute all'azione morfogenetica dei processi crionivali sono evidenti nei versanti esposti a nord, a quote superiori a 1700 m s.l.m., della dorsale M. Cacamillo, M. Rotondo, P. ta Bambucerta.

In questo settore sono evidenti le tracce di circhi glaciali rimodellate dai processi di degradazione, con formazione di coni e falde detritiche legati all'intensa azione del gelo e del disgelo sulle ripide pareti calcaree, alte scarpate d'erosione interessate da crolli e caduta di detrito, canali di valanga modellati sia dal passaggio delle slavine e valanghe nel periodo invernale e primaverile, sia dall'azione delle acque incanalate e della gravità (figure 58 e 59).

I materiali detritici e di frana, trascinati verso il basso dalle slavine e dalle acque di ruscellamento concentrato incanalate, spesso danno luogo alla base e allo sbocco dei canali ad accumuli detritici e a conoidi (cfr. Stralcio Geomorfologico nella TAV. E4.1 f.t.).



Figura 57: Panoramica delle Gole dell'Acquasanta.



Figura 58: Panoramica del versante settentrionale di P.ta Bambucerta, caratterizzato da creste affilate e solcato da numerosi fossi in approfondimento.

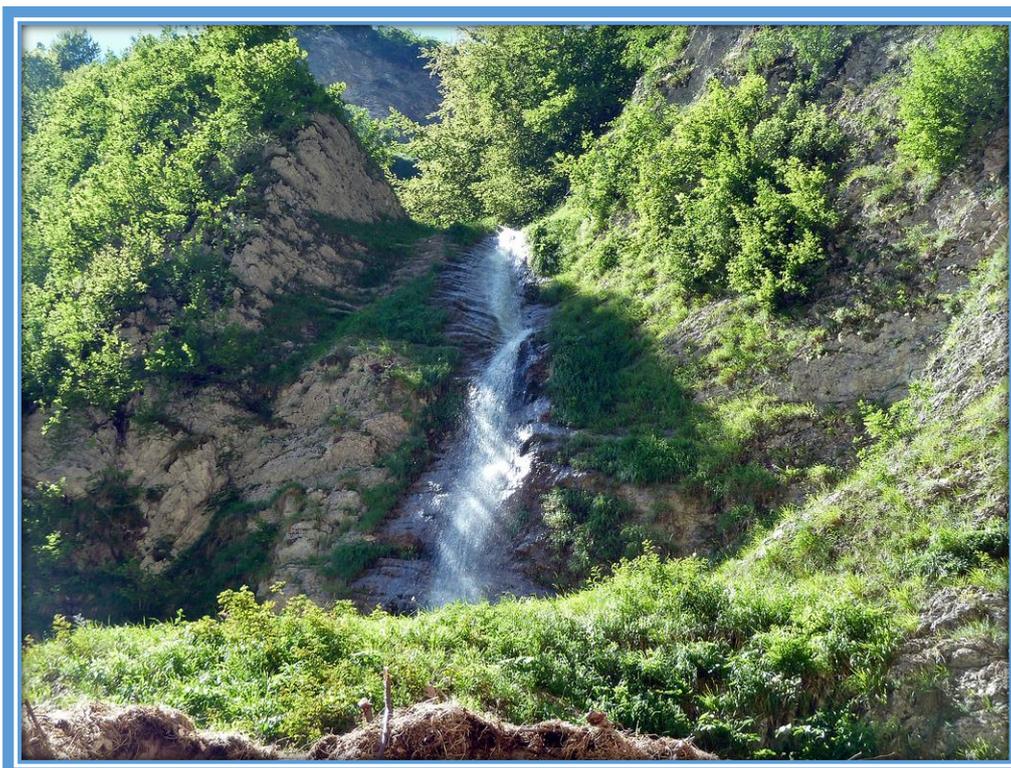


Figura 59: Cascata dell'Acquasanta.

Molto significative sono le forme legate alla azione morfogenetica delle acque correnti e della gravità: valli strette, gole, forre, cascate e scarpate dalle pareti altissime profondamente incise dalla azione erosiva lineare operata dai torrenti di Valle Acquasanta, Fosso Sacrarò e Fosso del Rio, tra le quali spiccano per la particolare bellezza le gole della cascata dell'Acquasanta nella parte alta della valle omonima.

A scala di dettaglio, lungo il sentiero, sono numerosi i fossi, solchi e canali in approfondimento legati all'attività erosiva delle acque di ruscellamento concentrato, soprattutto nell'ultimo tratto lungo il versante settentrionale della dorsale di P. ta Bambucerta. Allo sbocco delle principali incisioni, spesso si formano conoidi di deiezione di origine poligenica, in alcuni casi interessati da fenomeni di trasporto di massa del tipo debris flow.

Le forme di erosione ed accumulo dovute ai processi gravitativi sono molto diffuse nei versanti vallivi investigati.

Le forme più evidenti sono rappresentate da accumuli di frane attivi e quiescenti, orli di scarpata di frana, scarpate morfologiche – strutturali in degradazione, coni e detriti di falda, aree in erosione.

Depositi di frana di tipo scorrimento rotazionale/traslazionale attivi sono presenti nel tratto iniziale del sentiero, nei versanti del T. Fiastrone, e nel tratto finale nei versanti in destra idrografica della Valle e delle Gole dell'Acquasanta, soprattutto in corrispondenza della confluenza del Fosso Sacrarò con il Fosso del Rio e dei numerosi impluvi che solcano i versanti della gola.

I depositi di frana in roccia, di limitato spessore ed estensione, presenti ai piedi delle pareti rocciose, contengono grossi blocchi con scarsa matrice fine.

3.5.2. DESCRIZIONE DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE E DEI PUNTI DI ATTENZIONE

Attraverso l'analisi diretta degli aspetti litologici, giacaturali e geomorfologici, nel corso dei sopralluoghi è stato possibile caratterizzare le criticità geomorfologiche (CR) presenti lungo il sentiero, ovvero le aree in cui i fenomeni di instabilità geomorfologica pregiudicano la sicurezza del tracciato.

Sono stati inoltre individuati i punti di attenzione (PdA) che corrispondono principalmente a luoghi con potenziale criticità idraulica in corrispondenza di impluvi interferenti il sentiero.

I settori interessati da criticità idrogeologica comprendono:

- fenomeni di frana di crollo/ribaltamento in roccia e in corrispondenza di alte scarpate morfo-strutturali in degradazione prossime al sentiero (CR1, CR2, CR3 e CR6);
- aree interessate dall'accumulo per scivolamento e rotolamento di massi provenienti da versanti soggetti a frane non prossimi al sentiero (CR4, CR5);
- fenomeno franoso di tipo complesso (Cr7) lungo il versante occidentale di Balzo della Croce.

Le criticità idrogeologiche presenti nel tratto compreso tra le progressive 1 + 00 e 1 + 500 (figure 60, 61 e 62), interessano il settore dove affiora diffusamente la formazione dei Calcari a Posidonia, con una giacitura prevalente a reggi poggio, immersione verso SSW e inclinazione di circa 20°. Nonostante l'assetto giaciturale risulti sostanzialmente favorevole alla stabilità del versante, la presenza dei sistemi di fratture che individuano cunei con linea d'intersezione a franapoggio, l'elevata acclività (> 45°) delle pareti rocciose e i processi di degradazione e crioclastismo, determinano distacchi e crolli di porzioni rocciose che possono raggiungere dimensioni anche superiori al metro cubo.



Figura 60: Tratto del sentiero compreso tra le progressive 1+300 e 1+400 circa, interessato da frane di crollo/ribaltamento, con accumuli del materiale di frana alla base delle pareti nei Calcari a Posidonia.



Figura 61: Particolare dell'affioramento dei Calcari a Posidonia, con strati medi e sottili fratturati. La giacitura degli strati è a reggipoggio, con immersione WSW. Sono ben evidenti le fratture aperte e le nicchie di distacchi recenti di cunei rocciosi individuate dall'intersezione dei sistemi di fratture e della stratificazione.

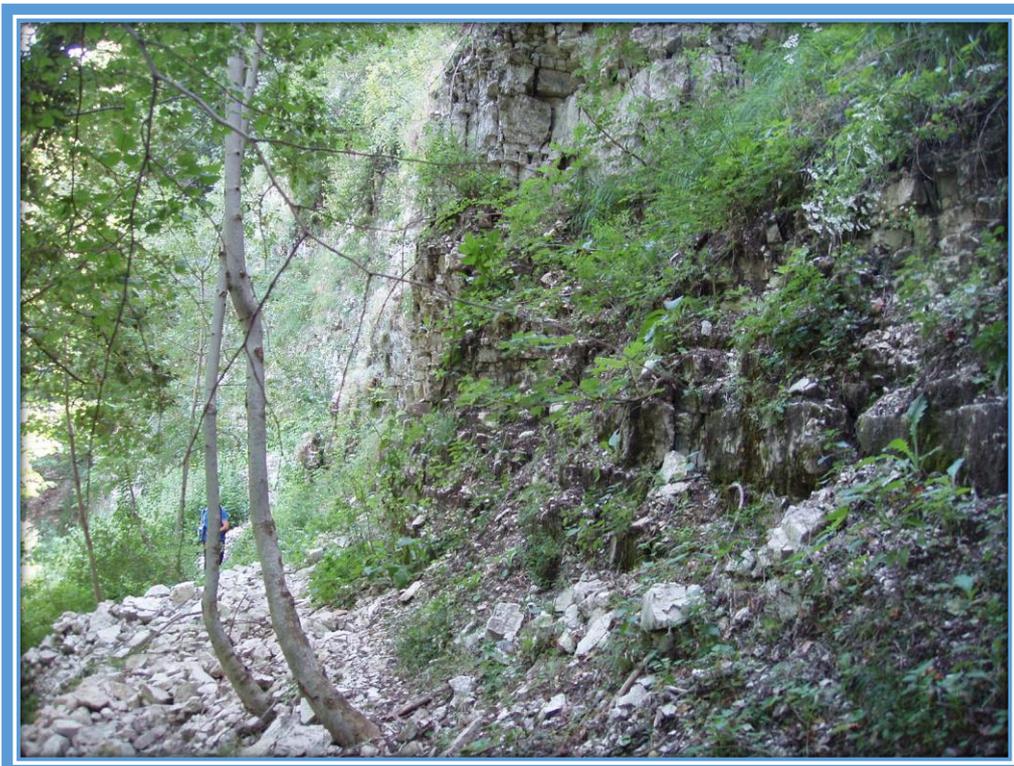


Figura 62: Scarpata in roccia nella formazione dei Calcari a Posidonia aggettante sul sentiero. Si riconoscono evidenti segni d'instabilità con strati alterati in superficie, molto fratturati con fratture aperte e disarticolati.

La criticità idrogeologica n. 7 è riferita ad una frana complessa attivatasi nella prima decade del mese di maggio 2018 lungo il versante occidentale di Balzo della Croce.

Il movimento ha interessato i depositi detritici presenti lungo il versante destro della Valle dell'Acquasanta nel settore prossimo alla confluenza con il F.sso Sacrarò, probabilmente con un movimento iniziale di tipo scivolamento che ha determinato la rottura di una condotta ENEL, a sua volta all'origine di un successivo approfondimento del fenomeno con caratteristiche di colata rapida (fig. 63) che ha raggiunto il Fosso Sacrarò.



Figura 63: immagine ripresa con drone il 14.5.2018 della frana attivatasi lungo il versante occidentale di Balzo della Croce.

L'orlo della scarpata di frana principale si individua una decina di metri a monte nel ripido versante del tracciato del sentiero (fig. 64) che tra le progressive 3+ 750 e 3+830 circa non risulta più transitabile (fig. 65).

L'area in frana interessa la fascia detritica che, come riportato anche nella cartografia geologica (cfr. TAV. E4.1 f.t.) risulta delimitata a monte da una scarpata di faglia con rigetto metrico impostata nei calcari fortemente fratturati e tettonizzati della Maiolica.

I rilievi di campagna hanno evidenziato, inoltre, l'esistenza di rotture di pendenza, contropendenze e trincee che evidenziano l'esistenza di una condizione di instabilità diffusa, molto

più ampia dell'area che è stata mobilizzata, anche se a distanza di alcuni mesi, il secondo rilievo effettuato con drone, evidenzia una situazione sostanzialmente invariata (fig. 66).



Figura 64: Particolare dell'orlo della scarpata di frana.



Figura 65: il tratto del sentiero interrotto dalla frana; in primo piano la condotta ENEL divelta.



Figura 66: immagine ripresa con drone il 4.12.2018 della frana attivatasi lungo il versante occidentale di Balzo della Croce.

Riguardo ai punti di attenzione, si tratta nella maggior parte dei casi di punti in cui la presenza di impluvi determina la concentrazione delle acque di ruscellamento superficiale con trasporto solido, fino a determinare un'azione erosiva che compromette la continuità del sentiero. L'attuale mancanza di opere di regimazione delle acque, fa sì che gli effetti potranno aumentare in futuro, al punto da incidere sulla stabilità anche delle aree circostanti.

I punti di attenzione individuati comprendono:

- attraversamento di versanti fortemente acclivi con presenza di parete a ridosso del percorso, ridotta ampiezza e scivolosità in caso di pioggia (PdA6) (fig. 67);
- attraversamento di impluvi con flusso concentrato di acqua di ruscellamento e trasporto solido in occasione di forti precipitazioni (PdA1, PdA2, PdA3, PdA4, PdA5 e PdA7 e PdA9) (fig. 68);
- condotta dissestata parzialmente crollata (PdA8);
- versante fortemente acclive inciso da impluvi (canaloni/solchi di erosione di ruscellamento concentrato), accompagnati da flussi di materiale detritico in occasioni di forti precipitazioni; tratti

di sentiero in cui il transito è reso difficoltoso per la ridotta ampiezza dello stesso e per sovrassaturazione del regolite (PdA11 e PdA12);

- versante sub verticale interessato da ruscellamento di acque e vene d'acqua (PdA 13).

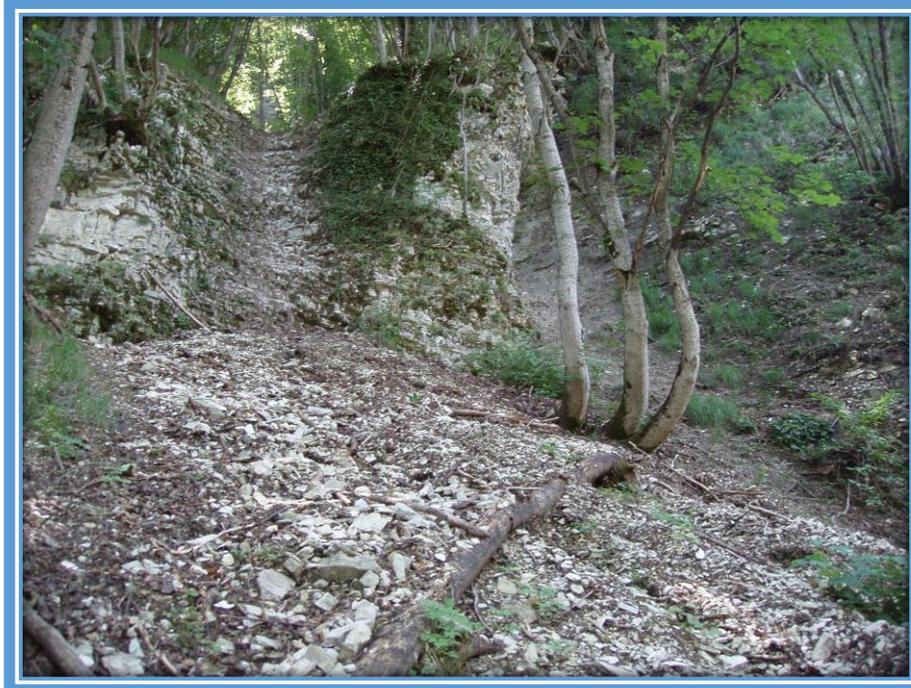


Figura 67: Solchi di erosione di ruscellamento concentrato nei versanti rocciosi attraversati dal sentiero con evidenze di accumulo di materiale detritico da trasporto di massa alla base delle pareti rocciose.



Figura 68 Solco di erosione di ruscellamento concentrato con evidenze di accumuli di materiale detritico da trasporto di massa.

3.5.3. PROPOSTE DI INTERVENTO

Le principali criticità idrogeologiche riscontrate lungo il tracciato del sentiero sono legate alla presenza di fenomenologie di dissesto dovute alla azione dei processi gravitativi, prevalentemente a carattere di crollo. Facendo riferimento al quadro dei dissesti e delle criticità riscontrati (cfr. TAV. E4.2 f.t.) viene formulata una proposta di possibili tipologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio nella necessità di garantire un buon inserimento paesaggistico-ambientale, in considerazione dell'elevata valenza naturalistica dell'area.

Analogamente, vengono proposte soluzioni di intervento in corrispondenza dei punti di attenzione, caratterizzati di norma, dalla presenza di problematiche di magnitudo inferiore.

3.5.4. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLE CRITICITÀ IDROGEOLOGICHE PER FRANE DA CROLLO.

Criticità CR1, CR2, CR3 e CR6

Nel settore iniziale dell'area d'interesse, tra le progressive 1 +020 e 1 + 400 circa, alcuni tratti del sentiero sono esposti al rischio di crollo e caduta di massi e detrito dalle pareti rocciose sovrastanti, costituite da rocce calcaree stratificate e fratturate, con presenza di porzioni rocciose alterate in superficie e disarticolate. Alla base dei fronti rocciosi sono presenti accumuli di materiale detritici e di frana, formati da materiale lapideo spigoloso a pezzatura medio – piccola che in parte occupano anche la sede del percorso. Allo stato attuale, il transito è possibile, anche se in alcuni punti è reso difficoltoso per la presenza di detrito e massi che ingombrano il passaggio e sussiste il rischio di caduta massi dalle pareti rocciose sovrastanti il sentiero a monte che possono mettere in pericolo l'incolumità delle persone transittanti.

Per questi tratti, al fine di stabilizzare i fronti rocciosi instabili e mettere in sicurezza il sentiero, si propongono interventi di stabilizzazione del versante e di ripristino del sentiero, mediante:

- Riprofilatura delle scarpate in roccia;
- Disgaggio dei blocchi disarticolati ed instabili;
- Messa in sicurezza, con spostamento in posizioni stabili o loro rimozione, dei frammenti lapidei e dei blocchi sparsi sul pendio a monte e in condizione di equilibrio precario;
- Ripristino dell'efficienza del sentiero, risanando i settori danneggiati e asportando i materiali caduti e rotolati giù dalle scarpate.

La realizzazione di questi interventi non costituisce un intervento risolutivo del dissesto.

Con la realizzazione degli interventi di stabilizzazione proposti non sarà eliminata completamente la pericolosità geomorfologica dell'area; tuttavia, gli interventi permetteranno di ripristinare la funzionalità del percorso escursionistico, mitigando il rischio idrogeologico esistente.

Un ulteriore incremento del livello di sicurezza potrebbe essere ottenuto attraverso:

- Rafforzamento corticale dei fronti rocciosi mediante posa di pannelli di rete zincata in aderenza alla parete, eventualmente rinforzate con funi di acciaio e chiodature per contrastare in maniera più efficace i fenomeni di rottura progressiva evidenti sui fronti rocciosi e trattenere eventuali distacchi di materiale lapideo.

Criticità Cr4 e Cr5

Nella tratta di sentiero tra le progressive 1+230 e 1+410 circa il percorso escursionistico, in molti punti di limitata ampiezza, si sviluppa a valle di alte pareti rocciose che localmente, specie in corrispondenza di avvallamenti morfologici, danno luogo ad accumuli detritici di materiale lapideo di varia pezzatura, con massi e blocchi spigolosi di dimensioni decimetrici.

Allo stato attuale, il transito pedonale in questo settore è possibile, anche se in alcuni punti è reso molto difficoltoso per la presenza di detrito e massi che ingombrano il passaggio, per le ridotte dimensioni del sentiero e la presenza di tronchi. Inoltre, sussiste il rischio di caduta massi e detrito dalle pareti rocciose degradate e fratturate sovrastanti il sentiero a monte.

Per questi tratti, al fine di stabilizzare i fronti rocciosi instabili e mettere in sicurezza il sentiero, si propongono interventi di stabilizzazione del versante e di ripristino del sentiero, mediante:

- Riprofilatura delle scarpate rocciose e disaggio dei blocchi instabili;
- Rafforzamento corticale dei fronti rocciosi mediante posa di pannelli di rete zincata in aderenza alla parete, eventualmente rinforzate con funi di acciaio e chiodature;
- Pulizia del versante mediante rimozione, dei frammenti lapidei e dei blocchi in condizione di equilibrio precario sparsi sul pendio a monte;
- Pulizia del sentiero, asportando i materiali caduti e rotolati giù dalle scarpate che ingombrano il sentiero, e ripristino dell'efficienza del sentiero, risanando i settori danneggiati dai fenomeni erosivi e dai materiali caduti e/o franati.
- Stabilizzazione del deposito di versante con viminate e muretto di pietrame alla base e di una palizzata in legname ancorata nel substrato resistente.

3.5.5. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DELLA CRITICITÀ IDROGEOLOGICA PER FRANA COMPLESSA.

Criticità Cr7

Nel settore del tracciato compreso tra le progressive 3+ 750 e 3+ 830, il sentiero si sviluppa a mezzacosta lungo il ripido versante destro della Valle Acquasanta attraversando una estesa fascia di depositi detritico – colluviali di versante.

Questo settore è stato interessato nel maggio 2018 da un esteso movimento franoso che ha travolto il sentiero, distruggendo il manufatto in calcestruzzo della condotta esistente, per una lunghezza di circa quaranta metri.

Allo stato attuale, il transito è interdetto per l'elevata pericolosità geomorfologica dell'area e il rischio per l'incolumità delle persone.

I rilievi di campagna hanno evidenziato l'esistenza di chiari indizi morfologici (fratture di trazione, variazioni di pendenza, contropendenze) di una condizione di instabilità diffusa che interessa un'area molto più estesa di quella in frana.

Ne deriva la necessità di una campagna di indagini geognostiche mirata a fornire informazioni di dettaglio sulla estensione e profondità dell'area in frana e sulle caratteristiche geotecniche dei terreni al fine di progettare gli interventi di consolidamento e sistemazione che necessariamente saranno di considerevole impatto sull'ambiente.

Al momento, si propone di:

- interdire il transito sul tratto di sentiero in oggetto, previa predisposizione di un percorso alternativo che esclude il transito nel settore di versante instabile. Il percorso alternativo (cfr. TAV. E4.3) si dirama dall'attuale tracciato a partire dalla progressiva 2+900 e seguendo una stradina sterrata esistente, ubicata più a monte, si ricongiunge intorno alla progressiva 4+150 all'attuale sentiero, poche centinaia di metri dopo la frana, prima dell'attraversamento del Fosso Sacro.

3.5.6. IPOTESI DI INTERVENTO IN CORRISPONDENZA DEI PUNTI DI ATTENZIONE

Presenza di impluvi interessati da eventi di flusso concentrato a elevato trasporto solido (PdA1, PdA2, PdA3, PdA4, PdA5, PdA7).

Nel settore iniziale e intermedio del tracciato, il sentiero si sviluppa a mezzacosta lungo il ripido versante destro della Valle Acquasanta, caratterizzato dalla presenza di numerosi impluvi ad andamento prevalentemente rettilineo, più o meno incisi, impostati lungo le linee di massima pendenza e di debolezza strutturale. Lungo questi impluvi in occasione di eventi meteorici intensi e/o prolungati, possono attivarsi flussi di ruscellamento concentrato con elevato trasporto solido. In tali situazioni, il passaggio pedonale in corrispondenza dell'attraversamento dell'impluvio, è parzialmente invaso da detriti, tronchi, resti vegetali trasportati dalle acque di ruscellamento, con alcuni tratti erosi e asportati dalla corrente. Tali fenomeni rendono difficoltoso e pericoloso il transito del sentiero, compromettendone la percorribilità.

Si propongono interventi di regolarizzazione del profilo di fondo dell'impluvio, di rallentamento della velocità del flusso idrico e contenimento del trasporto solido a protezione del tracciato, mediante la realizzazione di:

- Piccole briglie in legname e pietrame con inserimento di talee;
- Vasca di decantazione e smorzamento deflusso in pietrame e malta con gaveta;
- Vimate posizionate sui depositi di versante.

Versante acclive con accumulo detrito lungo il sentiero (PdA6)

Lungo il versante destro della valle del T. Fiastrone in corrispondenza della progressiva Pk 2+100, il sentiero corre a ridosso di un'alta parete di rocce calcaree, stratificate e fratturate, interessata da fenomeni di degradazione con strati disarticolati e fratture aperte e evidenze di distacchi di porzioni rocciose. Il transito in questo punto è reso pericoloso per la ridotta ampiezza del sentiero, per la presenza di massi, detrito e vegetazione sul sentiero. In occasioni di precipitazioni, inoltre il sentiero è molto scivoloso.

Per la sicurezza mitigazione della pericolosità del sentiero si propongono:

- Interventi periodici di pulizia della parete rocciosa a ridosso del sentiero, con disaggio dei blocchi instabili;
- Rimozione dei massi o ripristino dell'efficienza del sentiero, risanando i settori eventualmente danneggiati dai fenomeni erosivi e dai materiali caduti e/o franati.

Sprofondamento della copertura della condotta (PdA8)

Alla progressiva 2+380 circa il sentiero si sviluppa su di una condotta in muratura, dissestata per il crollo della copertura in più punti. Per tale situazione, al fine di mettere in sicurezza il percorso dal rischio di cedimenti/sprofondamento della struttura si propone un intervento di:

- Ripristino della copertura della condotta.

Impluvi interessati da eventi di flusso concentrato con elevato trasporto solido; emergenze idriche diffuse nei versanti con saturazione e dissesti dei terreni (PdA9, PdA10, PdA11, PdA12, PdA13)

L'ultimo tratto del tracciato, tra le progressive 4 +200 circa e 5+400 (fine percorso), il sentiero si sviluppa a mezzacosta nei versanti acclivi incisi nei litotipi marnoso – calcarei delle Marne a Fucoidi in destra idrografica della Valle Acquasanta. Il versante piuttosto acclive è caratterizzato da salti morfologici, con alte scarpate a forte controllo strutturale, e da numerosi impluvi che interferiscono con il sentiero.

In alcuni tratti, l'acclività del versante rende necessaria la realizzazione di percorsi protetti con passerelle e corrimano con catene per sostenersi. Attualmente, lo stato di degradazione in cui versa il sentiero rende molto difficile e pericoloso il passaggio.

L'assetto geologico – strutturale e idrogeologico particolare di questo settore, inoltre, determina nei versanti attraversati dal sentiero emergenze diffuse delle acque di falda attraverso

le fratture dell'ammasso roccioso che contribuiscono a determinare la saturazione dei terreni del sedime, ristagni d'acqua sul percorso e locali fenomeni di dissesto.

Per questi tratti, al fine di consentire l'attraversamento in condizioni di sicurezza e preferibilmente su un piano di calpestio all'asciutto dei numerosi impluvi presenti, caratterizzati da flussi discontinui e spesso con elevato trasporto solido, si propone la realizzazione di opere d'attraversamento mediante:

- Posa in opera di tronchi adiacenti e solidarizzati con grappe metalliche.

Nei tratti dove la saturazione dei terreni causa ristagni d'acqua e locali dissesti del sentiero si consiglia d'intervenire attraverso la realizzazione di adeguate piccole opere di sostegno sulla scarpata del sentiero e sul versante sottostante il sentiero stesso quali:

- Nei tratti particolarmente acclivi, passerelle e corrimano con catene per sostenersi.

4. 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](https://doi.org/10.1002/2013WR014491))
- AGENZIA PER LA PROTEZIONE DELL'AMBIENTE E PER I SERVIZI TECNICI (APAT - 2002): *Atlante delle opere di sistemazione dei versanti*. MANUALI E LINEE GUIDA, ROMA
- 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.
- BONI C., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI 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](https://doi.org/10.4408/IJEGE.2010-02.O-02))
- 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.
- CONGEDO L. (2016). *Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*. ([HTTP://DX.DOI.ORG/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1](http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.29474.02242/1)).
- 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](https://doi.org/10.1007/s12665-014-3946-6))
- HOEK E. (1986) - *Rockfall: a computer program for predicting rockfall trajectories*. UNPUBLISHED INTERNAL NOTES, GOLDER ASSOCIATES, VANCOUVER.
- HORTON P., JABOYEDOFF P.M., RUDAZ B., ZIMMERMANN M., (2013) *Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale*. NAT. HAZARDS EARTH SYST. SCI., 13, 869–885
- HOEK E. & BROWN E.T. (1997) - *Practical estimates of rock mass strength*. INT'L. J. ROCK MECH. & MINING SCI. & GEO- MECHANICS. ABSTRACTS, 34 (8), 1165-1186.
- ISTITUTO GEOGRAFICO MILITARE (IGM) - *Volo Base, 1954*.
- ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA (INGV) – *Modello digitale del terreno Tinitaly* ([HTTP://TINITALY.PI.INGV.IT](http://tinitaly.pi.ingv.it)).
- MASTORILLO L., BALDONI T., BANZATO F., BOSCHERINI A., CASCONI 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.

- PETTITA 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.
- PETTITA 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. ([HTTPS://DOI.ORG/10.1007/S10040-017-1717-7](https://doi.org/10.1007/s10040-017-1717-7))
- PETTITA 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.
- PITEAU D.R. & CLAYTON R. (1987) - *Computer rockfall model*. PROCEEDING MEETING ON ROCKFALL DYNAMICS AND PROTECTIVE WORKS EFFECTIVENESS, BERGAMO, ITALY. ISMES, 90, 123-125.
- PLANET LABS INC. – *Immagini satellitari 2018*. ([HTTPS://WWW.PLANET.COM](https://www.planet.com))
- REGIONE LAZIO (2006) - *QUADERNI DI CANTIERE - Volume 5: grata viva semplice (di versante)*
- REGIONE LAZIO (2008) - *QUADERNI DI CANTIERE – Volume 15: Palizzata viva*
- REGIONE LIGURIA (1997) – *Opere e tecniche di ingegneria naturalistica e recupero ambientale*.
- REGIONE MARCHE. *Carta Geologica in scala 1:10.000*. ([HTTP://WWW.REGIONE.MARCHE.IT/REGIONE-UTILE/PAESAGGIO-TERRITORIO-URBANISTICA/CARTOGRAFIA/REPERTORIO/CARTAGEOLOGICAREGIONALE10000](http://www.regione.marche.it/regione-utile/paesaggio-territorio-urbanistica/cartografia/repertorio/cartageologicaregionale10000))
- REGIONE MARCHE. *Carta Geomorfologica in scala 1:10.000*. ([HTTP://WWW.REGIONE.MARCHE.IT/REGIONE-UTILE/PAESAGGIO-TERRITORIO-URBANISTICA/CARTOGRAFIA/REPERTORIO/CARTAGEOMORFOLOGICAREGIONALE10000](http://www.regione.marche.it/regione-utile/paesaggio-territorio-urbanistica/cartografia/repertorio/cartageomorfologicaregionale10000))
- SAI PROGETTI (2014) - *Opere di di regimazione idraulica e di salvaguardia dell'abitato di Borgo di Terzo*. ([HTTP://WWW.SAIPROGETTI.NET](http://www.saiprogetti.net)). REGIONE LOMBARDIA
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1941) - *Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, Foglio 132 Norcia*.
- 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](https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.05.014))