

OGGETTO: **Deliberazione della Giunta regionale n. 250 del 13/05/2021**, Accordo di programma ai sensi dell'art. 15 della L. 241/1990 e smi e dell'art. 21 del D.Lgs 1/2018 (codice della protezione civile), tra la Regione Abruzzo e l'Università degli Studi "G. D'Annunzio" di Chieti – Pescara, Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO), per l'analisi di valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico nelle aree percorse da incendi boschivi in alcune località del Comune di L'Aquila a partire dal 30 luglio 2020. Modifica Deliberazione della Giunta Regionale n. 753 del 01/12/2020.

Studio INGEO per finalità di Protezione Civile

RELAZIONE

La Regione Abruzzo, ai sensi del Decreto legislativo 2 gennaio 2018, n. 1 "Codice della Protezione Civile", partecipa al Servizio Nazionale di protezione civile assicurando, nei limiti delle competenze proprie o delegate, lo svolgimento delle attività previste in materia in armonia con i principi della legislazione statale vigente.

Nel richiamare il ruolo delle Regioni per l'attuazione del sistema di allertamento nazionale e delle azioni di contrasto così come disciplinati dalla Direttiva del Presidente del Consiglio dei Ministri del 27 febbraio 2004, con riferimento alla costituzione dei presidi territoriali di interesse regionale, occorre evidenziare la necessità di porre in essere tutte le azioni di competenza miranti alla mitigazione del rischio idrogeologico e idraulico nell'ambito del più esteso sistema di protezione civile. In particolare, nell'ambito delle attività di prevenzione, monitoraggio e gestione emergenziale di tali situazioni di rischio, è importante favorire il coordinamento e la messa a sistema delle risorse umane e materiali presenti sul territorio, anche attraverso una gestione più organizzata del volontariato locale e delle competenze tecnico-professionali disponibili.

Per le suddette finalità, la Giunta regionale, su proposta del Servizio Prevenzione dei Rischi di protezione civile (DPC029) – Dipartimento DPC, attualmente Servizio Apc001 dell'Agenzia regionale di Protezione Civile:

- con la Deliberazione del 26/09/2017, n° 513 – ha formalizzato specifico accordo di collaborazione tra la Regione Abruzzo e l'Università di Chieti-Pescara – Dip. di Ingegneria e Geologia – INGEO, al fine di potenziare le Unità tecnico-scientifiche di presidio territoriale nella regione Abruzzo;
- con la Deliberazione del 15/11/2021, n° 717 ha rinnovato l'accordo di collaborazione biennale (anni 2022-2023) con l'Ordine regionale dei Geologi per le attività di prevenzione dei rischi idraulico e idrogeologico nell'ambito dei Presidi Territoriali di protezione civile;
- con la Deliberazione del 14/09/2020, n° 542 ha approvato una proposta operativa per l'organizzazione ed attivazione di Presidi Territoriali Idraulici di interesse regionale – DPCM 27/02/2004 – DGR 147/2018;

Per il caso specifico relativo alle criticità idrogeologiche nei Comuni di L'Aquila e Pizzoli (AQ) a seguito degli incendi boschivi che si sono verificati nell'estate dell'anno 2020, con la DGR del 31/08/2020 n° 536, la Giunta

Regionale ha richiesto al Presidente del Consiglio dei Ministri, per il tramite del Dipartimento della Protezione Civile, la “dichiarazione dello stato di emergenza”, ai sensi dell’art. 24, comma 1) del D.Lgs n. 1 del 02/01/2018, per l’estensione e la gravità dei fenomeni.

Non avendo ottenuto il riconoscimento di stato di emergenza, ai sensi della medesima DGR 536/2020, con la Deliberazione del 13/05/2021, n° 250, la G.R.A. ha approvato l’“Accordo di programma ai sensi dell’art. 15 della L. 241/1990 e smi e dell’art. 21 del D.Lgs 1/2018 (codice della protezione civile), tra la Regione Abruzzo e l’Università degli Studi “G. D’Annunzio” di Chieti – Pescara, Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO), per l’analisi di valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico nelle aree percorse da incendi boschivi in alcune località del Comune di L’Aquila a partire dal 30 luglio 2020”;

In data 11/03/2022, prot. 96422 il Dipartimento INGEO, attraverso il prof. Nicola Sciarra, ha consegnato la relazione finale dello studio in argomento.

Effettuate le valutazioni preliminari sulla documentazione pervenuta e richieste le necessarie integrazioni rimesse con comunicazione del 05/05/2022, la Relazione conclusiva completa di cartografia, con nota prot. 210407 del 30/05/2022 è stata trasmessa agli Organi Politici della Regione Abruzzo, alla Prefettura di L’Aquila, ai Comuni territorialmente interessati, ai Direttori e Dirigenti dei Dipartimenti regionali competenti in materia, al Delegato dell’Autorità Distrettuale di Bacino Appennino Centrale, all’Ente Parco di riferimento, al Comando Carabinieri Forestali, al Comando dei VV.F. di riferimento ed alle Strutture regionali di Protezione Civile, convocando nel contempo anche un’apposita riunione.

In data 08/06/2022 si è tenuto detto incontro e, in merito, il Dipartimento INGEO dell’Università D’Annunzio Chieti - Pescara, quale soggetto incaricato ai sensi della DGR 250/2021, ha presentato il gruppo di esperti appartenenti a diversi Atenei (Federico II di Napoli, Urbino) che hanno preso parte al lavoro, validandone i dati. Nel dettaglio, è stata descritta la metodologia utilizzata al fine di rivalutare i livelli di pericolosità dell’area colpita dagli incendi del luglio 2020; è stata condotta un’analisi dei bacini idrografici interessati in ordine alle caratteristiche geologiche e geomorfologiche, la perimetrazione delle aree percorse dal fuoco, la caratterizzazione dei depositi erodibili e le analisi pluviometriche. Come esposto in sede di riunione, lo Studio si è concentrato sull’analisi di processing di immagini satellitari di aree soggette a potenziali fenomeni di debris-flow successivamente agli incendi. In particolare, sono state individuate problematiche importanti sul versante insistente sul Fosso delle Pescine nel territorio di Arischia (frazione dell’Aquila), interessato storicamente da fenomeni di debris-flow e, nel luglio-agosto del 2020, dai ben noti intensi incendi boschivi, e prodotte carte tematiche della pericolosità e del rischio idrogeologico in relazione a fenomeni gravitativi per i territori dei Comuni di L’Aquila e Pizzoli (Aq).

I fenomeni pirologici hanno diffusamente aggravato le criticità geomorfologiche e geopedologiche dei versanti interessati, aumentando la possibilità di innesco di fenomeni gravitativi, con particolare riferimento a frane da crollo e colate detritiche (debris flows), e la possibilità di ripercussioni sulla sicurezza idrogeologica delle aree poste alla base del versante.

Sono stati mostrati i risultati finali operando anche il raffronto con la situazione precedente all'evento denotando in tal modo un incremento dei livelli di pericolosità e di rischio. Nelle more dell'approvazione dello studio da parte della Regione Abruzzo, i Comuni coinvolti sono stati invitati a programmare attività di presidio e monitoraggio da attivare in occasione di eventi meteorologici avversi con riferimento all'allertamento del Centro Funzionale regionale, ad aggiornare i rispettivi Piani di emergenza comunali e ad avviare le procedure per la riclassificazione dei medesimi siti ai fini del Piano Stralcio per l'assetto idrogeologico (PAI). Le Amministrazioni Comunali, inoltre, sono state invitate a partecipare a future misure di finanziamento per interventi di recupero forestale delle aree percorse dal fuoco (c/o Dipartimento Agricoltura) e a valutare interventi di mitigazione del rischio idrogeologico indotto da proporre sulla piattaforma Rendis secondo le nuove procedure di cui al DPCM 27/09/2021 (c/o Dipartimento Infrastrutture – Trasporti).

La documentazione in argomento, già trasmessa a tutte le Strutture/Enti sopra citati per i seguiti di rispettiva competenza (aggiornamento piani comunali di emergenza, aggiornamento studi di pianificazione territoriale ed urbanistica, interventi per il recupero delle aree percorse da incendi e per la mitigazione del rischio idrogeologico, ...), approvata con decreto del Presidente della GRA, verrà pubblicata sul B.U.R.A.T., nel sito istituzionale e nel Geoportale della Regione Abruzzo.

Si allega la **Relazione Conclusiva dello studio** che ricomprende le seguenti cartografie:

TAV.I_Carta_Geologica_(1-10.000)

TAV.II_Carta_Geomorfologica_(1-10.000)

TAV.III_Carta_Severità_Incendi_(1-10.000)

TAV.IV_Carta_Mosaico_Estensione_Incendi_(1-10.000)

TAV.V_Carta_della_Pericolosità_(1-10.000)

TAV.VI_Carta_del_Rischio_(1-10.000)

Ufficio Rischio Idrogeologico e Idraulico

*Ing. Domenico Macrini
Ing. Arch. Mario Schettino
Ing. Vincenzo D'Ercole*

*Il Dirigente del Servizio – Apc001
Dott.ssa Daniela Ronconi*



Regione Abruzzo



**Agenzia Regionale di
Protezione Civile**



1506
UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI URBINO
CARLO BO

DISPEA
DIPARTIMENTO DI
SCIENZE PURE E
APPLICATE

Data di emissione
marzo '22

**ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA
PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AEREE
INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020
NEL COMUNE DI L'AQUILA
DGR N. 250 DEL 13/05/2021**

RELAZIONE CONCLUSIVA

IL COMMITTENTE

REGIONE ABRUZZO

Agenzia Regionale di Protezione Civile
**Servizio "Prevenzione dei rischi di protezione
civile"**

Dott.ssa Daniela Ronconi
Ing. Domenico Macrini

Gruppo di Lavoro

Prof. Nicola Sciarra¹ (Responsabile scientifico)
Prof. Domenico Calcaterra²
Dott. Diego Di Martire² (Ricercatore – PhD)
Dott. Mirko Francioni³ (Ricercatore – PhD)
Dott. Luigi Guerriero² (Ricercatore – PhD)
Dott.ssa Claudia Zito¹ (Borsista)
Dott. Simone Palumbo¹ (Borsista)

1: Dipartimento di Ingegneria e Geologia (INGEO) - Università G. d'Annunzio Chieti-Pescara
2: Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) – Università degli Studi di Napoli Federico II
3: Dipartimento di Scienze pure e applicate (DISPEA) – Università degli Studi di Urbino Carlo Bo

SOMMARIO

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GENERALE	4
3. ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO	7
4. CARATTERISTICHE E DINAMICA DELL'INCENDIO BOSCHIVO (LUGLIO-AGOSTO 2020).....	11
5. CARTA GEOLOGICA (Scala 1:10000)	17
6. CARTA GEOMORFOLOGICA (Scala 1:10000)	19
7. PROVE IN SITU ED ANALISI DI LABORATORIO	20
8. ANALISI PLUVIOMETRICA	31
9. MODELLAZIONE	54
10. CARTE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO	72
11. CONCLUSIONI	75
BIBLIOGRAFIA	80
CARTOGRAFIA DI BASE	80
STUDI DI RIFERIMENTO	81
SITOGRAFIA	81

1. PREMESSA

Il presente lavoro è stato realizzato nell'ambito dell'Accordo di Programma stipulato con DGR n. 250 del 13/05/2021 tra l'Agenzia Regionale di Protezione Civile - Servizio "Prevenzione dei rischi di protezione civile" (DPC029) e il Dipartimento di Ingegneria e Geologia dell'Università degli Studi "G. d'Annunzio" di Chieti-Pescara per lo "Studio della pericolosità idrogeologica nelle aree interessate dagli incendi dell'estate 2020 nel Comune dell'Aquila".

Lo studio si è concentrato sull'analisi di *processing* di immagini satellitari di aree soggette a potenziali fenomeni di debris-flow successivamente ad incendio. In particolare, sono state individuate problematiche importanti sul versante insistente sul Fosso delle Pescine (Fig. 1), nel territorio di Arischia (frazione dell'Aquila), interessato storicamente da fenomeni di debris-flow e, nel luglio-agosto del 2020, dai ben noti intensi incendi boschivi (Fig. 2).

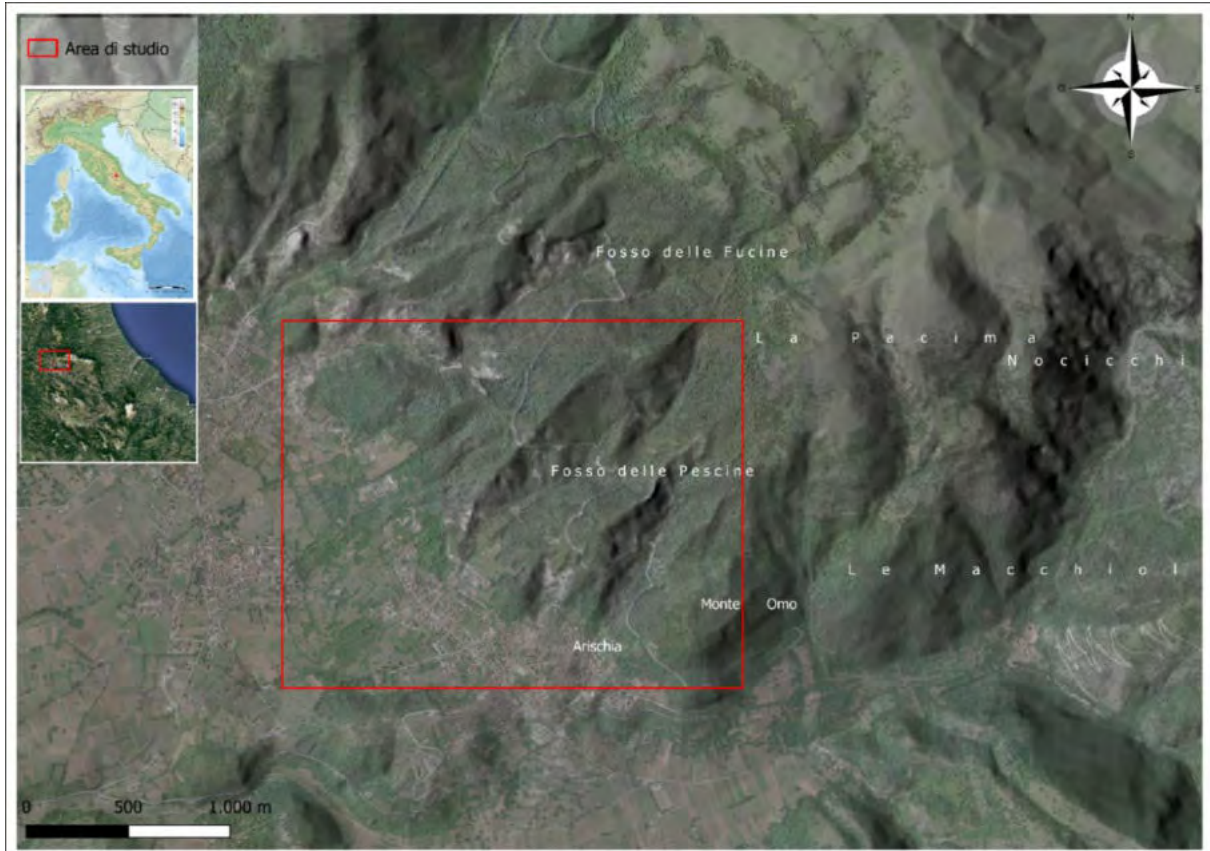


Figura 1 - Area di studio (Google Earth).

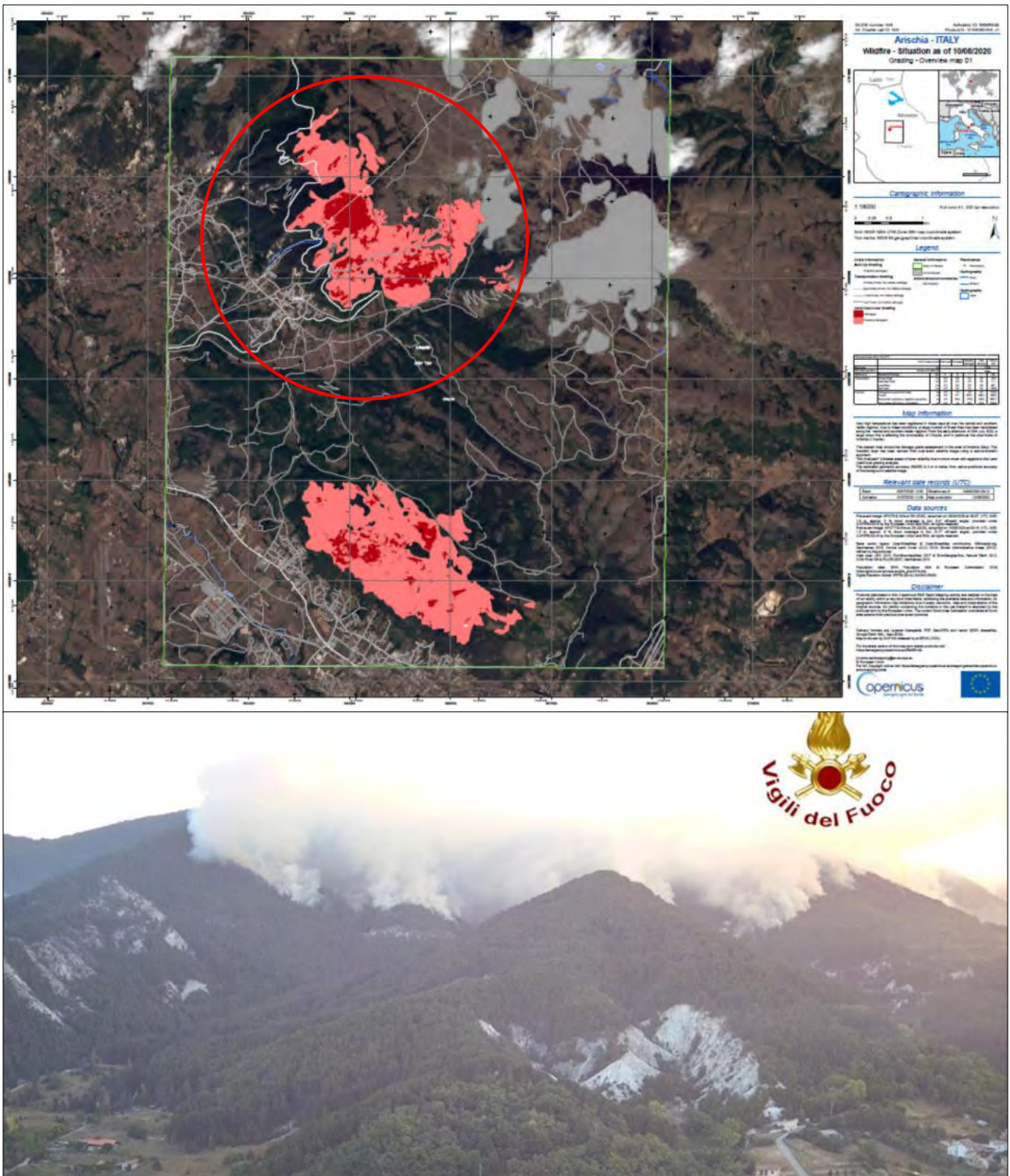


Figura 2 – Mappatura e panoramica dei versanti coinvolti nell'incendio del 2020 (Vigili del Fuoco) con individuazione dell'area oggetto del presente studio connessa ad un peggioramento delle condizioni di pericolosità

Nella fig. 2 è ben visibile tutto l'areale colpito dagli incendi del 2020; dai sopralluoghi e studi preliminari si è potuto constatare che la zona più adiacente alla città dell'Aquila non presenta peggioramenti della pericolosità idrogeologica se non nei riguardi dei tempi di corrivazione delle precipitazioni meteoriche nel breve periodo, mentre la zona a ridosso del centro abitato di Arischia presenta evidenti segni di aggravamenti della pericolosità geo-idrologica e del rischio connesso. Su tale area è stato focalizzato lo studio che segue.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

L'area oggetto di studio, soggetta ad aggravamento delle condizioni idrogeologiche, si trova a pochissimi chilometri a nord dal centro di Arischia, frazione del comune dell'Aquila; tale area, interessata in passato da fenomeni di *debris flow*, è stata colpita da alcuni importanti incendi nell'estate del 2020.

I fenomeni in esame, così come l'abitato di Arischia, sono collocabili nel margine sud-occidentale del Foglio C.A.R.G. 349 – Gran Sasso d'Italia della Carta Geologica d'Italia (1: 50.000), caratterizzato dal gruppo montuoso carbonatico del Gran Sasso d'Italia (ad andamento Est-Ovest) e dai rilievi minori posti a sud di Campo Imperatore (Fig. 3). Il settore centro-settentrionale del Foglio è invece costituito dal tratto meridionale dei Monti della Laga, rappresentato dall'ampia fascia montuosa ad andamento all'incirca Nord-Sud, e dall'area collinare-pedemontana che comprende il Lago di Campotosto. L'esteso rilievo del Montagnone, ad andamento meridiano, caratterizza il settore nord-orientale del Foglio.

In quest'area il massiccio carbonatico del Gran Sasso d'Italia, che domina in termini percettivi l'intero Abruzzo, è presente con gran parte del settore più imponente e con caratteristiche geoambientali prettamente "alpine", che dal Valico delle Capannelle, nell'alta valle del Fiume Vomano, si estende fino alla Forchetta di Santa Colomba, posta fra il Monte Brancastello ed il Monte Prena.

Dal punto di vista geomorfologico il paesaggio è caratterizzato da un complesso di rilievi montuosi che raggiungono la quota più elevata dell'Appennino con il Corno Grande (2912 m s.l.m.). Il modellamento del paesaggio attuale è frutto della complessa interazione tra l'erosione selettiva, i movimenti neotettonici (sollevamento verticale e

faglie dirette) e l'alternanza di processi erosivi e deposizionali legati alle variazioni climatiche quaternarie.

Infine, in tempi recenti, millenarie pratiche di sfruttamento agricolo e silvo-pastorale hanno profondamente modificato la copertura pedologica e vegetazionale, contribuendo a conferire al paesaggio l'aspetto attuale.

L'assetto giaciturale ha, inoltre, favorito il modellamento di morfologie tipiche quali *flat irons*, ovvero faccette triangolari controllate dall'erosione. La presenza di faglie dirette ad attività quaternaria di notevole lunghezza ha generato il modellamento di estesi versanti di faglia, in corrispondenza dei quali sono presenti importanti coperture detritiche alluvionali. L'attività olocenica di alcune di queste faglie è testimoniata tra l'altro dalle evidenti scarpate di faglia molto fresche e da *scarplets* (scarpate di faglia) che si seguono con notevole continuità lungo i versanti (versante Assergi – Valico delle Capannelle, Fossa di Paganica, la Fossetta, Monte Stabiata, Arischia).

Rispetto al resto del Foglio, il settore meridionale è caratterizzato dalla presenza di una superficie di spianamento sommitale che conferisce al paesaggio un aspetto più dolce e meno articolato. Questa superficie è stata recentemente attribuita ad una fase unica di modellamento avvenuta alla fine del Pliocene inferiore a quote prossime al livello del mare e costituisce perciò un valido *marker* per la valutazione dell'entità del sollevamento tettonico e del rigetto delle faglie che la dislocano.

Il bacino oggetto di studio sembra essere impostato su due unità principali: Maiolica detritica e Calcere massiccio cataclasato.

La Maiolica detritica (Titonico - Barremiano) è costituita da prevalenti calcari micritici bianco-avorio e grigio-chiaro a frattura concoide, in strati medio-sottili (50-10 cm), con selce nera, bianca, beige e violetta in straterelli, lenti e noduli, con intercalazioni di strati e banchi calcarenitici e biocalcarenitici biancastri.

Il Calcere massiccio (Hettangiano – Sinemuriano) è costituito da prevalenti calcari bianchi-nocciola fango-sostenuti in strati (5-50 cm) e banchi (1-5 m), spesso con strati basali parzialmente dolomitizzati e, talora, con intercalazioni di strati e banchi di breccie grossolane. Spesso i litotipi dolomitici risultano fortemente tettonizzati con conseguente formazione di un'ampia fascia cataclastica, modellata dagli agenti atmosferici in morfologie pseudocalanchive. Nel suo complesso l'ambiente di

sedimentazione è indicativo di una piattaforma carbonatica peritidale (*Paleopiattaforma*). Lo spessore massimo d'affioramento è di circa 600 m.

I conoidi alluvionali si possono osservare nella zona di Arischia, in presenza di un'importante fascia cataclastica a spese proprio del Calcarea Massiccio e di depositi detritici più antichi dissecati dal reticolo di drenaggio (Monte Stabiata, Assergi - Valico delle Capannelle, Valle del Chiarino, Valle del Lago, versanti settentrionali del Monte Brancastello).

L'area di studio è caratterizzata, inoltre, da un complesso sistema di faglie *en-echelon* che caratterizza tutta l'alta valle del fiume Aterno.

Le faglie di nostro interesse sono faglie dirette che hanno direzione NO-SE, in linea con l'andamento generale del più vasto sistema di faglie cui appartengono, ed hanno attività presumibilmente tardo-quadernaria.

Tracce evidenti della presenza di questo sistema di faglie nella zona sono le scarpate di faglia in corrispondenza del contatto tra la formazione del Calcarea massiccio ed i depositi quadernari.

Nell'area è, inoltre, osservabile una vasta fascia cataclastica impostata nella formazione del Calcarea Massiccio dolomitizzato in "gouge" incoerente che genera le tipiche morfologie pseudo-calanchive presenti nella zona.

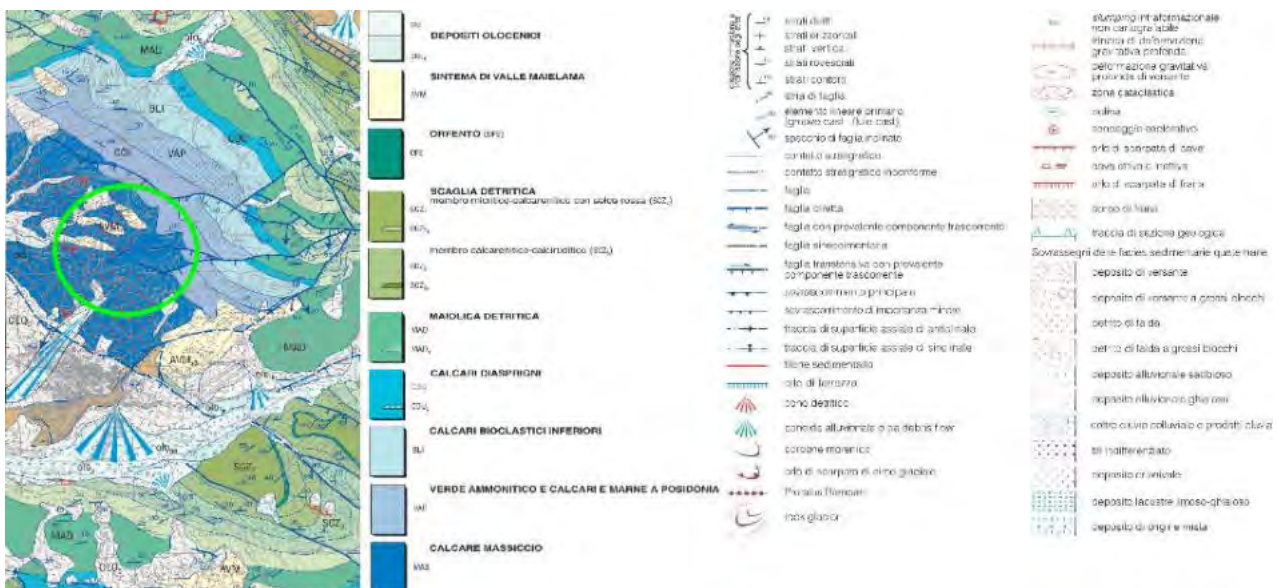


Figura 3 - Stralcio del Foglio C.A.R.G. 349 - Gran Sasso d'Italia (in verde l'area di studio).

3. ANALISI DEL BACINO IDROGRAFICO

Il bacino idrografico di pertinenza dell'area di studio si presenta con una superficie totale di 7,869 Km².

Per fornire un quadro chiaro ed esaustivo delle caratteristiche dell'area oggetto di studio, si è deciso di effettuare l'analisi su tutto il bacino di pertinenza, il quale si estende dal punto topograficamente più in alto fino all'abitato di Arischia, dove è localizzata la naturale sezione di chiusura.

Lo spartiacque, il reticolo idrografico e le relative giunzioni (Fig. 4c), sono stati individuati a mezzo di uno specifico strumento di *processing* integrato in Qgis denominato *Channel network and drainage basins*.

Tale strumento, analizzando il DEM (*Digital Elevation Model*), restituisce i segmenti fluviali, le giunzioni e la perimetrazione dei bacini idrografici partendo dall'individuazione degli spartiacque presenti nel DEM stesso.

Una volta estratti questi dati, è stato quindi individuato e selezionato solamente il bacino di pertinenza dei fenomeni indagati, le rispettive aste fluviali e le giunzioni. Il reticolo idrografico estratto è caratterizzato da una bassa gerarchizzazione; infatti, il massimo livello di gerarchia nella zona sommitale risulta essere pari a 2, per poi passare a 3 più a valle. Tale fattore è evidenziato ancora di più dal basso numero di giunzioni presenti. Il *pattern* rappresentativo è di tipo parallelo, ed indica un forte controllo strutturale ad opera dell'ampio sistema di faglie che interessa la zona. La massima quota del bacino si attesta a 1590,57 m s.l.m., la minima, invece, è a 69,10 m s.l.m.; pertanto la quota media è di 993,54 m s.l.m. Per quel che riguarda l'acclività, la minima risulta corrispondente a circa 5°, mentre la massima, talvolta, si attesta su valori anche maggiori di 70° nelle porzioni più acclivi dove il paesaggio "alpino" è dominante.

Il bacino, in linea generale, presenta una pendenza media del 26%, come si può notare anche dalla relativa Carta dell'acclività (Fig. 4a). L'analisi di bacino è stata effettuata servendosi di alcune estensioni dedicate all'analisi geomorfologica del *software* Adb-toolbox; nello specifico è stato ritagliato il DEM lungo lo spartiacque del bacino in esame utilizzando il *layer* ottenuto dall'analisi di bacino precedentemente effettuata. Poiché il *software* elabora solo *file* di tipo .flt, è stato innanzitutto necessario convertire in tale formato il DEM.asc disponibile.

Prima di procedere all'analisi geomorfologica in senso stretto dello stesso, il DEM.flt ottenuto è stato processato con uno strumento di analisi *raster* di Adb-toolbox che elimina eventuali vuoti o dati nulli presenti nel DEM, che potrebbero influenzare l'analisi. Ottenuto il DEM.flt corretto è stato avviato il *tool* di analisi geomorfologica di Adb-toolbox, il quale restituisce per il modello digitale di terreno inserito in *input* la Carta delle pendenze di bacino, quella dell'area drenata e delle direzioni di deflusso, ognuna delle carte ottenute è stata processata con il *software* QGis ed è di seguito analizzata. L'area interessata dai fenomeni erosionali e gravitativi rispecchia le caratteristiche generali del bacino di pertinenza in termini di topografia ed inclinazione. Per ciò che concerne il drenaggio del bacino, si osserva che le vie preferenziali di deflusso, rappresentate dalle aste fluviali, trovano recapito nella sezione di chiusura, posta in corrispondenza del punto topograficamente meno elevato. In particolare, la Carta dell'area drenata, ottenuta tramite le metodologie precedentemente espresse (Fig. 5) evidenzia tale andamento, individuando un numero minore di aree di drenaggio in corrispondenza delle quote maggiori (zone bianche) e superfici maggiori nelle aree rappresentanti la zona di recapito ed accumulo del flusso detritico e liquido del bacino in generale (aree blu). Questi caratteri si evidenziano in modo particolare nei pressi della sezione di chiusura e al fondo dei diversi impluvi che compongono il bacino.

La Carta delle principali direzioni di deflusso (Fig. 4d) è stata ottenuta con le stesse metodologie precedentemente utilizzate per la Carta dell'area drenata e per la Carta delle pendenze.

In questo caso le direzioni di deflusso sono state espresse in relazione ai punti cardinali per rendere più immediata la lettura delle orientazioni.

Dalla Carta si evidenzia che la distribuzione è uniforme e concorde sia con l'andamento plano-altimetrico che con quello delle linee di flusso dal reticolo di drenaggio precedentemente individuato.

In particolare, si può osservare come la sezione di chiusura del bacino si presenti orientata verso Est, così come evidenziato dalla Carta dell'area drenata e coincidente con la presenza di un'asta fluviale di ordine 3, nella quale trovano recapito tutti i segmenti individuati.

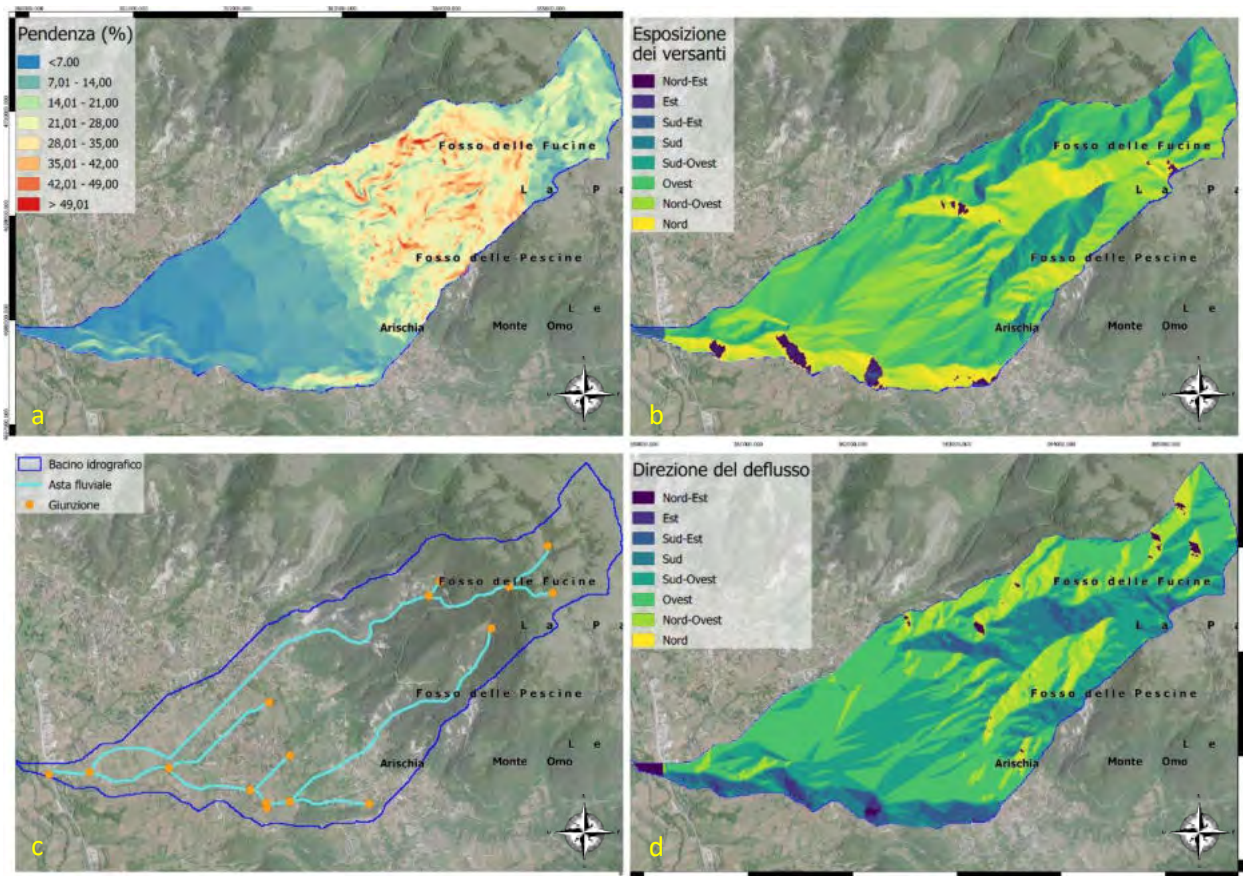


Figura 4 - Carta delle pendenze (a); Carta dell'esposizione dei versanti (b); Carta del reticolo idrografico (c); Carta della direzione del deflusso (d).

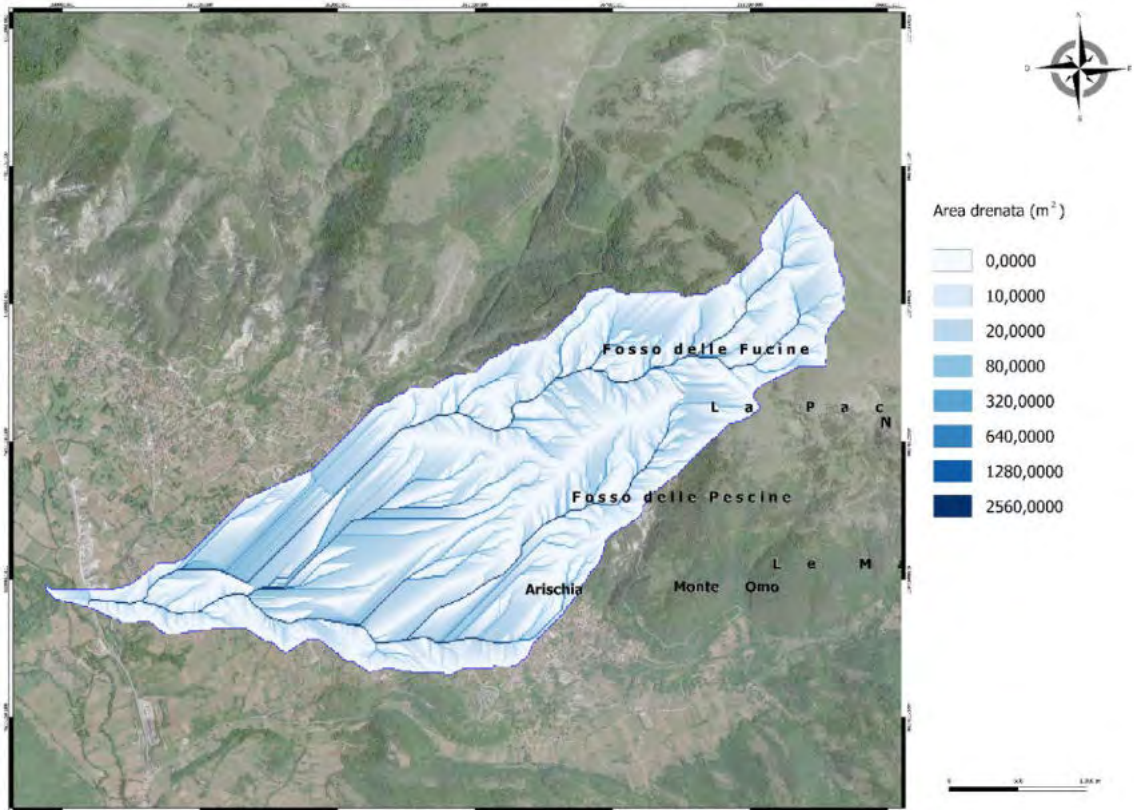


Figura 5 - Carta dell'area drenata

La curva ipsometrica del bacino (Fig. 6) è stata derivata, servendosi del *tool* dedicato presente in Adb-toolbox; qui vengono inseriti come parametri i *file raster* rappresentativi delle quote e dell'area drenata; il *software* restituisce come *output* tabellare le aree rappresentative per le diverse quote, la quota massima e la minima, acclività ed inclinazione dello stesso. I dati di area e quote ottenuti (Tab. 1) sono stati interpolati in un grafico aree-quote che esprime la curva ipsometrica.

Quota (m)	Area (m ²)	Quota (m)	Area (m ²)
691,1	7,49	1170,82	1,85
721,08	7,18	1200,8	1,68
751,06	6,47	1230,78	1,51
781,05	5,77	1260,76	1,36
811,03	5,18	1290,75	1,25
841,01	4,53	1320,73	1,17
870,99	4,06	1350,71	1,1
900,98	3,75	1380,69	1,01
930,96	3,44	1410,68	0,87
960,94	3,19	1440,66	0,65
990,92	2,97	1470,64	0,49
1020,9	2,74	1500,62	0,33
1050,89	2,53	1530,61	0,19
1080,87	2,33	1560,59	0,06
1110,85	2,16	1590,57	0
1140,83	2		

Tabella 1 – Dati derivati dalla curva ipsografica.

Dalla curva ipsometrica (Fig. 6) si può osservare la variazione dell'estensione del bacino al variare dell'altitudine. Quest'ultima si presenta mediamente regolare, evidenziando dislivelli non troppo accentuati nella porzione inferiore della valle e maggiori variazioni di quota nella parte rappresentante l'area di rilevamento.

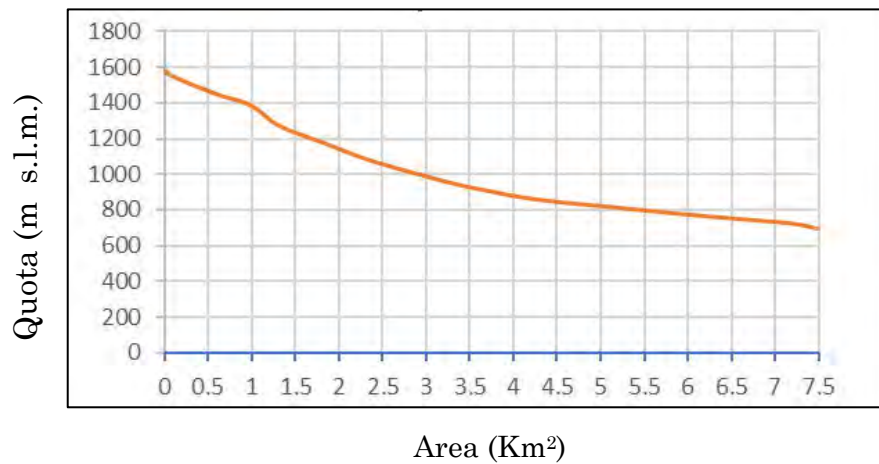


Figura 6 - Curva ipsometrica derivata.

4. CARATTERISTICHE E DINAMICA DELL'INCENDIO BOSCHIVO (LUGLIO-AGOSTO 2020)

L'area interessata dai fenomeni erosivo-gravitativi, insieme ai versanti circostanti, è stata coinvolta tra il 31 luglio ed i primi giorni di agosto del 2020 in un vasto incendio boschivo (Fig. 7).



Figura 7 – Panoramica dei versanti coinvolti nell'incendio boschivo (Giampiero Angelone Photography).

L'incendio ha presumibilmente avuto un impatto rilevante sulla stabilità dei versanti interessati ed è stato, dunque, necessario analizzarne le caratteristiche spaziali e la dinamica dello sviluppo. Sono state realizzate in tal senso carte dell'estensione e della severità dell'incendio che permettono di sintetizzare le suddette informazioni. Per ottenere tale risultato si è proceduto con l'analisi multispettrale di immagini satellitari (Fig. 8).

Nello specifico sono state utilizzate le immagini satellitari provenienti dal Satellite Sentinel-2, una missione di *imaging* multispettrale ad alta risoluzione sviluppata dall'ESA (Agenzia Spaziale Europea) nell'ambito del programma "Copernicus" per monitorare le aree verdi del pianeta. Il sensore multispettrale Sentinel-2 (MSI) campiona 13 bande spettrali: quattro bande a 10 m, sei bande a 20 m e tre bande a 60 m di risoluzione spaziale. Le immagini sono acquisite con l'algoritmo L2A che le divide in riquadri da 100 km in proiezione UTM/WGS84.

I dati acquisiti, la copertura della missione e l'elevata frequenza di rivisitazione consentono la generazione di geoinformazioni su scala locale, regionale, nazionale ed internazionale.



Figura 8 - Prima immagine satellitare Sentinel-2 disponibile (3/08/2020) dall'inizio degli incendi (in basso a destra si può osservare ancora il fumo prodotto dall'incendio).

Uno degli algoritmi noti maggiormente validi allo scopo è il *Normalized Burning Ratio* (NBR), che utilizza le immagini nella parte dello spettro del vicino infrarosso e dell'infrarosso ad onde corte. Infatti, una vegetazione sana ha un'elevata riflettanza nella porzione del vicino infrarosso dello spettro (NIR), mentre offre una bassa riflettanza infrarossa a onde corte (SWIR). D'altra parte, le aree bruciate hanno un'elevata riflettanza nell'infrarosso a onde corte ma una bassa riflettanza nel vicino infrarosso. Per enfatizzare queste differenze si calcola la *Normalized Burning Ratio* (NBR). Questo, come altri indici, per aiutare a visualizzare meglio le caratteristiche che vogliamo evidenziare, utilizza le diverse forme spettrali delle caratteristiche stesse, al fine di elaborare una semplice formula matematica da applicare ai valori digitali dei pixel. La seguente formula è applicata per ogni pixel nell'immagine:

$$\mathbf{NBR} = (\mathbf{NIR} - \mathbf{SWIR})/(\mathbf{NIR} + \mathbf{SWIR}),$$

dove **NIR** sta per valori nel vicino infrarosso (B08) e **SWIR** per valori nell'infrarosso a onde corte (B11).

Tuttavia, con l'obiettivo di definire, oltre all'estensione, anche la severità dell'incendio, risulta maggiormente valido l'algoritmo NBR2, il quale utilizza due diverse bande SWIR dell'infrarosso a onde corte (B11 e B12), non sempre disponibili. In questa specifica applicazione, siamo stati in grado di ottenere le suddette bande SWIR e di utilizzare quindi la seguente formula:

$$\mathbf{NBR2} = (\mathbf{SWIR1} - \mathbf{SWIR2})/(\mathbf{SWIR1} + \mathbf{SWIR2}),$$

dove **SWIR1** sono i valori digitali della banda infrarossa 1 a onde corte (B11) e **SWIR2**, i valori digitali della banda infrarossa2 a onde corte (B12).

La suddetta formula è applicata per ogni pixel nell'immagine e il risultato è riportato in figura 9.

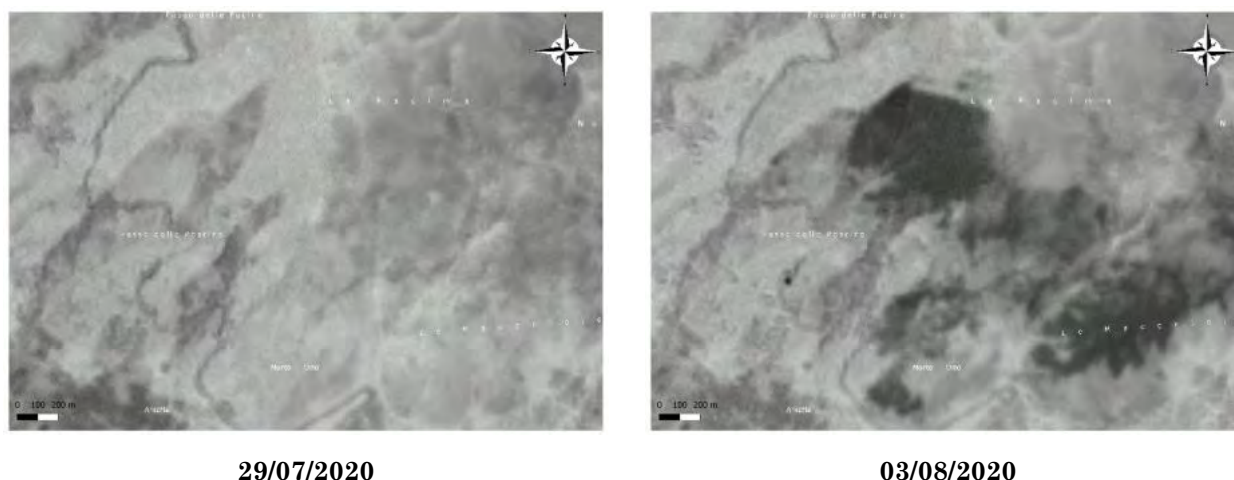


Figura 9 - Immagini satellitari Sentinel-2 del versante pre-(sx) e post-(dx) incendio elaborate attraverso l'algoritmo NBR (a dx, in nero, l'area interessata dagli incendi).

Analizzando la prima immagine documentata dell'incendio (3/08/2020) si nota che le aree bruciate sono visualizzate con un colore più scuro, quasi nero, e risulta più semplice distinguerle dal territorio circostante. Digitalizzando un poligono corrispondente alla "cicatrice" possiamo stimare approssimativamente la dimensione dell'area danneggiata, che, al 3 agosto, risulta estesa per circa 2,66 km².

Per stimare la gravità del danno che l'incendio ha inferto alla vegetazione, sono state calcolate le differenze tra NBR prima ed NBR dopo l'incendio:

$$dNBR = (NBR \text{ pre incendio}) - (NBR \text{ post incendio})$$

Il risultato è stato quindi categorizzato in quattro classi per produrre una mappa della gravità degli incendi (Fig. 10) secondo i criteri proposti da Key e Benson (2006) (Tab. 2).

Livello di Severità	Legenda	Valori dNBR
Non Bruciato		-0,333 to 0,099
Bassa Severità		0,100 to 0,269
Moderata Severità		0,270 to 0,659
Alta Severità		0,660 to 1,300

Tabella 2 - Range di valori digitali per la classificazione della severità dell'incendio (Key & Benson, 2006 – adattamento).

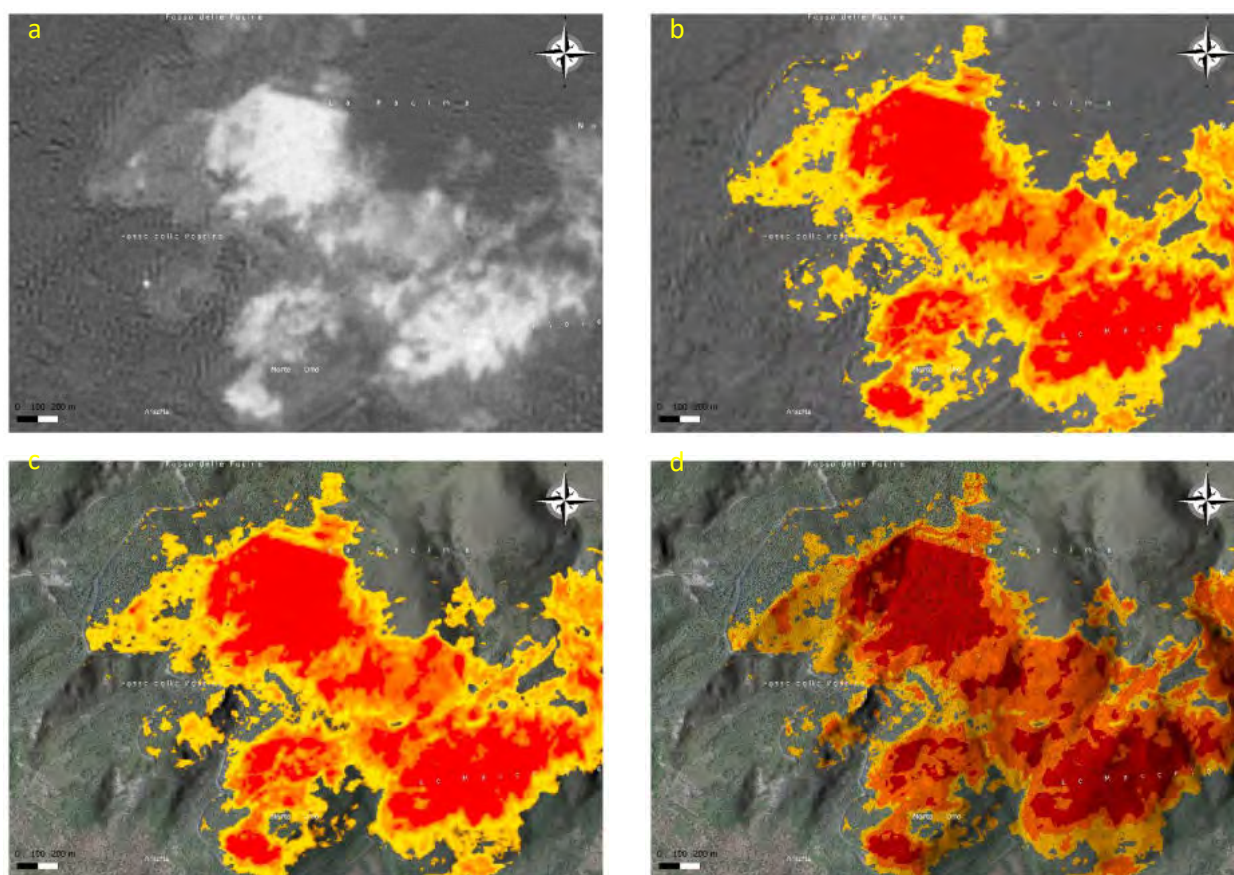


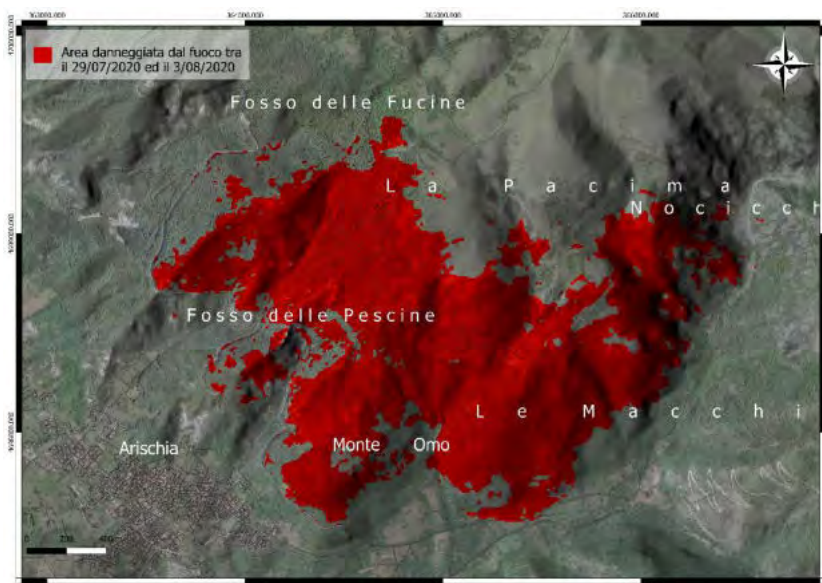
Figura 10 - Fasi di elaborazione cartografica: a) Immagine dNBR ottenuta; b) applicazione del range di valori per la severità dell'incendio (Key & Benson, 2006 adattato); c) il risultato ottenuto sovrapposto a base satellitare Google; d) raster finale vettorializzato.

Lo stesso procedimento è stato applicato alle immagini satellitari Sentinel-2 di date successive fino alla metà del mese di settembre 2020 (Tab. 3), in modo da evidenziare l'evoluzione areale della cicatrice dell'incendio col passare dei giorni.

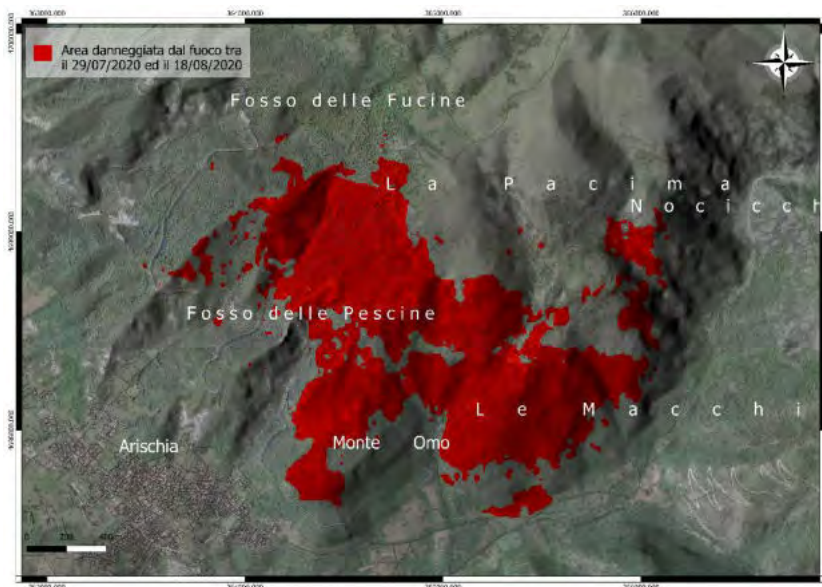
Immagine	Sensore	Data acquisizione	Tipo immagine	Banda spettrale	Risoluzione	Fonte
Sentinel-2 L2A	MSI	29/07/2020	GeoTIFF	B11, B12	733 x 341	www.sentinel-hub.com/
Sentinel-2 L2A	MSI	03/08/2020	GeoTIFF	B11, B12	733 x 341	www.sentinel-hub.com/
Sentinel-2 L2A	MSI	18/08/2020	GeoTIFF	B11, B12	733 x 341	www.sentinel-hub.com/
Sentinel-2 L2A	MSI	17/09/2020	GeoTIFF	B11, B12	733 x 341	www.sentinel-hub.com/

Tabella 3 – Database delle immagini satellitari utilizzate per l'analisi delle aree incendiate.

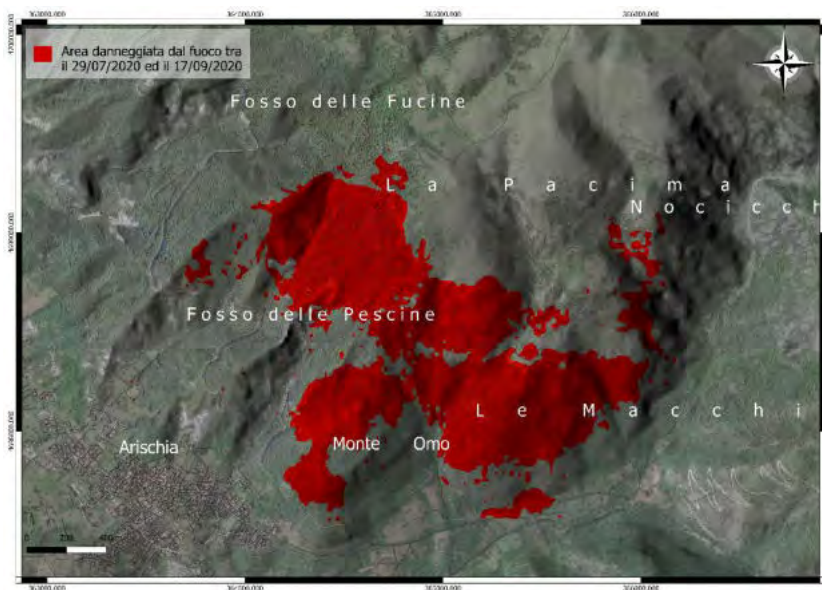
Dal confronto tra i risultati delle varie date, escludendo le aree non percorse da fuoco ($dNBR < -0,333$), il momento di massima intensità ed estensione dell'incendio boschivo ricade tra il 29 luglio ed il 3 agosto. Infatti, dalle acquisizioni successive la cicatrice dell'incendio sul versante assume col passare dei giorni un'estensione via via minore (Fig. 11) fino a ridursi considerevolmente. Ciò potrebbe significare che, una volta estintosi l'incendio dopo alcuni giorni, la copertura vegetale nelle suddette aree a bassa severità non abbia riportato danni significativi.



a) *dNBR tra il 29/07/2020 ed il 3/08/2020*



b) *dNBR tra il 29/07/2020 ed il 18/08/2020*



c) *dNBR tra il 29/07/2020 ed il 17/09/2020*

Figura 11 - Evoluzione spaziale della “cicatrice” corrispondente alle aree percorse da fuoco che ha interessato il versante oggetto dello studio e quelli limitrofi.

5. CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:10000)

La Carta geologica è stata digitalizzata partendo dal Foglio 349 - Gran Sasso d'Italia della Carta geologica d'Italia (Progetto C.A.R.G. - 1:50000), nel quale ricade l'area oggetto di studio.

Il suddetto Foglio è stato georeferenziato tramite l'utilizzo di punti a coordinate note, ricavati dal reticolo della Carta stessa; successivamente sono stati digitalizzati i limiti in Qgis al fine di avere una Carta geologica digitale ed interrogabile (Fig. 12).

Nell'area interessata dai fenomeni in analisi sono state individuate le seguenti formazioni dal basso verso l'alto:

- **Maiolica detritica (MAD):** Formata da calcari micritici bianco-avorio e grigio-chiaro a frattura concoide, in strati medio-sottili, con selce nera, bianca, beige, violetta in straterelli, lenti e noduli, e con intercalazioni di strati e banchi calcarenitici e biocalcarenitici biancastri.

Età: TITONICO superiore – BARREMIANO

- **Calcere massiccio (MAS):** Formato da prevalenti calcari bianchi-nocciola fango sostenuti in strati decimetrici e banchi metrici i cui spessori arrivano anche a 5 m,

organizzati in una tipica successione ciclotemica con strati basali parzialmente dolomitizzati, talvolta intercalati con breccie.

La sequenza ciclotemica è prevalentemente costituita da *grainstone e packstone*, raramente *wackestone*, ad ooliti, oncoliti, bioclasti, intraclasti, peloidi, livelli a pisoliti vadose con strutture riferibili a *birdseyes e fenestrae*.

Nello specifico degli affioramenti di tale materiale nella zona di interesse si osserva che questi risultano cataclasizzati così come riportato anche sul Foglio CARG di pertinenza.

Gli spessori in alcune porzioni possono raggiungere anche i 600m.

Età HETTANGIANO-SINEMURIANO inferiore

- **Depositi olocenici (olo):** Tali depositi, nell'area in esame, risultano mantellati da corpi di frana con spessori variabili.

Questi depositi sono rappresentati principalmente da depositi di versante che caratterizzano estese falde detritiche tipiche delle fasce pedemontane osservabili nella zona.

Localmente tali depositi sono stratificati e in genere costituiti da clasti eterometrici che raggiungono anche le dimensioni di blocchi; in tali depositi la matrice è siltoso-sabbiosa e la cementazione scarsa.

Tali depositi in altre zone si articolano anche in depositi da terrazzamento e di origine alluvionale, tali depositi sono spesso ascrivibili a deposizione successiva ad eventi di *debris-flow*.

Età: OLOCENE

L'area di studio è caratterizzata, inoltre, da un complesso sistema di faglie *en-echelon* che caratterizza tutta l'alta valle del fiume Aterno.

Le faglie d'interesse sono faglie dirette che hanno direzione NO-SE, in linea con l'andamento generale del più vasto sistema di faglie cui appartengono, ed hanno attività presumibilmente tardo-quadernaria.

Tracce evidenti della presenza di questo sistema di faglie nella zona sono le scarpate di faglia in corrispondenza del contatto tra la formazione dei Calcari massiccio ed i depositi quadernari.

Si segnala però che il Foglio 349 – Gran Sasso d'Italia non copre totalmente il bacino di nostro interesse per cui si è reso necessario integrarne una piccola porzione occidentale adattando il Foglio 139 – L'Aquila della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, opportunamente georeferenziato e digitalizzato.

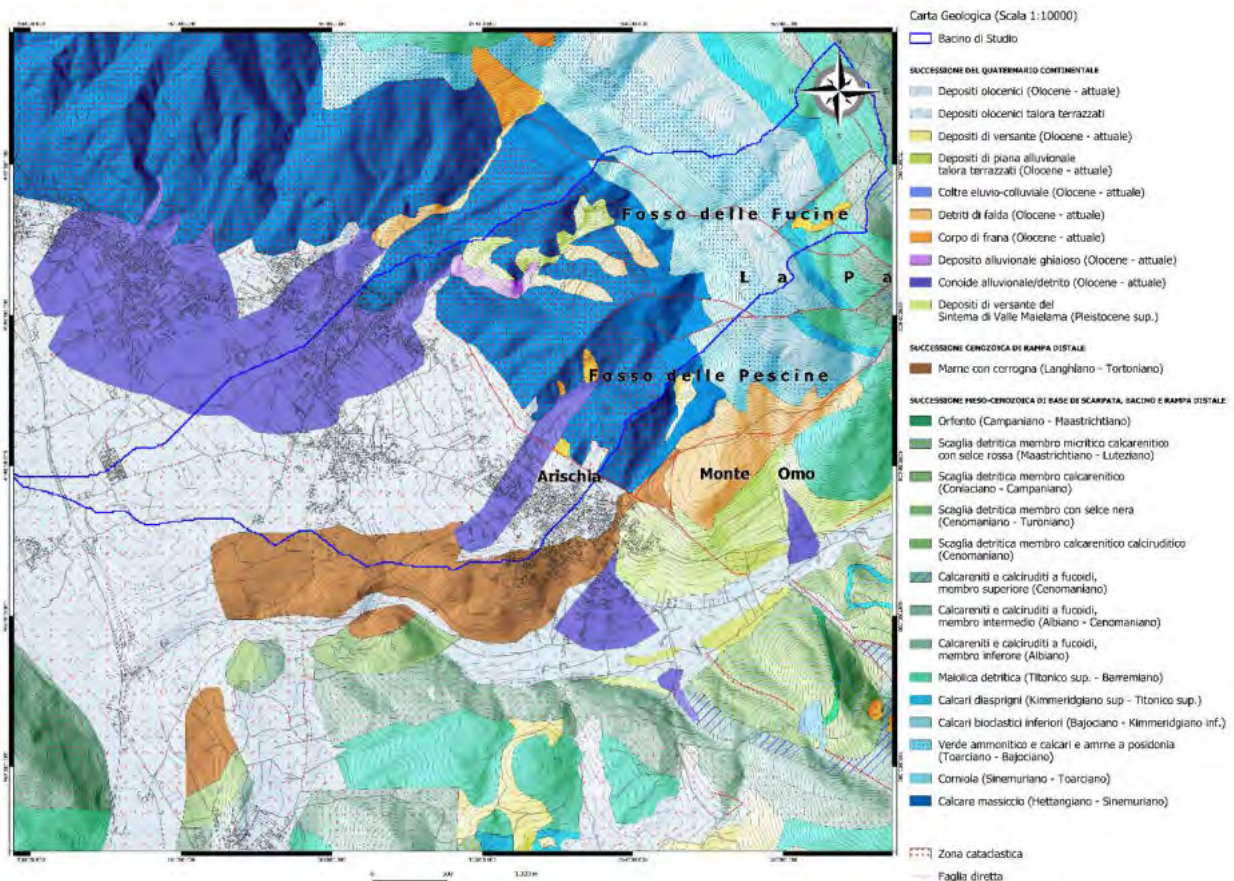


Figura 12 - Carta geologica digitalizzata in ambiente GIS.

6. CARTA GEOMORFOLOGICA (SCALA 1:10000)

Incrociando i risultati delle elaborazioni con i *layer* geomorfologici già prodotti dalle Autorità di Bacino dell'Abruzzo ed Interregionale del Fiume Sangro e con le evidenze riscontrate durante l'attività di campo, si è potuta elaborare una Carta geomorfologica del bacino di studio.

L'area coinvolta nei fenomeni erosionali e gravitativi è stata perimetrata inoltre attraverso rilevamento di campo, fotointerpretazione delle immagini satellitari disponibili ed analisi topografica.

Di seguito (Fig. 13) è riportato uno stralcio di dettaglio della Carta prodotta.

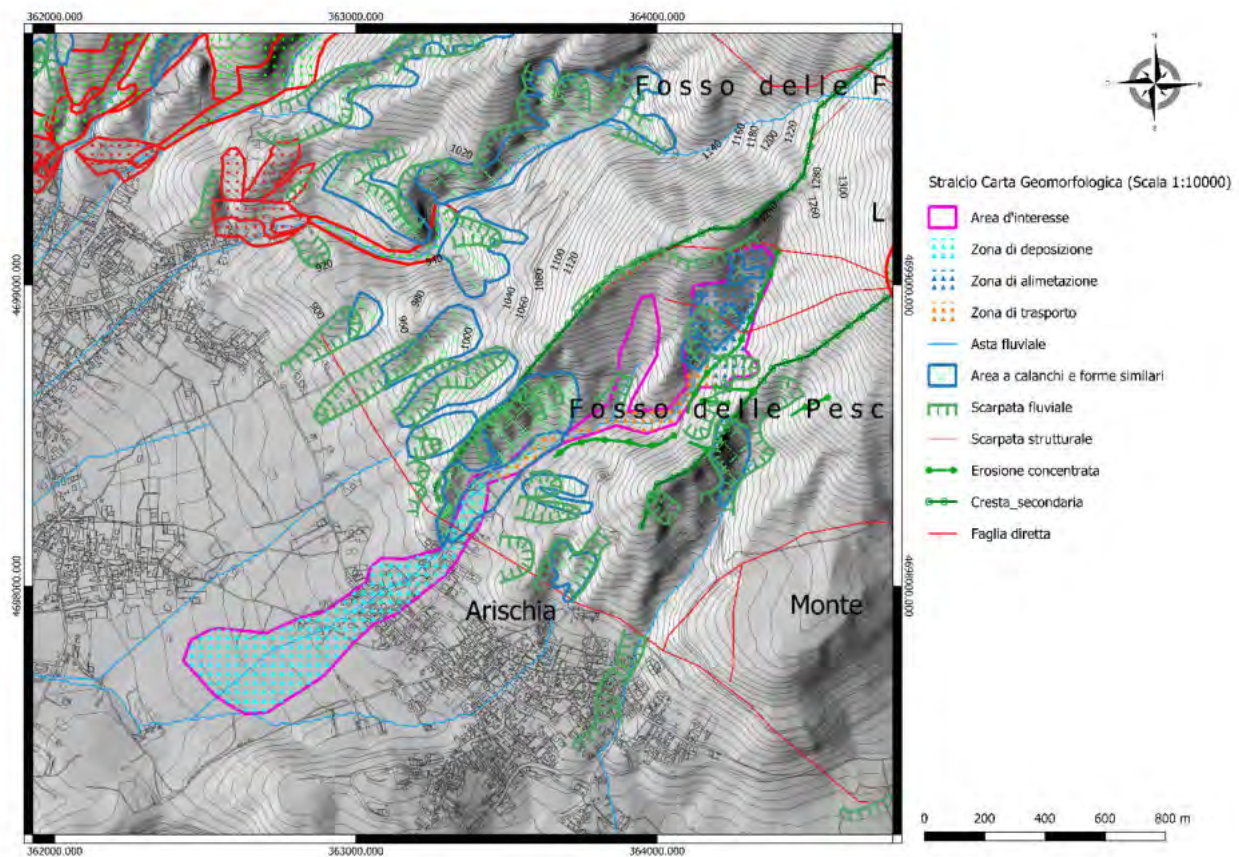


Figura 13 - Carta Geomorfologica del bacino di studio (stralcio).

7. PROVE IN SITU ED ANALISI DI LABORATORIO

Lo studio ha previsto una fase di rilevamento di campo, eseguita in diversi giorni (28-29/10/2021, 30/11/2021, 12-13/01/2022). Durante i rilievi sono stati prelevati 18 campioni di materiale di copertura (Figg. 14 e 15), per essere analizzati in laboratorio (analisi fisiche e granulometriche) con lo scopo di caratterizzare i materiali di copertura e derivare la rispettiva curva granulometrica ed il peso specifico. Le analisi sono state eseguite presso il laboratorio di geotecnica del Dipartimento di Scienze della Terra, dell'Ambiente e delle Risorse (DiSTAR) dell'Università degli Studi di Napoli Federico II.

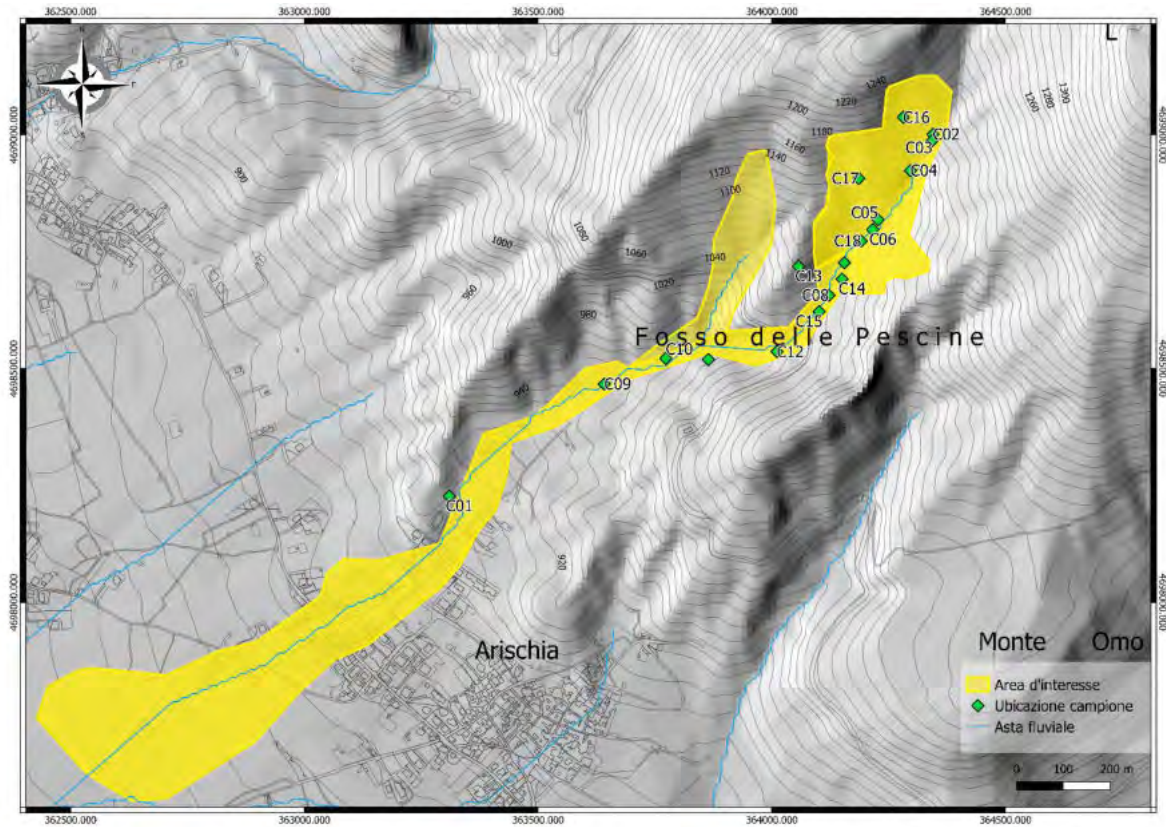


Figura 14 - Ubicazione dei campionamenti su base topografica.

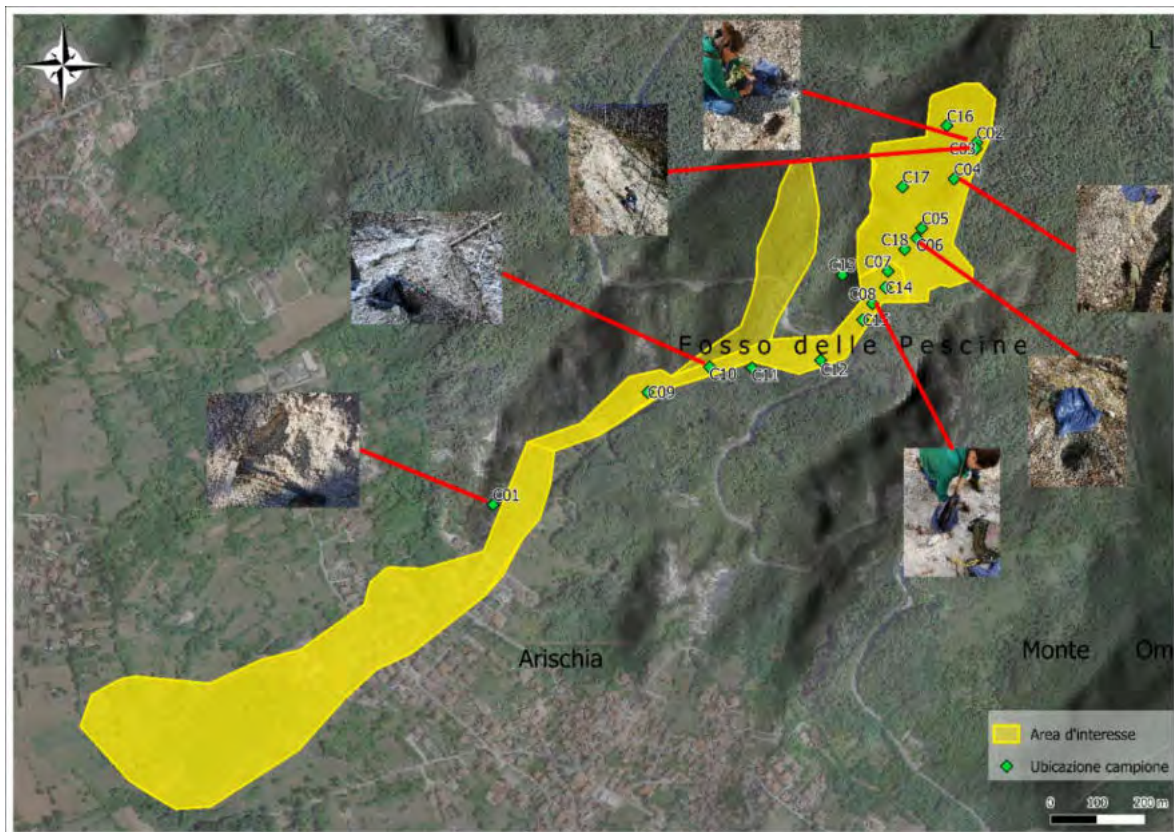


Figura 15 - Ubicazione dei campionamenti eseguiti durante le missioni di rilevamento ed annesso report fotografico.

Per quel che concerne la classificazione granulometrica i campioni sono stati analizzati mediante setacciatura a secco (ASTM D 421).

In una prima fase i campioni sono stati estratti e posti ad essiccare ad una temperatura di 60° (Fig. 16).



Figura 16 – Campioni in essiccazione.

Ad essiccazione completa è stato determinato il peso secco del campione; in alcuni casi il materiale era in quantità eccessive da analizzare ed è stata quindi eseguita una quartatura dello stesso, avendo cura di prelevare parti del campione da differenti punti del contenitore, al fine di ottenere un campione quanto più rappresentativo possibile. Successivamente lo stesso è stato inserito nella pila di setacci, opportunamente ordinati con diametro decrescente da 16 a 0.075 mm (Fig. 17).



Figura 17 – Materiale di un campione trattenuto dai diversi setacci.

Il campione, posto in cima alla pila di setacci, è stato vagliato servendosi dell'agitatore meccanico, al fine di separare meccanicamente le sue differenti componenti (Fig. 18). Tale processo ha avuto una durata di circa 15/20 minuti.



Figura 18 – Materiale suddiviso per passanti alla fine del processo di separazione meccanica.

Al termine di questa operazione è stato determinato e normalizzato in percentuale il peso di materiale passante in ciascun setaccio allo scopo di ottenere delle curve granulometriche tramite l'utilizzo di un Foglio di calcolo Excel specificamente predisposto (Tab. 4).

	Peso totale	A	g
Setacciatura	Peso tratt.	Diametro	Passante
	g	mm	%
	B	16	$((A-B)/A)*100$
	C	8	$((B-C)/A)*100$
	D	4	$((C-D)/A)*100$
	E	2	$((D-E)/A)*100$
	F	0,850	$((E-F)/A)*100$
	G	0,425	$((F-G)/A)*100$
	H	0,250	$((G-H)/A)*100$
	I	0,106	$((H-I)/A)*100$
J	0,075	$((I-J)/A)*100$	

Tabella 4 – Foglio di calcolo utilizzato.

Dalle analisi eseguite è emerso che il passante al setaccio n. 200 (0.075 mm) non è mai maggiore del 10%, ma si attesta tra il 3% e l'8%, risultando non sufficiente a caratterizzare la parte fine tramite l'analisi per sedimentazione (Fig. 19).

Peso totale	2605,00	g	Peso totale	4222,30	g	Peso totale	1993,20	g	Peso totale	2047,20	g
Peso tratt.	Diametro	Passante	Peso tratt.	Diametro	Passante	Peso tratt.	Diametro	Passante	Peso tratt.	Diametro	Passante
g	mm	%	g	mm	%	g	mm	%	g	mm	%
49,10	16	98,12	946,00	16	77,60	72,30	16	96,37	533,00	16	73,96
128,90	8	93,17	1396,60	8	44,52	196,50	8	86,51	494,30	8	49,82
363,50	4	79,21	708,40	4	27,74	546,10	4	59,12	326,60	4	33,87
560,70	2	57,69	352,90	2	19,38	436,40	2	37,22	194,50	2	24,36
603,50	0,850	34,52	248,00	0,850	13,51	263,50	0,850	24,00	111,50	0,850	18,92
302,20	0,425	22,92	134,00	0,425	10,34	116,60	0,425	18,15	51,30	0,425	16,41
136,60	0,250	17,68	100,50	0,250	7,96	79,60	0,250	14,16	53,50	0,250	13,80
175,10	0,106	10,96	158,50	0,106	4,20	128,00	0,106	7,74	126,50	0,106	7,62
72,20	0,075	8,18	56,60	0,075	2,86	39,80	0,075	5,74	46,70	0,075	5,34
Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI		
Sabbia con ghiaia			Ghiaia sabbiosa/o			Ghiaia con sabbia			Ghiaia sabbiosa/o		
C01			C02			C03			C04		

Peso totale 3854,30 g			Peso totale 3667,70 g			Peso totale 2011,90 g			Peso totale 2281,00 g		
Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %
1069,50	16	72,25	831,10	16	77,34	105,80	16	94,74	67,50	16	97,04
1037,70	8	45,33	937,30	8	51,78	193,30	8	85,13	107,60	8	92,32
863,20	4	22,93	529,00	4	37,36	385,80	4	65,96	171,10	4	84,82
428,00	2	11,83	363,20	2	27,46	527,10	2	39,76	475,20	2	63,99
170,20	0,850	7,41	285,60	0,850	19,67	421,30	0,850	18,82	692,70	0,850	33,62
50,00	0,425	6,12	152,50	0,425	15,51	145,70	0,425	11,58	326,20	0,425	19,32
35,70	0,250	5,19	120,40	0,250	12,23	66,50	0,250	8,27	185,00	0,250	11,21
80,60	0,106	3,10	233,40	0,106	5,87	87,90	0,106	3,90	191,80	0,106	2,80
31,30	0,075	2,29	68,80	0,075	3,99	22,70	0,075	2,77	28,40	0,075	1,56
Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI		
Ghiaia sabbiosa/o			Ghiaia con sabbia			Ghiaia con sabbia			Sabbia con ghiaia		

C05

C06

C07

C08

Peso totale 1594,00 g			Peso totale 1828,70 g			Peso totale 1865,70 g			Peso totale 1880,50 g		
Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %
19,40	16	98,78	0,00	16	100,00	0,00	16	100,00	9,00	16	99,52
182,30	8	87,35	51,60	8	97,18	37,70	8	97,98	196,30	8	89,08
459,60	4	58,51	197,50	4	86,38	198,20	4	87,36	477,80	4	63,67
479,10	2	28,46	398,40	2	64,59	620,20	2	54,08	504,30	2	36,86
215,40	0,850	14,94	574,50	0,850	33,18	565,50	0,850	23,77	348,40	0,850	18,33
42,20	0,425	12,30	223,70	0,425	20,94	199,30	0,425	13,09	122,30	0,425	11,83
25,10	0,250	10,72	135,50	0,250	13,53	93,00	0,250	8,10	71,20	0,250	8,04
71,90	0,106	6,21	178,30	0,106	3,78	97,40	0,106	2,88	82,00	0,106	3,68
32,50	0,075	4,17	28,90	0,075	2,20	19,10	0,075	1,86	23,60	0,075	2,42
Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI		
Ghiaia con sabbia			Sabbia con ghiaia			Sabbia con ghiaia			Ghiaia con sabbia		

C09

C10

C11

C12

Peso totale 1601,70 g			Peso totale 1673,10 g			Peso totale 1558,20 g			Peso totale 1965,00 g		
Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %
204,70	16	87,22	200,80	16	88,00	168,50	16	89,19	9,70	16	99,51
227,50	8	73,02	196,40	8	76,26	240,50	8	73,75	118,70	8	93,47
230,90	4	58,60	290,40	4	58,90	362,30	4	50,50	347,60	4	75,78
247,10	2	43,17	201,70	2	46,85	290,70	2	31,84	427,40	2	54,03
202,40	0,850	30,54	234,30	0,850	32,84	190,20	0,850	19,64	391,00	0,850	34,13
113,00	0,425	23,48	115,00	0,425	25,97	80,20	0,425	14,49	172,30	0,425	25,36
89,70	0,250	17,88	85,10	0,250	20,88	58,60	0,250	10,73	96,40	0,250	20,45
157,80	0,106	8,03	115,50	0,106	13,98	93,20	0,106	4,75	176,30	0,106	11,48
40,10	0,075	5,53	40,20	0,075	11,58	25,00	0,075	3,14	68,00	0,075	8,02
Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI			Classificazione AGI		
Ghiaia con sabbia			Ghiaia con sabbia			Ghiaia con sabbia			Sabbia con ghiaia		

C13

C14

C15

C16

Peso totale 1354,50 g			Peso totale 1666,10 g		
Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %	Peso tratt. g	Diametro mm	Passante %
452,10	16	66,62	188,30	16	88,70
157,90	8	54,96	366,80	8	66,68
147,00	4	44,11	397,10	4	42,85
136,50	2	34,03	224,00	2	29,40
118,40	0,850	25,29	109,40	0,850	22,84
74,50	0,425	19,79	54,60	0,425	19,56
59,40	0,250	15,41	49,10	0,250	16,61
105,60	0,106	7,61	109,00	0,106	10,07
30,20	0,075	5,38	43,30	0,075	7,47
Classificazione AGI			Classificazione AGI		
Ghiaia con sabbia			Ghiaia con sabbia		

C17

C18

Figura 19 – Valori del passante ai setacci e classificazione dei campioni analizzati.

I materiali analizzati sono stati classificati mediante il criterio AGI 1977.

Questa classificazione prevede la definizione di una serie di classi granulometriche basate sulla normalizzazione percentuale del quantitativo di materiale passante ai setacci con diametro decrescente; in particolare, per assegnare la nomenclatura al campione, si è fatto riferimento al seguente schema:

- Primo nome: è dato dalla frazione granulometrica con percentuale maggiore (es: ghiaia)
- Secondo nome: è dato dalla seconda frazione prevalente in ordine di percentuale con valori tra il 50 % e il 25%, si usa CON per unire i due nomi (es: ghiaia con limo);
- Terzo nome: è dato dalla percentuale in peso della frazione successiva compresa tra il 25% e il 10%, si usa il suffisso OSO (es: ghiaia con limo sabbiosa);
- Quarto nome: è dato della frazione successiva se è compresa tra il 10% ed il 5%, si usa il suffisso OSO e DEBOLMENTE (es: ghiaia con limo debolmente limosa).

La maggior parte dei campioni è stata dunque classificata come “ghiaia sabbiosa”, in quanto la frazione predominante si è sempre attestata nel campo delle ghiaie. Per quanto riguarda i contenuti di “sabbia” nelle diverse curve granulometriche questi si

sono attestati tra il 50% ed il 15%. Per tale ragione si è deciso di definire come “ghiaia sabbiosa” il materiale analizzato.

Per quel che riguarda la determinazione del peso specifico, questa è stata ottenuta tramite l'utilizzo del picnometro.

Dopo aver predisposto il materiale del campione per il peso specifico, ne è stata prelevata una parte, la quale è stata pestellata e setacciata in modo da raccoglierne soltanto la frazione passante al setaccio n. 200.

Successivamente parte della frazione passante al setaccio n. 200 è stata inserita in appositi picnometri (due per ogni campione) al fine di ottenere una misurazione media e valutarne la congruenza. Noto il peso dei picnometri vuoti, si è ottenuto così per ogni campione il peso dei picnometri contenenti il materiale e quindi, per differenza, il peso del materiale stesso. Successivamente è stata aggiunta acqua distillata all'interno dei picnometri, ognuno dei quali è stato poi messo sotto pressione per un tempo di circa 30/40 minuti per disarearli completamente. Al termine di questa operazione è stata aggiunta ulteriore acqua distillata ai picnometri, così che avessero lo stesso quantitativo di materiale ed acqua distillata; i picnometri sono poi stati pesati e per ognuno è stata misurata la temperatura del composto così da operare le giuste correzioni in funzione della temperatura. Ottenuto tale valore, ed integrati i dati con valori di taratura dei picnometri stessi è stato possibile calcolare il valore del peso specifico medio eseguito su ciascun campione (Tab. 5 e Tab. 6).

	Picnometro n°	
A	Peso del picnometro	
B	Peso picnometro + campione secco	
C	Peso campione secco	A+B
D	Peso picnometro + acqua (tarato)	
E	Peso picnometro + acqua + campione secco	
F	Peso specifico (gr/cm³)	$\frac{C}{(C + D - E)}$
G	Temperatura (°C)	
H	Coefficiente di Correzione	$-(0,00000448 * G^2) - (0,0000263 * G) + 1,000514$
I	Peso specifico a 20°C (gr/cm³)	F * H

Tabella 5 – Parametri e calcoli utilizzati per la determinazione del peso specifico.

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,79	33,11	
Peso campione secco	4,59	4,18	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,64	86,94	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,85	2,86	2,86
Temperatura (°C)	23,0	23,0	
Coefficiente di Correzione	0,99754	0,99754	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,84	2,86	2,85
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	32,92	32,95	
Peso campione secco	3,72	4,02	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,03	86,78	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,76	2,75	2,75
Temperatura (°C)	22,5	22,0	
Coefficiente di Correzione	0,99765	0,99777	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,75	2,75	2,75
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Tabella 6a-6b - Tabella determinazione peso specifico C01 e C02

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,41	32,89	
Peso campione secco	4,21	3,96	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,38	86,76	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,83	2,79	2,81
Temperatura (°C)	19,5	19,5	
Coefficiente di Correzione	0,99830	0,99830	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,82	2,78	2,80
Congruenza prove eseguite	Congruenza Buona		

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,21	27,72	
Peso campione secco	3,76	4,01	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	80,05	81,91	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,89	2,84	2,87
Temperatura (°C)	19,5	19,5	
Coefficiente di Correzione	0,99830	0,99830	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,89	2,84	2,86
Congruenza prove eseguite	Congruenza Sufficiente		

Tabella 6c-6d - Tabella determinazione peso specifico C03 e C04

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	25,98	27,61	
Peso campione secco	3,53	3,90	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	79,86	81,83	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,80	2,83	2,81
Temperatura (°C)	22,0	22,0	
Coefficiente di Correzione	0,99777	0,99777	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,80	2,82	2,81
Congruenza prove eseguite	Congruenza Alta		

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,51	33,30	
Peso campione secco	4,31	4,37	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,47	87,07	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,87	2,87	2,87
Temperatura (°C)	21,0	23,0	
Coefficiente di Correzione	0,99799	0,99754	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,87	2,87	2,87
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Tabella 6e-6f - Tabella determinazione peso specifico C05 e C06

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,62	28,12	
Peso campione secco	4,17	4,41	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	80,29	82,14	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,84	2,79	2,81
Temperatura (°C)	21,0	21,0	
Coefficiente di Correzione	0,99799	0,99799	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,83	2,79	2,81
Congruenza prove eseguite	Congruenza Sufficiente		

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	25,75	27,41	
Peso campione secco	3,30	3,70	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	79,70	81,68	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,77	2,78	2,78
Temperatura (°C)	23,0	23,0	
Coefficiente di Correzione	0,99754	0,99754	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,77	2,78	2,77
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Tabella 6g-6h - Tabella determinazione peso specifico C07 e C08

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,47	32,91	
Peso campione secco	4,27	3,98	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,43	86,82	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,85	2,88	2,87
Temperatura (°C)	18,0	18,0	
Coefficiente di Correzione	0,99859	0,99859	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,84	2,88	2,86
Congruenza prove eseguite	Congruenza Buona		

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,12	27,68	
Peso campione secco	3,67	3,97	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	79,98	81,89	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,87	2,86	2,86
Temperatura (°C)	18,0	18,0	
Coefficiente di Correzione	0,99859	0,99859	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,86	2,85	2,86
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Tabelle 6i-6j - Tabella determinazione peso specifico C9 e C10

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,79	32,95	
Peso campione secco	4,59	4,02	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,59	86,8	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,77	2,79	2,78
Temperatura (°C)	20,0	20,0	
Coefficiente di Correzione	0,99820	0,99820	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,76	2,79	2,77
Congruenza prove eseguite	Congruenza Buona		

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	25,79	27,57	
Peso campione secco	3,34	3,86	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	79,62	81,65	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,55	2,54	2,54
Temperatura (°C)	20,0	20,0	
Coefficiente di Correzione	0,99820	0,99820	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,55	2,53	2,54
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Tabelle 6k-6l - Tabella determinazione peso specifico C11 e C12

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,44	33,19	
Peso campione secco	4,24	4,26	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,39	86,96	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,81	2,80	2,81
Temperatura (°C)	18,5	18,0	
Coefficiente di Correzione	0,99849	0,99859	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,80	2,80	2,80
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Picnometro n°	1	3	
Peso del picnometro	29,20	28,93	
Peso pic. + campione secco	33,52	33,27	
Peso campione secco	4,32	4,34	
Peso pic. + acqua; tarato	84,66	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	87,41	86,99	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,75	2,76	2,76
Temperatura (°C)	20,0	20,0	
Coefficiente di Correzione	0,99820	0,99820	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,75	2,76	2,75
Congruenza prove eseguite	Congruenza Alta		

Tabelle 6m-6n - Tabella determinazione peso specifico C13 e C14

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,82	28,30	
Peso campione secco	4,37	4,59	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	80,38	82,23	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,77	2,75	2,76
Temperatura (°C)	20,0	20,5	
Coefficiente di Correzione	0,99820	0,99809	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,76	2,74	2,75
Congruenza prove eseguite	Congruenza Alta		

Picnometro n°	3	3	
Peso del picnometro	28,93	28,93	
Peso pic. + campione secco	32,50	33,00	
Peso campione secco	3,57	4,07	
Peso pic. + acqua; tarato	84,22	84,22	
Peso pic. + acqua + camp.secco	86,60	86,9	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	3,00	2,93	2,96
Temperatura (°C)	19,0	18,0	
Coefficiente di Correzione	0,99840	0,99859	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	3,00	2,92	2,96
Congruenza prove eseguite	Congruenza Sufficiente		

Tabelle 6o-6p - Tabella determinazione peso specifico C15 e C16

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,00	28,00	
Peso campione secco	3,55	4,29	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	79,90	82,1	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	2,86	2,86	2,86
Temperatura (°C)	19,0	19,0	
Coefficiente di Correzione	0,99840	0,99840	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	2,86	2,86	2,86
Congruenza prove eseguite	Congruenza Ottima		

Picnometro n°	4	6	
Peso del picnometro	22,45	23,71	
Peso pic. + campione secco	26,00	27,10	
Peso campione secco	3,55	3,39	
Peso pic. + acqua; tarato	77,59	79,31	
Peso pic. + acqua + camp.secco	80,00	81,5	Media
Peso specifico (gr/cm ³)	3,11	2,82	2,97
Temperatura (°C)	19,0	19,0	
Coefficiente di Correzione	0,99840	0,99840	Media
Peso specifico a 20°C (gr/cm ³)	3,11	2,82	2,96
Congruenza prove eseguite	Congruenza Sufficiente		

Tabella 6q-6r - Tabella determinazione peso specifico C17 e C18

Il peso specifico per i diversi campioni si attesta tra 2,75 g/cm³ e 2,96 g/cm³ con un valore medio di 2,81 g/cm³.

Utilizzando poi la tecnica della fiorettatura sono state eseguite 30 misure al fine di ricostruire gli spessori dello strato di copertura (Fig. 20) e che saranno utilizzati nelle successive fasi di lavoro.

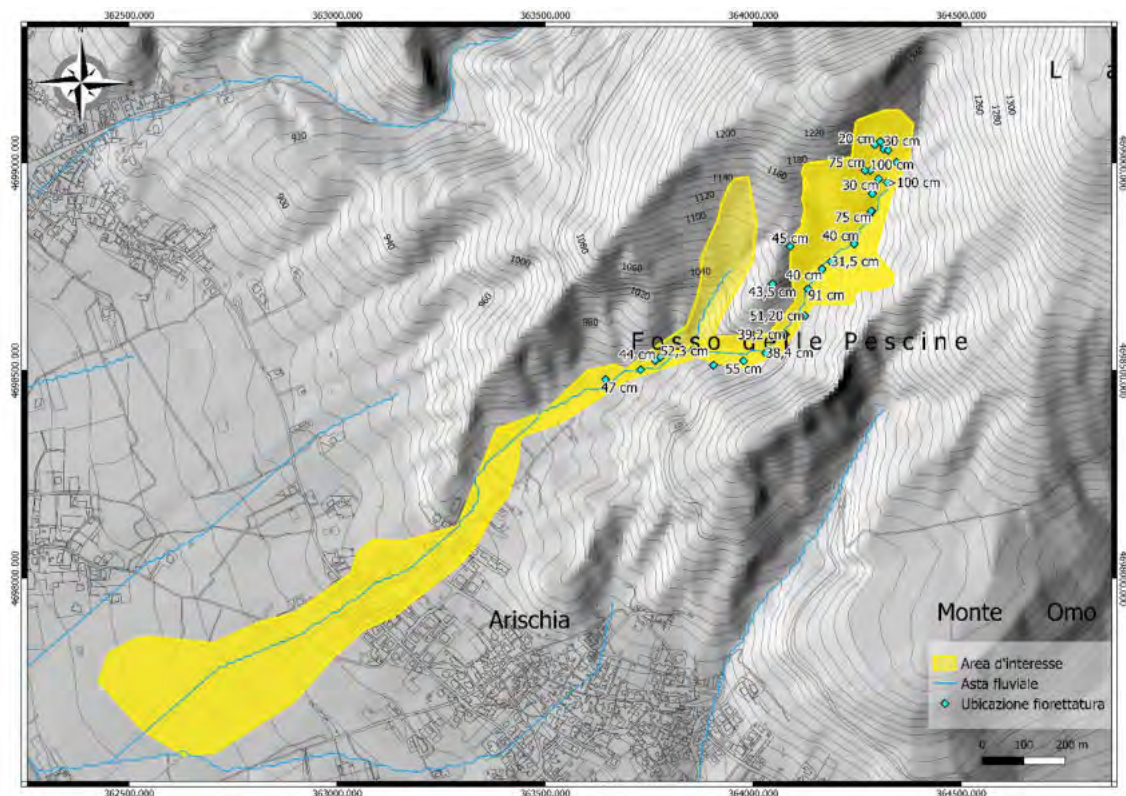


Figura 20 - Ubicazione delle fiorettature eseguite con indicazione degli spessori.

8. ANALISI PLUVIOMETRICA

Per le analisi pluviometriche sono stati utilizzati:

- dati giornalieri (forniti dal Servizio Idrografico e Mareografico della Regione Abruzzo);
- dati storici (massimi orari con distribuzione 1, 3, 6, 12, 24 ore) dagli annali idrologici.

Per entrambi i *set* di dati si è proceduto a realizzare un'analisi statistica al fine di evidenziare eventuali anomalie nelle distribuzioni espresse come *trend* anomali, i quali andrebbero presi in considerazione nel caso in cui i dati storici non fossero rappresentativi o sufficienti a descrivere un quadro statisticamente valido degli scenari.

Nell'analisi dei dati giornalieri sono stati presi in considerazione i dati dal 2006 al 2020; l'anno 2021 non è stato preso in considerazione in quanto i dati disponibili sono incompleti (giugno) essendo l'anno in corso al momento della richiesta; per i massimi storici il *range* di analisi copre l'intervallo 1933-2010 e i dati sono disponibili dagli annali idrologici.

Partendo dalle precipitazioni massime e totali, rispettivamente riportate nelle tabelle 7 e 8, sono state calcolate le medie, le precipitazioni totali cumulate, le precipitazioni totali medie (Figg. 21 e 22).

	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
Gennaio	27	20.4	20.2	10.4	19	8.4	5.3	20.6	16.8	24.1	9.1	17.8	4.8	13	0.5
Febbraio	10.8	13.6	11.6	11.2	17.8	9.4	31.8	16.3	8.4	13.5	21.3	3.3	0.8	9.1	4.3
Marzo	32.4	12	26.4	21.4	17.8	35.1	1.8	18.8	9.9	24.6	10.2	7.6	27.2	3.6	8.6
Aprile	10.8	7	14.6	5.2	17.4	13.7	17.5	12.2	13	8.1	13	8.1	5.6	16	11.9
Maggio	8.6	14.2	35.2	29.6	16.8	6.1	10.2	15.2	16.5	5.3	20.8	20.6	20.8	8.9	12.2
Giugno	6	12.8	20	21.6	7.1	18.8	7.4	18.3	28.7	11.2	9.4	0.3	11.9	2.3	11.2
Luglio	10.8	0	16.4	15.4	11.4	47.5	18.5	15.2	30.2	6.9	15	5.8	16.5	35.1	12.4
Agosto	5.4	2.4	4.4	6	4.3	11.2	2.3	7.1	7.4	15.5	11.9	0	33.5	29.2	290.1
Settembre	15.6	9.2	12	19.8	3	33.5	34.5	16.5	28.7	25.4	14	40.1	24.6	45	270
Ottobre	1.8	8.8	14.2	15.2	13.2	21.8	37.8	35.6	1.8	50.3	20.6	2.3	17.3	3	21.3
Novembre	17.4	10.6	22.4	16.4	55.4	10.7	28.4	28.4	29	20.6	32.3	35.8	22.4	19.8	21.1
Dicembre	5.6	11.4	23.2	17.2	27.9	27.4	10.4	9.9	13	0	0.5	23.6	24.1	29.2	460.2
Media	12.68	10.20	18.38	15.78	17.59	20.30	17.16	17.84	16.95	17.13	14.84	13.78	17.46	17.85	93.65

Tabella 7 - Precipitazioni massime mensili 2006-2020.

	'06	'07	'08	'09	'10	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
Gennaio	32.8	51.8	30	47	93.6	21.6	7.6	60.7	58.4	67.8	42.4	40.4	19.8	32.5	0.8
Febbraio	35.2	34.4	18.2	42.2	98.4	19.3	57.1	55.4	38.6	56.1	88.1	12.7	1.3	17.5	16.3
Marzo	57	36.8	121	65	45.4	79	3.6	109.5	32.8	96.5	33	18	48.8	6.6	29.5
Aprile	31.4	21.4	44	5.6	65.4	25.1	49.3	30.2	74.9	22.4	44.2	37.8	14.5	54.4	23.4
Maggio	11.6	61.4	57.6	42.6	90.8	19.6	39.4	81.3	59.2	14.2	91.2	64.8	105.2	51.1	36.8
Giugno	16.6	19.4	62.6	68	26.7	64.3	27	56.1	119.9	24.4	39.9	0.5	29.7	4.6	30.7
Luglio	36.2	0	46.2	25.8	19.6	83.2	46.5	42.7	88.9	15.2	46.7	14.2	27.2	93.7	14.7
Agosto	17.7	2.4	8.6	12.6	12.7	13.4	5.3	30.2	7.9	37.1	17	0	79.2	49	369.3
Settembre	53.6	24.2	34.6	59.2	9.7	42.1	71.1	39.1	86.6	60.2	27.4	84.1	57.4	73.2	336.5
Ottobre	2	25.8	54	51.2	36.1	45.2	89.2	58.4	6.9	113.3	72.9	3.6	46.5	7.4	100.1
Novembre	37.4	28	101.8	67	237.7	14.2	84.6	123.2	79.8	30	54.4	78	74.4	97	32.8
Dicembre	10.6	36.6	113.4	104.6	80.3	68.6	53.6	20.6	44.7	0	0.5	100.3	58.9	79	844.7
Media	32.8	51.8	30	47	93.6	21.6	7.6	60.7	58.4	67.8	42.4	40.4	19.8	32.5	0.8

Tabella 8 - Precipitazioni massime mensili 2006-2020.

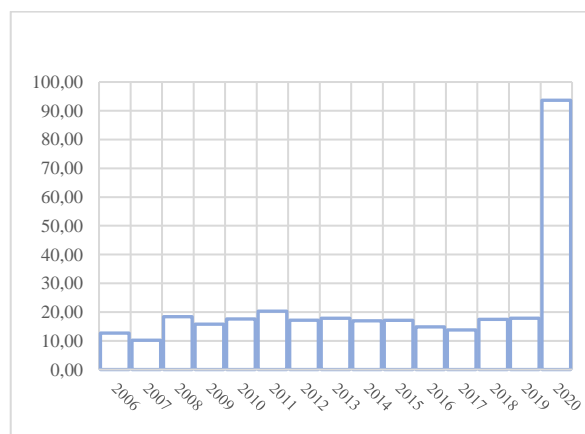
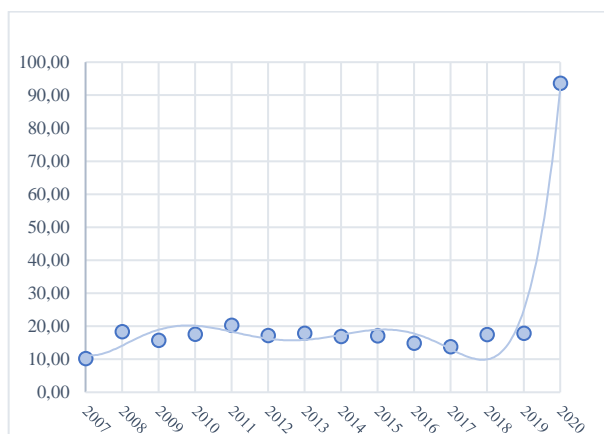


Figura 21 - Precipitazioni medie mensili (sx) e medie massime (dx)

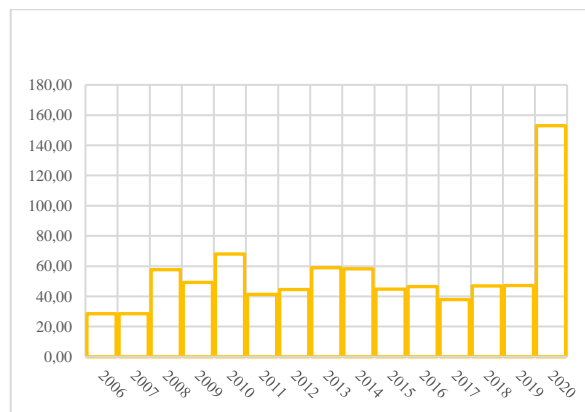
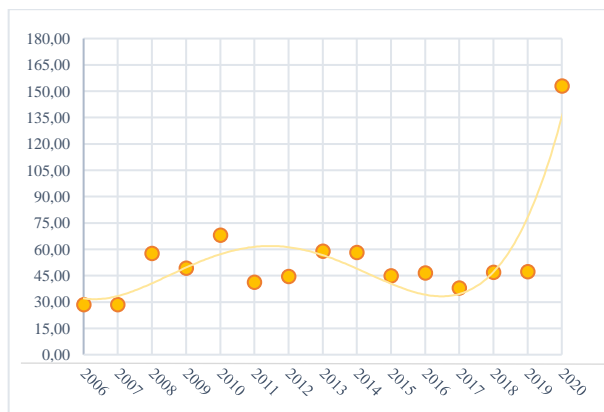


Figura 22 - Precipitazioni medie totali (sx) e media precipitazioni totali mensili (dx)

Per quel che riguarda le precipitazioni medie massime mensili e totali, i *trend* si mostrano uniformi e stabili per il periodo 2007-2019; l'anno 2020 mostra, invece, un andamento decisamente fuori media rispetto agli anni precedenti.

L'andamento anomalo registrato per l'anno 2020 si evidenzia nettamente anche dall'analisi delle precipitazioni totali annuali (Fig. 23) dove è possibile osservare una serie di valori con un'oscillazione di 474,4 mm tra il minimo registrato per l'anno 2007 (342 mm) e il massimo per l'anno 2010 (816,4 mm); il 2020 invece si attesta ampiamente fuori range con valori registrati di precipitazioni totali cumulate di 1835,6 mm: tale dato porta ampiamente fuori dall'oscillazione osservata i dati inerenti a questo anno a conferma del *trend* fuori media (Figg. 24, 25 e 26).

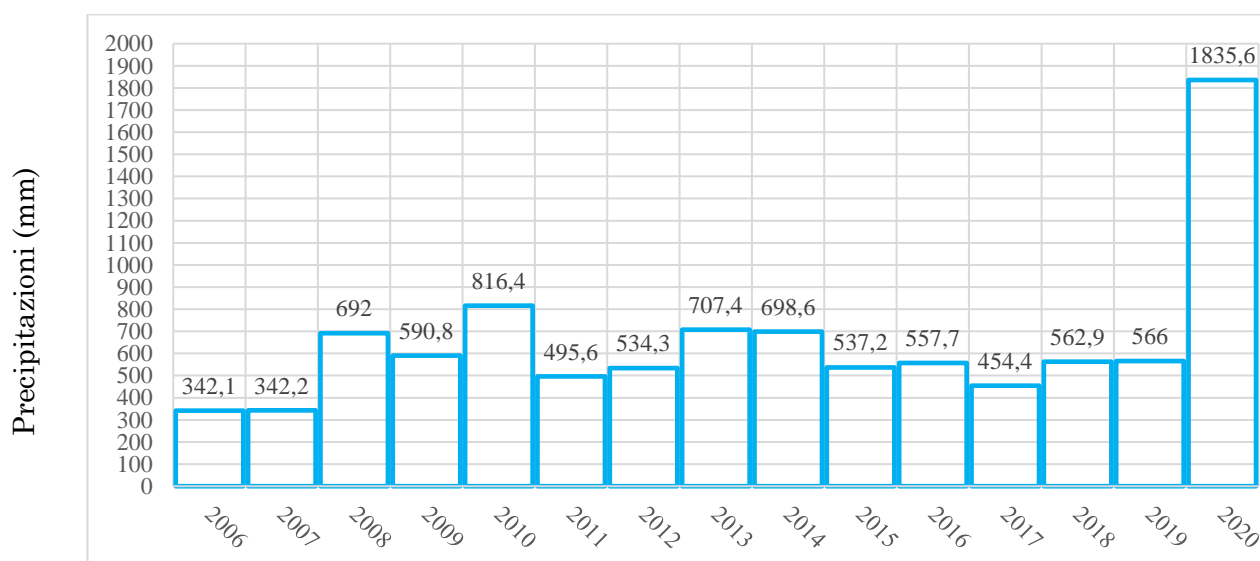


Figura 23 - Precipitazioni totali annuali.

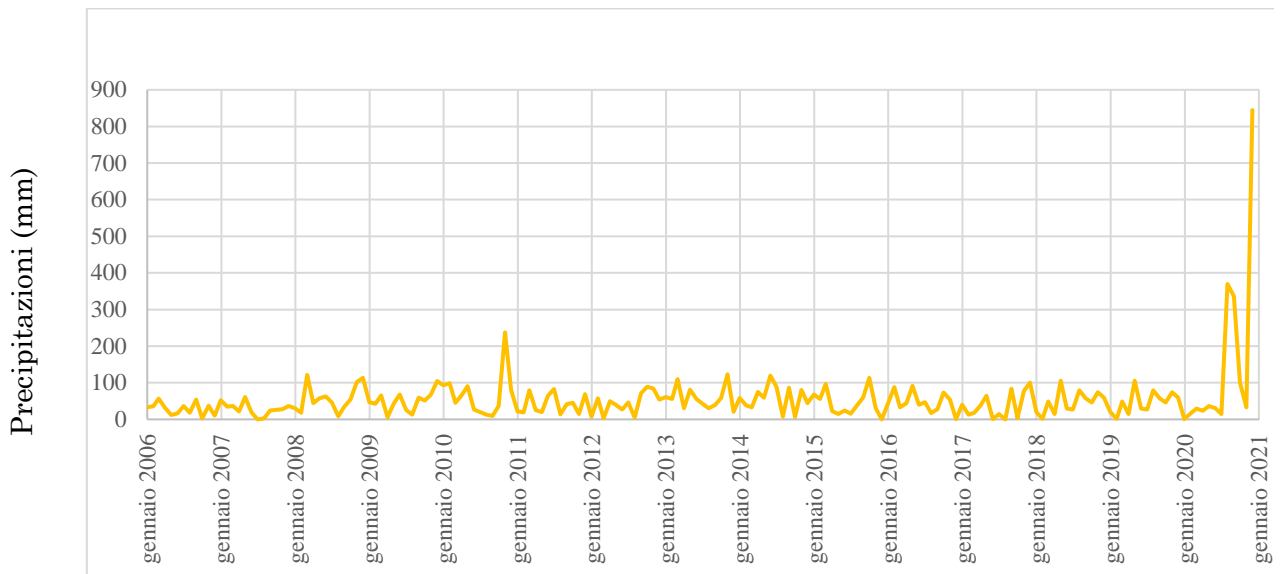


Figura 24 - Precipitazioni totali annuali.

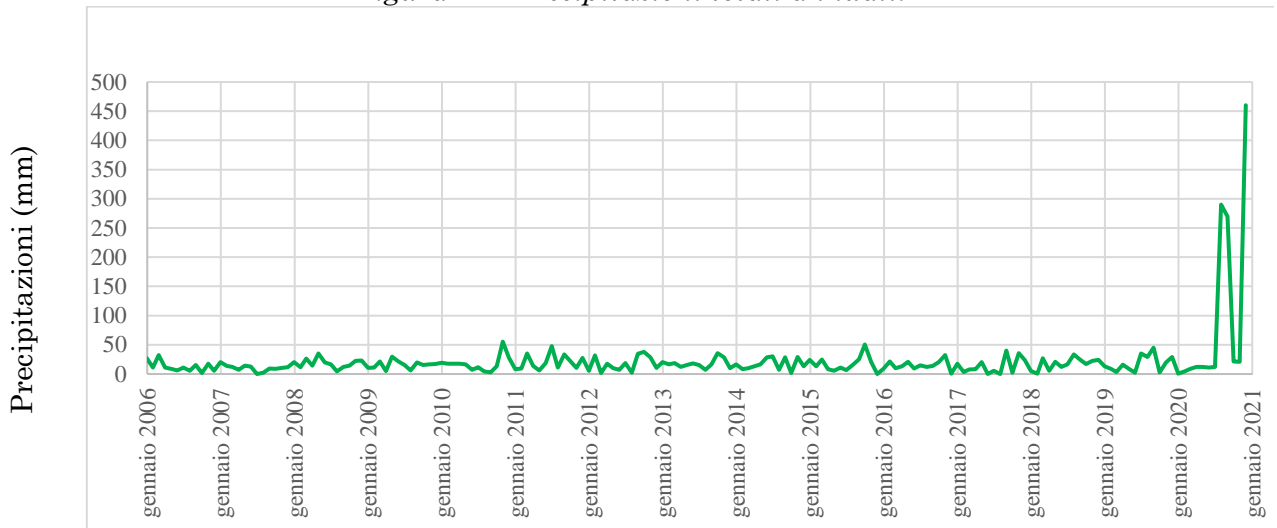


Figura 25 - Precipitazioni massime.

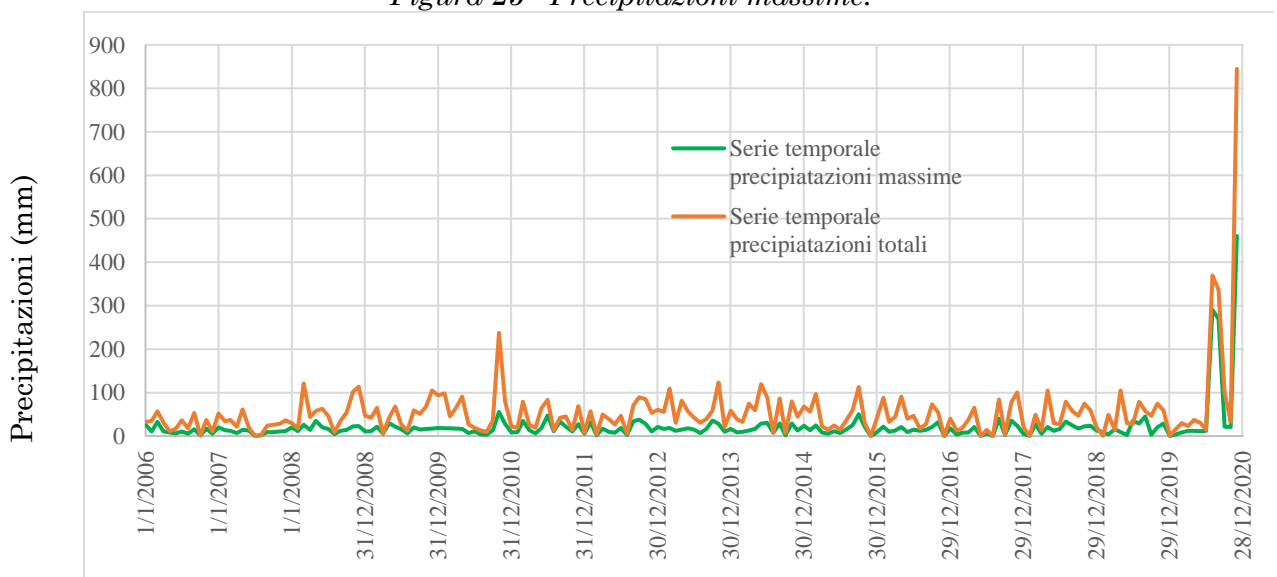


Figura 26 - Precipitazioni totali annuali.

A supporto dei dati precedentemente analizzati, gli stessi dati pluviometrici sono stati espressi come serie temporale. Da tale analisi è stata confermata la tendenza fuori media dell'anno 2020 e si osserva che i valori maggiori, fuori media, sono concentrati nei mesi di agosto, settembre, ottobre, novembre e dicembre, nei quali si osserva maggiormente tale andamento (Fig. 27).

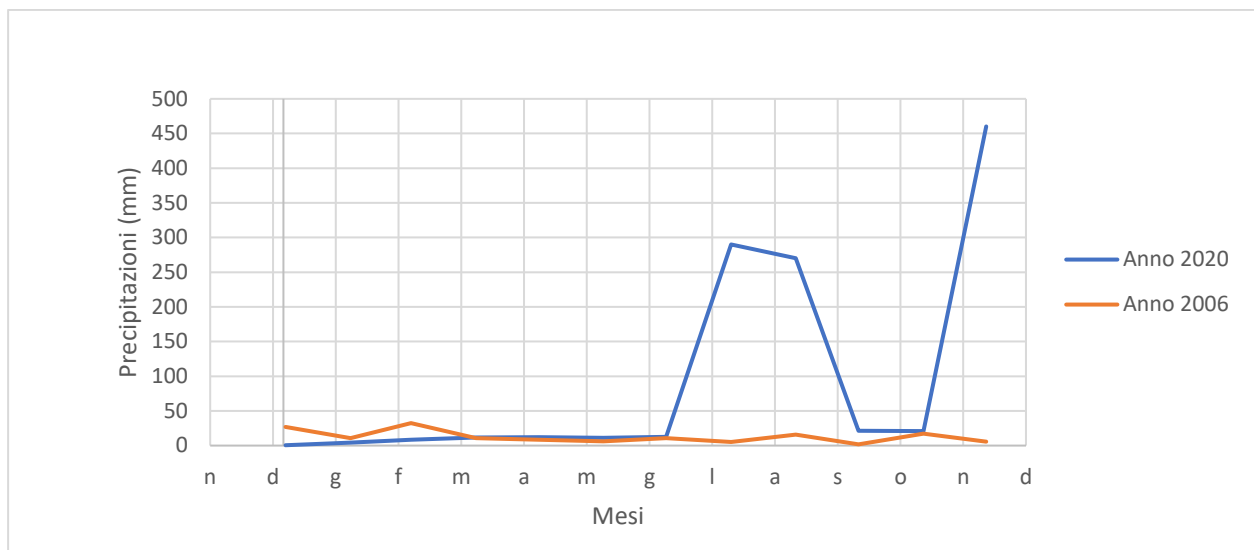


Figura 27 – Confronto tra le precipitazioni massime degli anni 2020 e 2006.

I dati storici sono stati ottenuti dagli annali idrologici nazionali disponibili *online*, e vanno dall'anno 1933 al 2010. L'intervallo temporale copre dunque un periodo di 77 anni e il numero di dati non disponibili è sufficientemente piccolo da poter definire la serie continua (grado di continuità 0,687), dunque rappresentativa e adatta ad un'analisi statistica (Tab. 9).

L'analisi si considera affidabile, seppur mancante degli ultimi dieci anni di dati, poiché, dalle osservazioni sui dati giornalieri, si è potuto osservare che i *trend* sono congruenti: quindi, la mancanza dei suddetti dati non inficia la bontà delle soluzioni ricavate (Figg. 28, 29, 30, 31 e 32).

Anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1933	14.6	21	23.2	27.8	40.6	1947	14	21.4	36.8	56	65.6
1934	14.2	18.2	23	24	27.8	1948	20	24	25.4	27	27
1935	23.8	38	45.4	24	27.8	1949	26	37.8	44.6	44.6	47
1936	17	27.8	30.2	44.4	65.4	1950	31.2	41.2	41.2	41.2	41.4
1937	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1951	6	10.8	17	30.2	40.6
1938	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1952	43.2	45.2	45.2	49.4	49.6
1939	20.4	26.8	26.8	43.8	50.2	1953	27.2	27.2	27.2	27.2	27.4
1940	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1954	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1941	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1955	26.2	32.2	32.4	32.4	40.8
1942	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1956	27.2	33.2	33.4	33.4	41.8
1943	6.8	11.2	15.8	28.6	41.2	1957	28.2	43.4	43.6	44.4	45.8
1944	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1958	10	13	21	32.4	34.6
1945	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	1959	29	37.2	47.4	37.4	37.4
1946	8.8	23.6	29.2	38.8	45.2	1960	12.6	21.2	29.8	39	47
Anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h	Anno	1 h	3 h	6 h	12 h	24 h
1961	10.6	19.6	25.4	42	56.8	1992	26.8	28.4	28.6	28.6	36.8
1962	17.6	19.6	25.4	42	56.8	1993	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1963	9.8	14	18.4	25.4	39.4	1994	19.6	21.2	25.4	39.6	39.8
1964	13	12.6	21.8	31.4	37.2	1995	27	27.6	27.6	30	40
1965	23.4	23.4	23.4	34.2	37.6	1996	22	23.8	23.8	28	29.2
1966	13	23	23.8	33.8	37.2	1997	25.8	28.6	29	31.8	39.8
1967	13.6	14	15.2	23.8	28.6	1998	14	29	35	41.8	48
1968	22	33	33	35.2	41	1999	29.4	31.4	31.4	31.4	46.4
1969	25.4	27	34.8	43	57	2000	9.6	20.4	22.8	28	40.4
1970	13	20.6	23.8	30	37.4	2001	6.6	14.6	18.2	28.6	29.4
1971	23.4	44.6	45	45.2	67.6	2002	13.2	20.8	26.4	26.4	27.2
1972	10	22	29.4	44.4	48.8	2003	13.6	20	29.6	34.4	49.6
1973	32.6	39	40	40	47.2	2004	13.4	17.6	21.4	23.4	40
1974	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2005	17.6	27.6	30.4	30.8	32
1975	18.4	19.2	27.8	34.8	48.4	2006	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
1976	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2007	25.2	25.6	25.6	25.8	32.6
1977	15.4	21.4	27.4	40.2	48.6	2008	10	16.4	22.4	32.2	36.6
1978	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	2009	15.2	18.2	21.8	25.4	40
1979	14	17.2	28	34.8	35	2010	12.2	27.8	47.8	56	57.2
1980	11	25	38	47.6	69.6						
1981	10.4	13.8	25	26	35						
1982	11	18	26.4	50.8	69.6						
1983	9.2	13	15.8	24.2	29.8						
1984	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.						
1985	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.						
1986	17	21.8	23	39.6	61.6						
1987	14.2	17.8	21.8	29	42						
1988	14.2	27.4	37	43.4	45						
1989	41	49.4	58.6	58.8	78.8						
1990	15.8	16.6	27.2	41.6	57.8						
1991	43.2	47.8	48.2	48.2	48.4						

Tabella 9 - Precipitazioni massime giornaliere con distribuzione 1, 3, 6, 12, 24 ore.

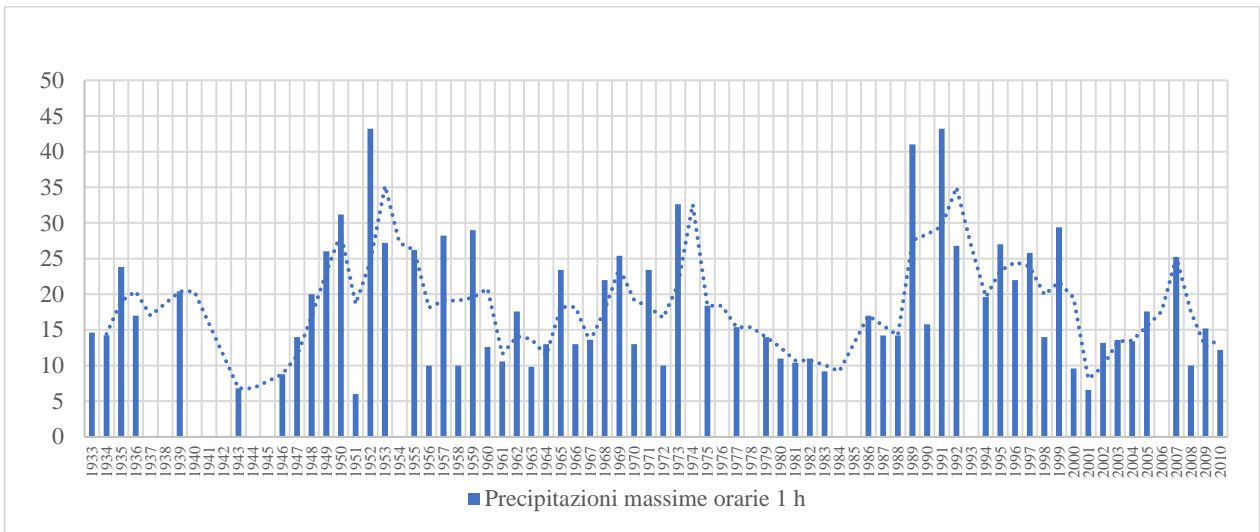


Figura 28 - Andamento delle piogge massime annuali - 1 ora.

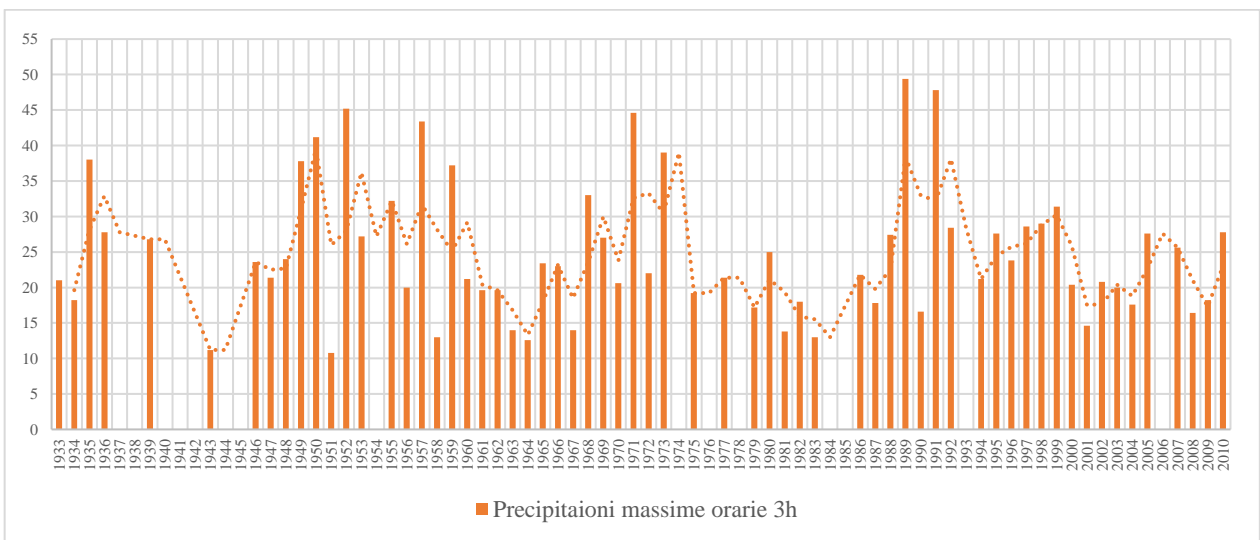


Figura 29 - Andamento delle piogge massime annuali - 3 ore.

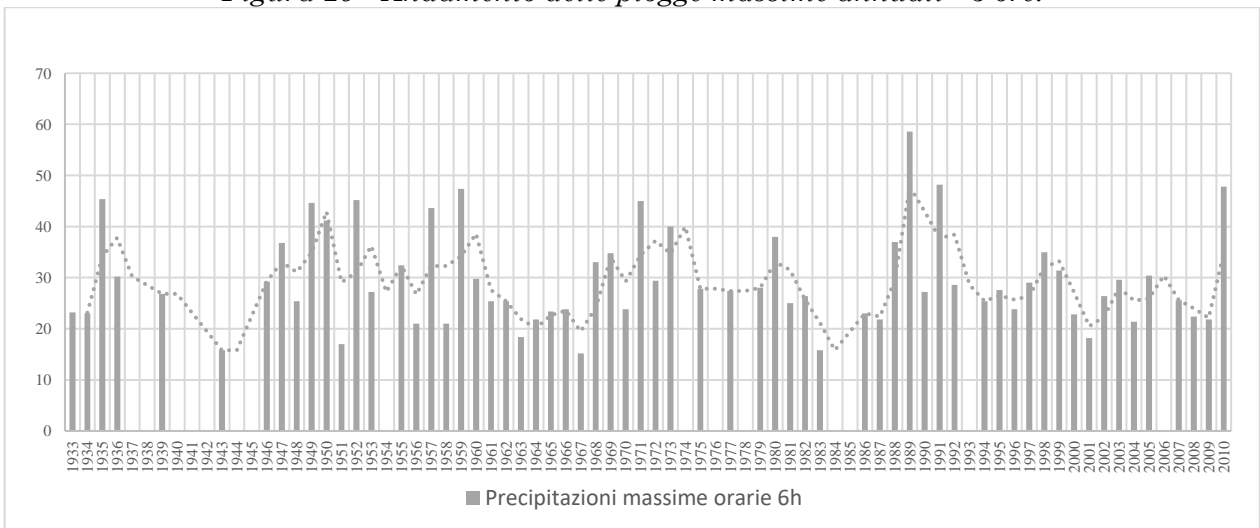


Figura 30 - Andamento delle piogge massime annuali - 6 ore.

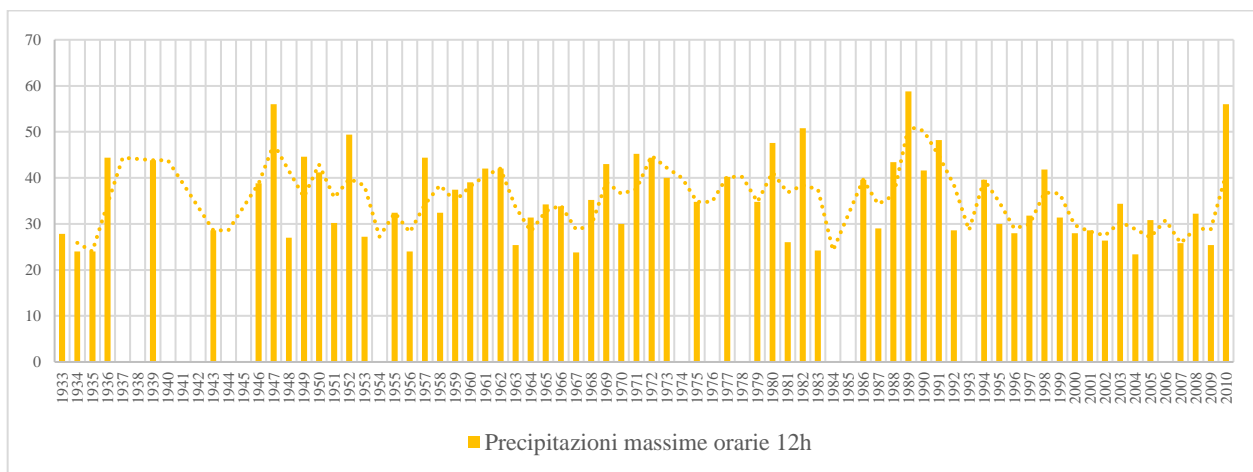


Figura 31 - Andamento delle piogge massime annuali - 12 ore.

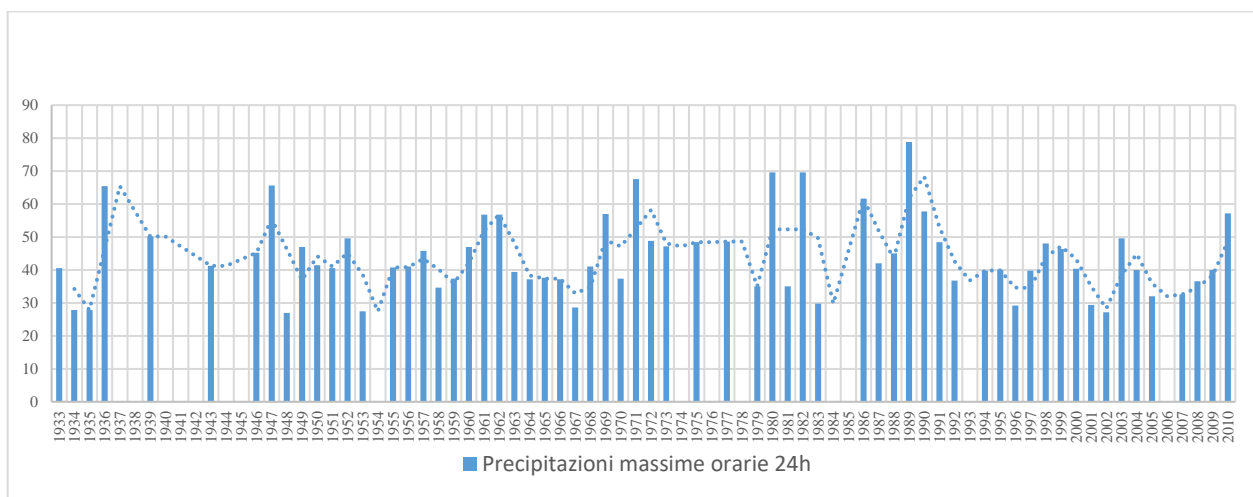


Figura 32 - Andamento delle piogge massime annuali - 24 ore.

I *trend* mostrati dai dati storici sono coerenti con quelli osservati dall'analisi dei dati giornalieri; infatti, in entrambi i casi si osservano variazioni omogenee dei livelli pluviometrici, con alcuni anni molto più piovosi rispetto ad altri, il che rispecchia anche l'andamento registrato nell'anno 2020.

Partendo dai sopracitati dati storici, si è proceduto al calcolo delle LSPP (curve di possibilità climatica), così da ricavare i pluviogrammi e poter applicare il metodo SCS, al fine di ottenere una risposta in termini di ruscellamento superficiale ed infiltrazione del bacino a seguito di un determinato evento pluviometrico.

La distribuzione statistica che si è scelto di utilizzare è quella di Gumbel, la cui funzione di probabilità (o CDF) è data dalla seguente equazione:

$$F(x) = e^{-e^{\left(\frac{x-\varepsilon}{\alpha}\right)}} \quad (1),$$

dove:

α, ε = momenti teorici da stimare

x = popolazione dati.

I parametri dell'equazione (1) sono stati calcolati a partire dal campione delle osservazioni di piogge, espresso in mm, distribuite su 1h, 3h, 6h, 12h, 24h per l'intervallo temporale 1933-2010.

Tali dati sono stati recuperati dagli annali idrologici, ed, in particolare, è stata scelta per l'analisi la stazione meteorologica dell'Aquila, che, a parità di distanza dalle altre, presenta un maggior numero di dati e quindi si presta meglio a fornire delle curve quanto più verosimili e descrittive dei fenomeni di nostro interesse.

Partendo da tali dati sono stati calcolati i momenti di primo e secondo ordine della distribuzione rappresentati da media e deviazione standard, tramite le seguenti formule:

$$\text{Media } \mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

$$\text{Deviazione standard } \delta = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}}{N} \quad (3)$$

Calcolate media e scarto quadratico medio, è stato applicato il metodo Gumbel per determinare i momenti teorici della distribuzione (Tab. 10):

$$\alpha = \frac{\sqrt{6m}}{\pi} \quad (4)$$

$$u = \delta - (0.5772\alpha) \quad (5)$$

Massimi orari	1h	3h	6h	12h	24h
μ	18.56825	24.9873	29.67302	35.83492	43.99048
δ	8.735482	9.450235	9.294001	8.848221	11.83998
α	6.811028	7.368318	7.246503	6.89893	9.231593
u	14.63693	20.73431	25.49033	31.85286	38.662

Tabella 10 - Momenti teorici della distribuzione

Sono stati quindi calcolati i quantili di precipitazione (h) per gli assegnati tempi di ritorno (50, 100, 300, 500 anni) applicando la formula:

$$h = u + a \left\{ -\ln \left[\ln \left(\frac{TR}{TR+1} \right) \right] \right\} \quad (6)$$

TR	h (mm) 1 ore	h (mm) 3 ore	h (mm) 6 ore	h(mm) 12 ore	h (mm) 24 ore
2	20.78538	27.38584	32.0319	38.08066	46.99555
5	26.22918	33.27506	37.82376	43.59472	54.37402
10	30.64706	38.05441	42.5241	48.06961	60.36195
50	41.34938	49.63241	53.91069	58.91005	74.86776
100	46.03678	54.70335	58.8978	63.65796	81.22102
300	53.49689	62.77385	66.83487	71.21434	91.33236
500	56.9716	66.53288	70.53175	74.7339	96.04196

Tabella 11 – Quantili di precipitazione

I termini descrittivi della LSPP sono rappresentati dall'equazione di Massari in forma lineare:

$$y = mx + q \quad (7)$$

$$y = t \log(n) + \log(a) \quad (8)$$

I sopracitati parametri sono stati espressi in forma logaritmica e plottati in un grafico; da questi, tramite regressione lineare di grado 2, sono stati determinati i parametri "a" ed "n".

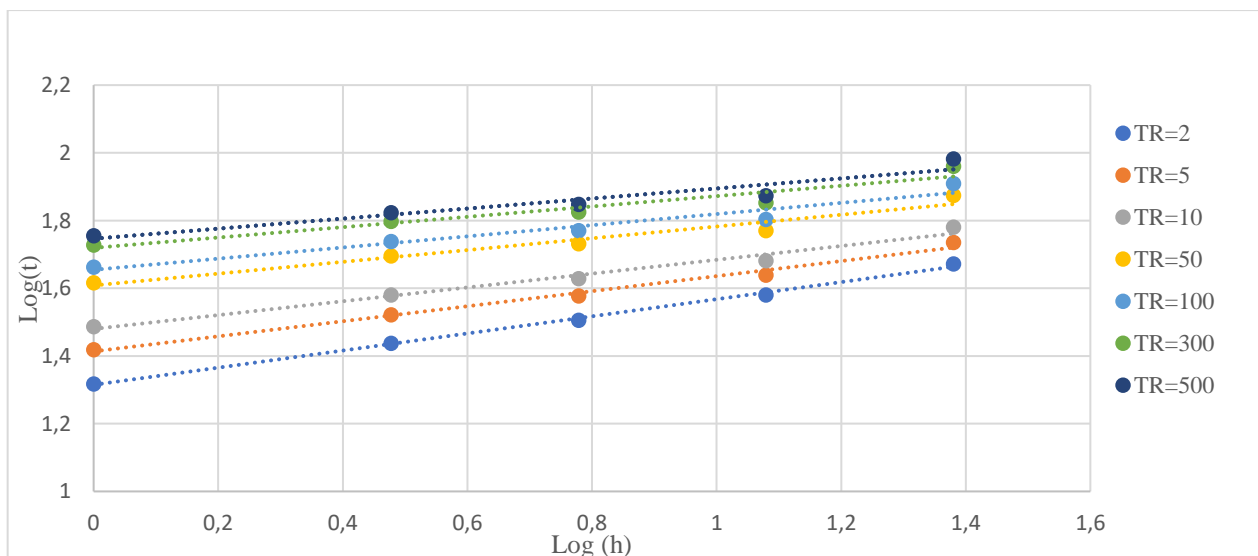


Figura 33 - Altezze di pioggia per i diversi tempi ritorno da noi calcolate.

	n	a
TR=2	0.257	20.384
TR=5	0.226	25.639
TR=10	0.207	29.915
TR=50	0.177	40.290
TR=100	0.167	44.833
TR=300	0.155	52.083
TR=500	0.151	55.450

Tabella 12 - Parametri ottenuti per la LSPP.

I parametri della LSPP sono stati quindi graficati plottando il tempo (in ore) e l'altezza di precipitazione (in millimetri) presenti nell'equazione di Massari espressa nella forma tipica:

$$h = a * t^n \quad (9)$$

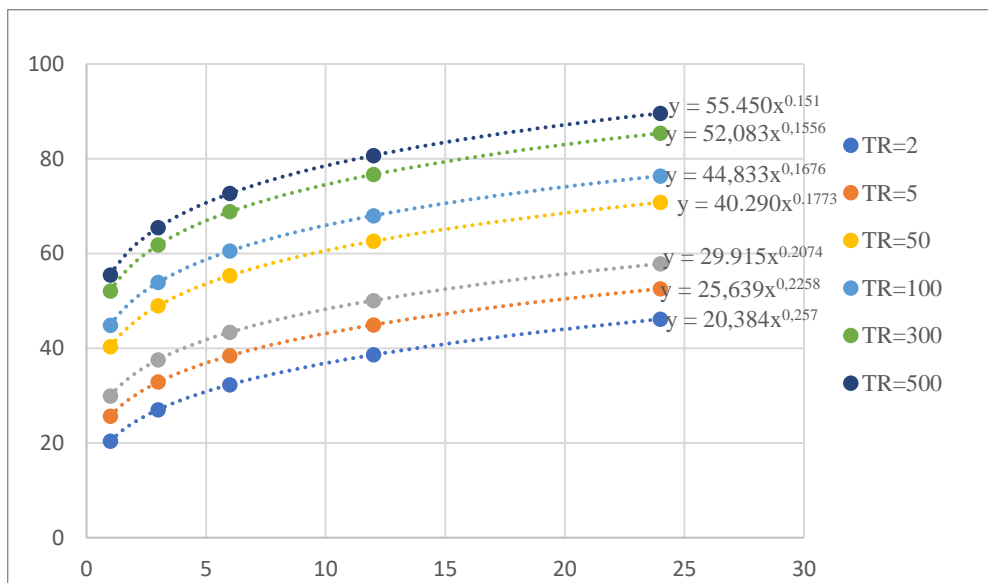


Figura 34 - LSPP

Da quest'analisi sono stati scelti i tempi di ritorno più opportuni e congruenti con le linee-guida espresse dall'Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro, a rappresentare il fenomeno in esame (50, 100, 300, 500) e quindi costruiti i pluviogrammi di progetto (Fig. 35).

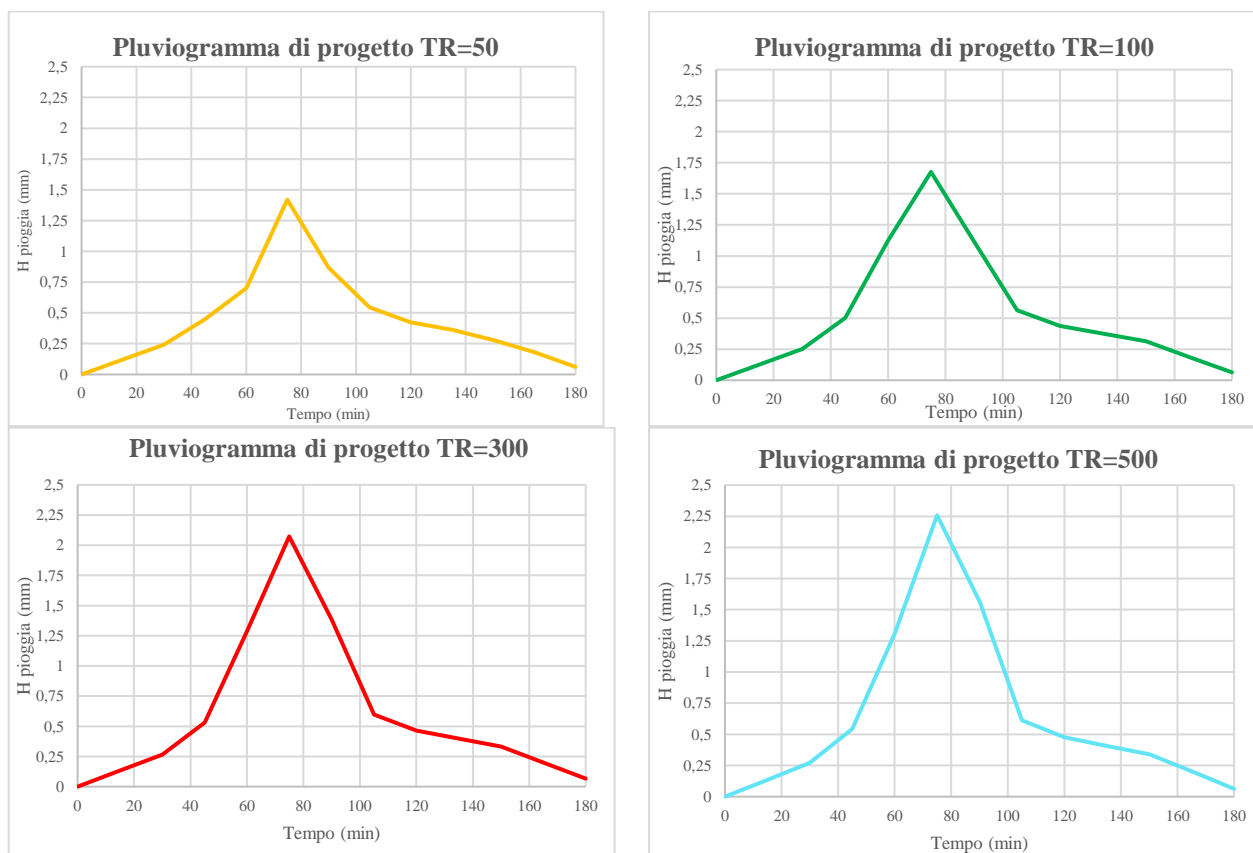


Figura 35 – Pluviogrammi di progetto.

Il modello scelto è quello a blocchi alterni con passo di campionamento è di 15 minuti; tale intervallo temporale è descrittivo di eventi pluviometrici di progetto, la cui durata è stata ponderata sulle 3 ore.

In prima analisi è stata ricavata dalle curve la massima pioggia cumulata (Fig. 36) riferita al periodo di ritorno per l'assegnato valore temporale rappresentativo dell'evento pluviometrico.

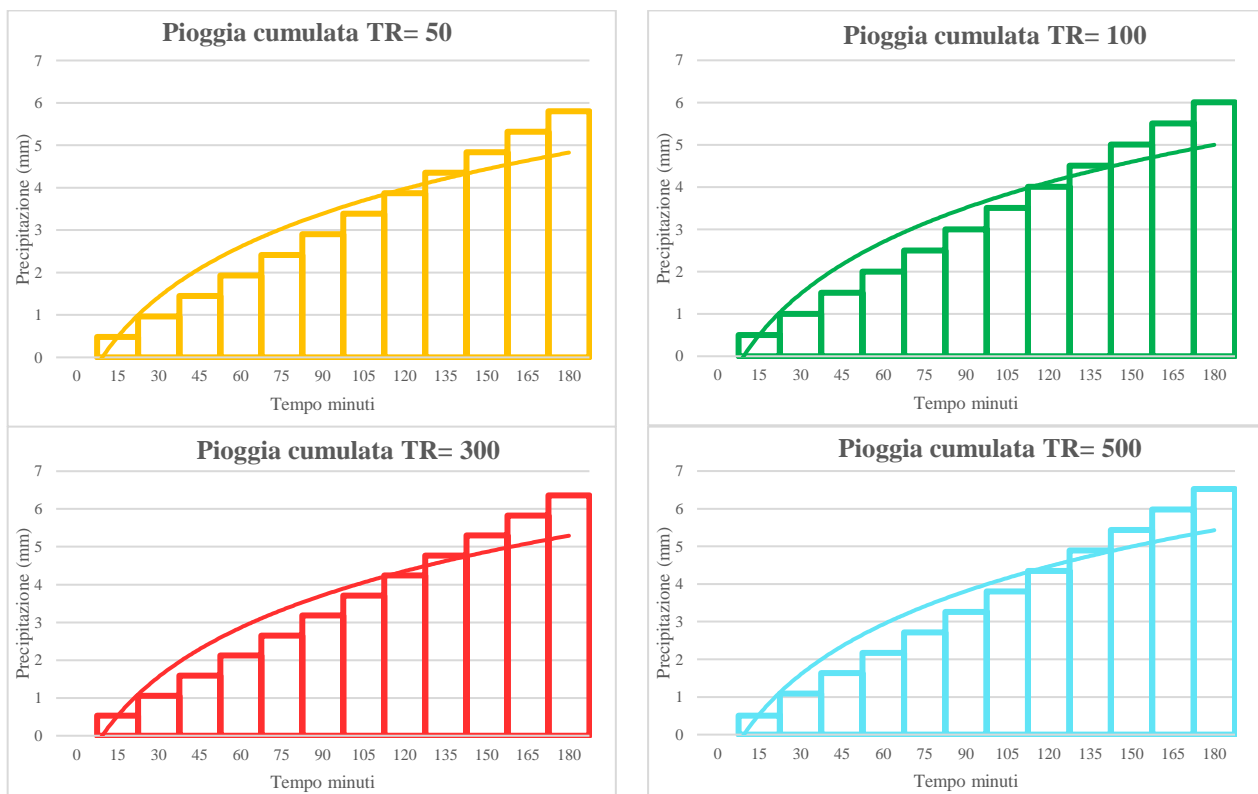


Figura 36 – Curve di pioggia cumulata.

Da questi, poi, è stato definito il picco di intensità pluviometrica associato ad ogni evento al fine di suddividere, a partire proprio da questo dato, il massimo di intensità di pioggia; poi sono stati posizionati a destra e a sinistra in modo alternato i valori ottenuti, restituendo, così, i pluviogrammi di modellazione utilizzati.

Al fine di ricostruire un modello rappresentativo della dinamica dei fenomeni agenti sul versante percorso dal fuoco, è stato necessario ricostruire un modello semplificato dei processi idrogeologici agenti; tale modello è stato ricostruito applicando il metodo SCS.

Tramite questo metodo, partendo da dati pluviometrici storici, è possibile studiare la risposta idrologica di un bacino in termini di deflusso superficiale o pioggia netta, trasformando la pioggia lorda che ricade nel bacino in deflusso superficiale stimando così anche le perdite iniziali, come quelle dovute ad infiltrazioni. Questo modello esprime in modo concettuale e semplificato il processo idrologico e la sua formulazione deriva dall'equazione di bilancio fra i valori cumulati nel tempo dei principali termini dell'afflusso e del deflusso.

Il modello si basa sull'ipotesi che, durante l'intero evento preso in considerazione, il rapporto tra perdite per infiltrazione e deflusso superficiale resti invariato. L'equazione alla base di tale metodo è:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{P-I_a} \quad (10),$$

dove:

F = perdite effettive generate durante l'evento espresse in mm;

S = massima capacità di ritenzione idrica del suolo espressa in mm;

Q = pioggia netta cumulata espressa in mm,

P = pioggia lorda cumulata espressa in mm;

I_a = perdite iniziali dovute all'intercettazione, all'infiltrazione e alla saturazione delle depressioni superficiali espresse in mm;

$$Q = P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S} \quad (11)$$

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (12)$$

$$I_a = \lambda S \quad (13)$$

Per sviluppare i sopracitati calcoli è stato quindi stimato il *Curve Number* (Tab. 13) per la zona con copertura vegetazionale e per la zona urbanizzata.

Tipo di copertura			Classe del suolo			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi diritti	–	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		–	59	74	82	86
Strade sterrate		–	72	82	87	89
Str. pavimentate		–	74	84	90	92

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella 13 – Parametri per la stima del Curve Number

Per quel che riguarda invece l'area percorsa dal fuoco, una volta calcolato il *Curve Number* di base, è stato necessario servirsi dell'abaco di correlazione (Fig. 37) per determinare il CN post incendio.

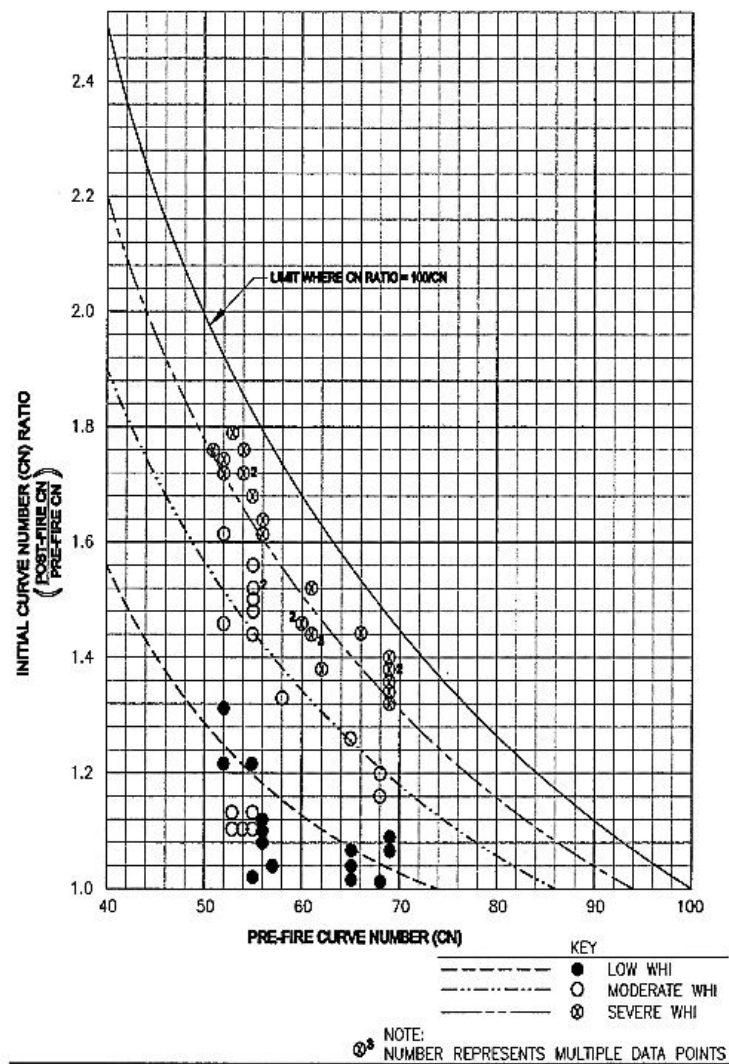


Figura 37 - Abaco di correlazione CN pre-incendio, CN post-incendio.

In particolare, il CN stimato ha valore pari ad 80 per la porzione superiore dell'area in esame, 69 per la zona interessata da coltivazioni, 70 per l'area interessata dagli insediamenti urbani. Per il *Curve Number* post-incendio partendo, considerando il grado di severità dell'incendio, si è ricavato il rapporto tra CN pre-incendio e CN post-incendio, con un valore risultante pari a 1.16:

$$\frac{CN \text{ postincendio}}{CN \text{ preincendio}} = 1.16 \quad (14)$$

da cui si ottiene che il CN post-incendio è di 92.

Tipologia di suolo	CN
Bosco con pini	80
Area bruciata	92
Area urbanizzata	70
Area coltivata	69

Tabella 14 - Sintesi dei valori CN stimati.

Stimato il CN (Tab. 14), sono state poi applicate le sopracitate formule in modo da ottenere tutti i parametri rappresentativi utili da inserire nel modello. Importante ai fini della comprensione dei processi è sicuramente l'impatto che l'incendio ha sulla dinamica dei processi che avvengono nell'area; infatti, dalle analisi è emerso che i valori di pioggia efficace post-incendio sono molto maggiori (Fig. 38).

Da ciò si deduce che, in questo caso, l'incendio comporta una diminuzione dei quantitativi di pioggia che contribuiscono all'infiltrazione profonda, favorendo in maniera marcata i processi di ruscellamento superficiale.

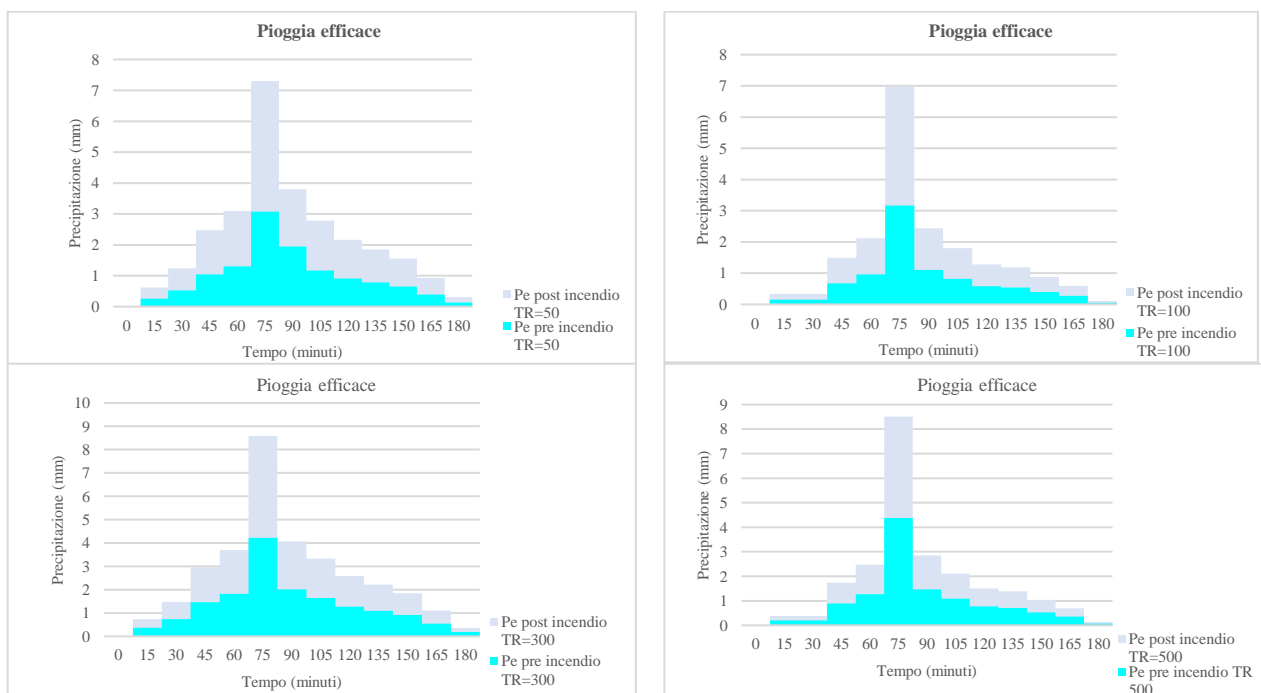


Figura 38 – Pluviogrammi.

Tale problematica risulta particolarmente evidente andando ad osservare gli idrogrammi derivati a seguito dell'applicazione del metodo SCS riportato, riferito alla sola area boschiva interessata dall'incendio.

Calcolato il CN, per completare l'idrogramma, è utile stimare la portata di picco e tutti gli elementi costituenti l'idrogramma stesso.

Per individuare la portata al colmo, bisogna valutare il tempo di ritardo o *lag time* del bacino, definibile come la distanza temporale tra il baricentro dell'idrogramma di piena superficiale, filtrato, senza considerare quindi le portate di base, che sarebbero defluite nel corso d'acqua in assenza dell'evento che ha innescato la piena, e il baricentro del pluviogramma netto.

Per la stima del tempo di ritardo del bacino è stata utilizzata la formula di Mockus (SCS, 1972):

$$t_l = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right) \quad (15)$$

con:

s = pendenza del bacino

L = lunghezza dell'asta principale espressa in Km.

CN = *Curve Number*

Stimato il *lag time*, è utile considerare anche il tempo di corrivazione; nell'applicazione del metodo SCS il valore di quest'ultimo, pari a 0,6, è derivato dal rapporto tra *lag time* e tempo di corrivazione stesso. L'idrogramma da costruire è considerato idealmente triangolare, con una fase crescente di una determinata durata, la quale rappresenta il tempo di accumulo t_a , ed una fase di esaurimento con una durata t_e . Sperimentalmente è stato stabilito che, nella fase crescente dell'idrogramma, defluisce un volume idrico pari al 37,5% del volume totale V di deflusso; ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0,375 volte la durata dell'evento di piena.

Prima di calcolare il tempo di accumulo t_a , per ottenere le portate al colmo è necessario stimare la durata di pioggia efficace t_e , partendo dalla durata totale di pioggia t_p e prendendo in considerazione l'apporto meteorico necessario a saturare la perdita iniziale I_a :

$$t_e = t_p \left(1 - \frac{I_a}{h_{tp} T(A)} \right) \quad (16).$$

A questo punto è possibile quantificare il tempo di accumulo; per fare ciò si ipotizza che la precipitazione sia costante per intensità e durata; considerando il tempo di ritardo, già calcolato, si può applicare la relazione:

$$t_a = 0.5t_e + t_r \quad (17).$$

Ai fini del progetto, una volta calcolati i volumi, questi sono stati trasformati in portate espresse in m³:

$$V = \frac{Q_p(t_a+t_e)}{2} = \frac{Q_p t_p}{2} \quad (18)$$

$$Q_p = \frac{V(t_c h)}{A 3.6} \quad (19).$$

Il tempo di corrivazione del bacino, espresso in ore, è stato calcolato servendosi della formula di Ventura, in quanto la copertura areale della porzione di bacino presa in esame è sufficientemente piccola. Tale formula è efficace in quanto nelle ipotesi del metodo afflussi-deflussi si considera costante la velocità. Nella Tabella 15 è riportata la sintesi dei parametri calcolati.

TR	50	50	100	100	300	300	500	500
CN	80	92	80	92	80	92	80	92
a	40.290	40.290	44.833	44.833	52.083	52.083	55.450	55.450
n	0.177	0.177	0.167	0.167	0.155	0.155	0.151	0.151
h pioggia (evento 3h)	48.975	48.975	53.897	53.191	61.481	61.793	65.455	65.455
Pioggia areale*	69.055	69.055	75.994	75.994	86.689	87.689	92.292	92.292
S	63.500	19.707	63.500	19.707	63.500	19.707	63.500	19.707
Astrazione iniziale (I _a)	12.700	3.941	12.700	3.941	12.700	3.941	12.700	3.941
Pioggia efficace (P _e)	13.188	31.326	16.210	35.827	21.406	43.152	23.939	46.588
C	0.269	0.639	0.301	0.664	0.3464	0.698	0.365	0.711
Q _{base}	3.979	9.451	4.891	10.809	6.458	13.020	7.223	14.056
Q _p	3.036	7.195	3.730	8.227	4.922	9.909	5.503	10.697
T _a	1.702	1.706	1.703	1.706	1.704	1.707	1.705	1.707
T _{eff}	2.989	2.996	2.990	2.997	2.992	2.998	2.993	2.998
T _b	4.545	4.556	4.548	4.556	4.551	4.558	4.552	4.558
Q _{max}	6.901	16.392	8.482	18.746	11.201	22.581	12.527	24.379

Tabella 15 – Tabella di sintesi dei parametri calcolati col metodo SCS.

*pioggia areale riferita alla sola porzione di bacino interessata dall'incendio.

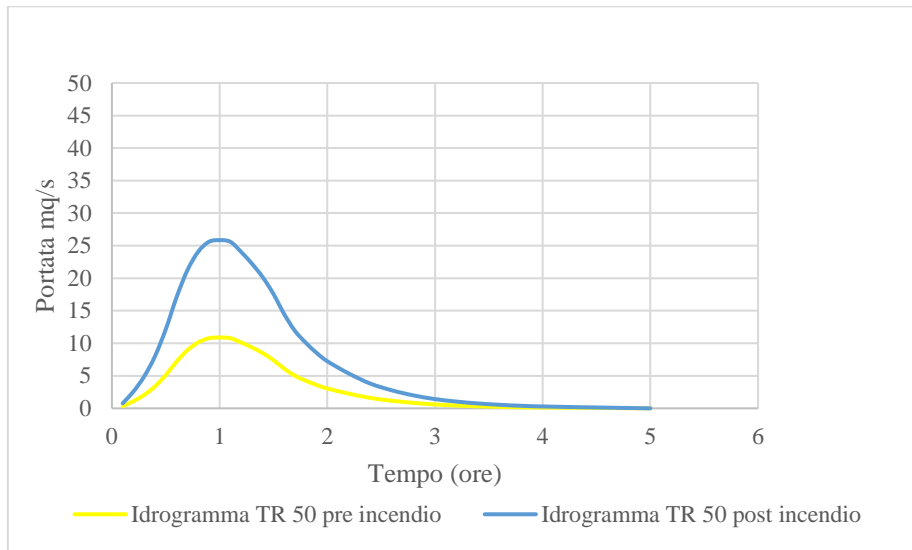


Figura 39 – Idrogrammi delle portate pre-incendio e post-incendio (TR 50 anni).

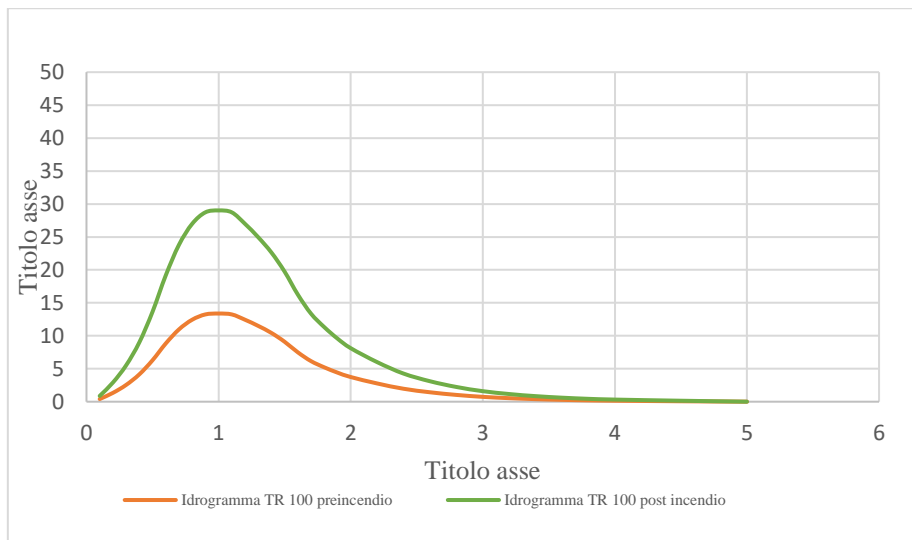


Figura 40 - Idrogrammi delle portate pre-incendio e post-incendio (TR 100 anni).

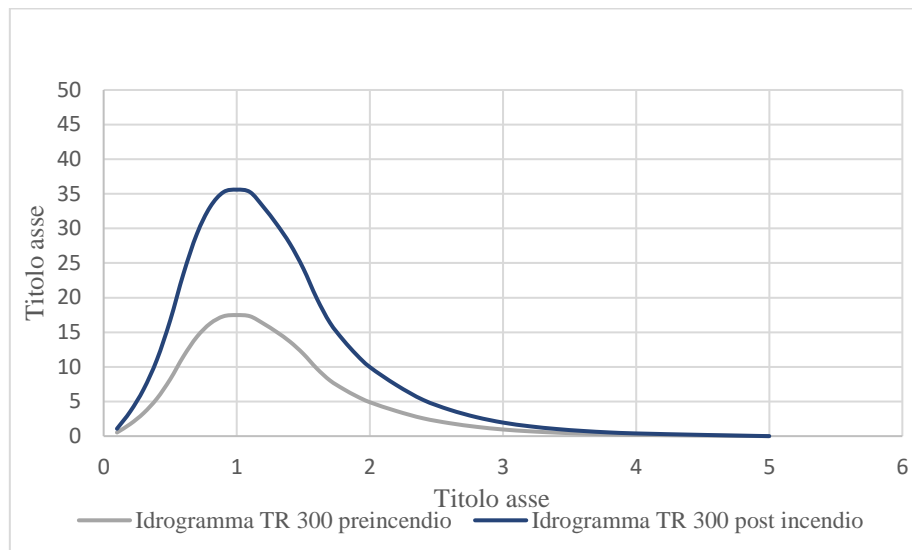


Figura 41 - Idrogrammi delle portate pre-incendio e post-incendio (TR 300 anni).

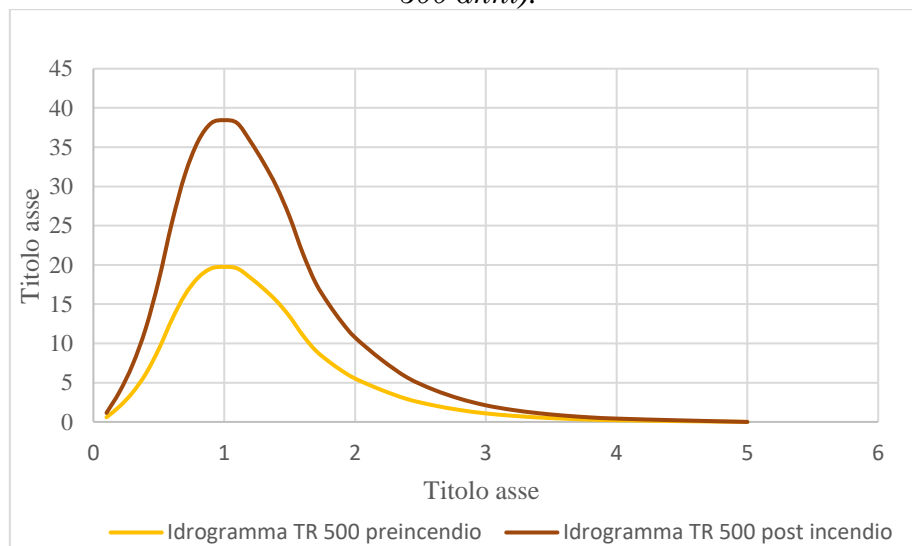


Figura 42 - Idrogrammi delle portate pre-incendio e post-incendio (TR 500 anni).

Dagli idrogrammi derivati risulta evidente come la risposta del bacino a seguito dell'incendio sia maggiore in termini di portate. Questo perché quando la copertura vegetazionale si altera come nel caso di incendi, o addirittura si azzerà, i quantitativi di acqua piovana che vanno dispersi da tali elementi non vengono dissipati e quindi raggiungono in maniera quasi diretta il suolo. Altro aspetto fondamentale è il fatto che, a seguito degli incendi, per via di alcune sostanze prodotte durante la combustione, i suoli tendono a diventare idrofobici e quindi a ridurre in maniera drastica la loro naturale attitudine a lasciare infiltrare l'acqua. Tutto ciò non fa altro che aumentare i valori di pioggia efficace, incidendo sui quantitativi d'acqua che contribuiscono al ruscellamento superficiale e che, quindi, alimentano la circolazione superficiale a

discapito di quella profonda, così come indicato dai grafici soprariportati. Queste evidenze sono osservabili anche con dei grafici che mettono in relazione le portate pre-incendio e post-incendio con gli eventi pluviometrici (Figg. 43, 44, 45 e 46).

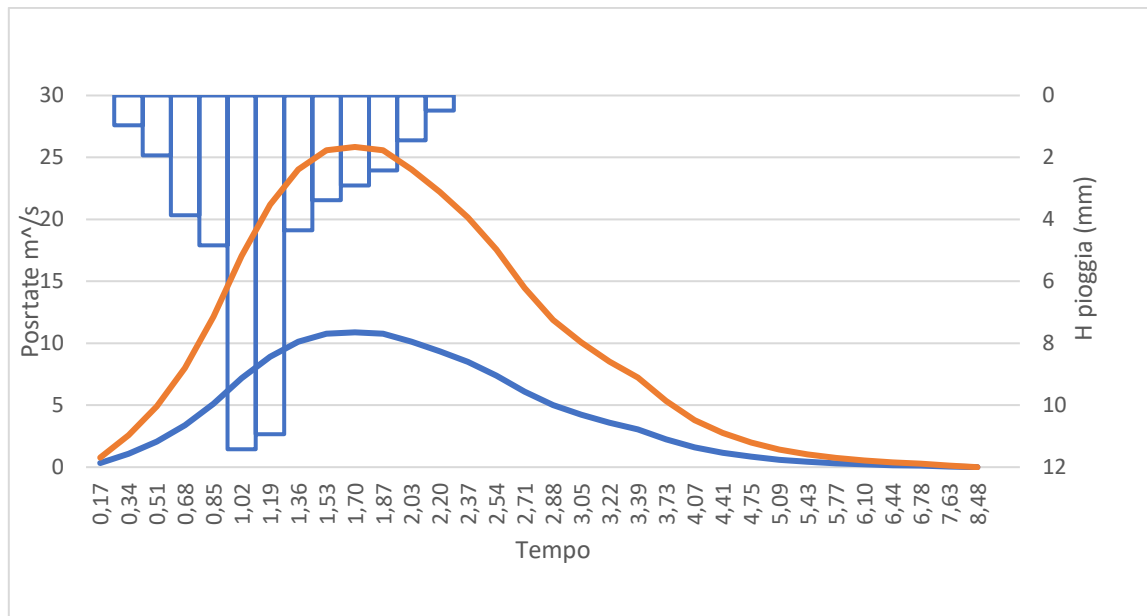


Figura 43 – Relazione tra portate pre-incendio e post-incendio con gli eventi pluviometrici (TR 50 anni).

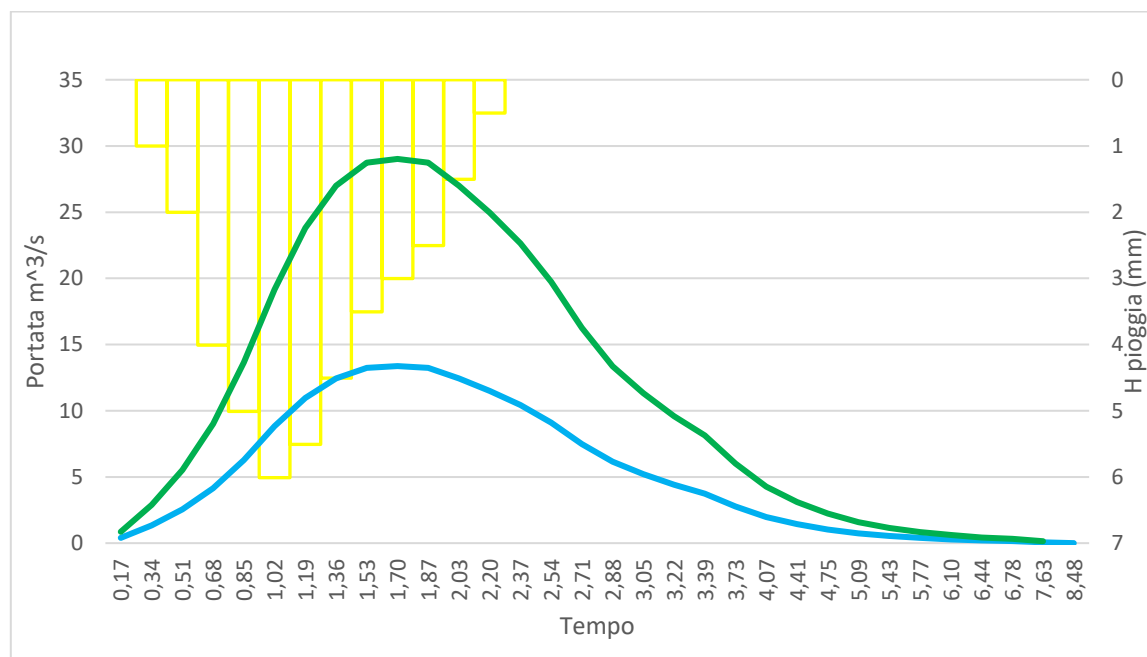


Figura 44 - Relazione tra portate pre-incendio e post-incendio con gli eventi pluviometrici (TR 100 anni).

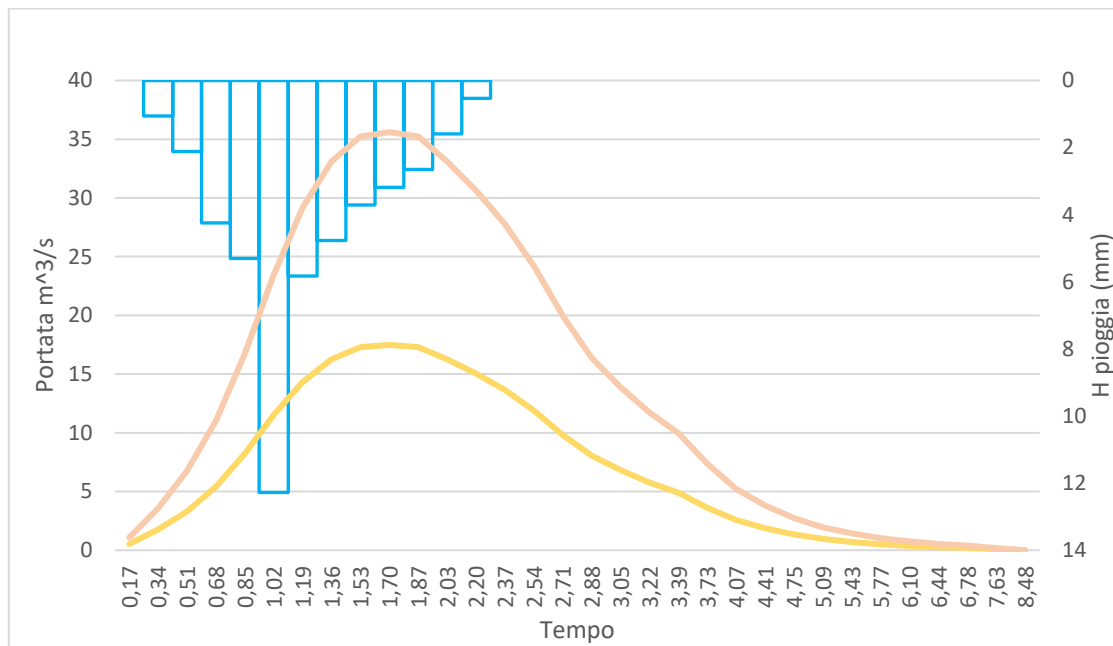


Figura 45 - Relazione tra portate pre-incendio e post-incendio con gli eventi pluviometrici (TR 300 anni).

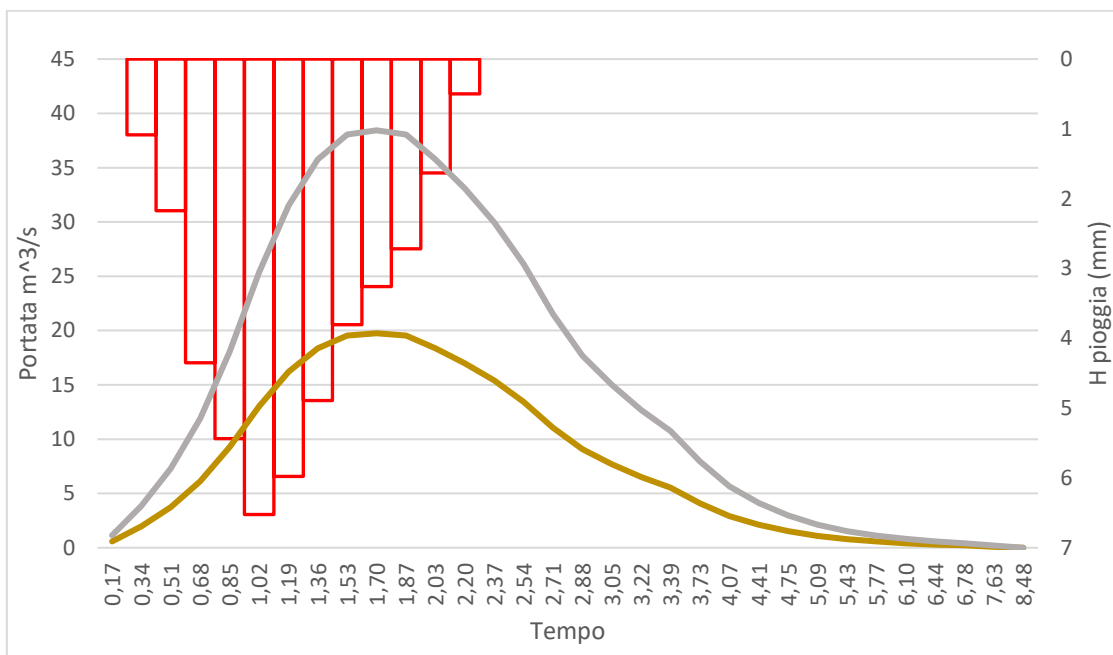


Figura 46 - Relazione tra portate pre-incendio e post-incendio con gli eventi pluviometrici (TR 500 anni).

Si nota così la risposta in termini di ruscellamento dell'intero bacino e le tempistiche affinché il deflusso torni al livello di base o si azzeri, come in questo caso.

9. MODELLAZIONE

Al fine di comprendere il comportamento idraulico dei fenomeni studiati e di evidenziare l'impatto che gli incendi hanno avuto su di essi è stato utilizzato il *software* di modellazione idraulica HEC-RAS.

L'approccio scelto, posto alla base anche dei calcoli che effettua il *software*, è quello delle differenze finite. Tale metodologia prevede la soluzione di alcune equazioni differenziali con l'approssimazione delle derivate stese con equazioni alle differenze finite. Ciò è vantaggioso nel contesto d'indagine in quanto il dominio di calcolo viene discretizzato tramite una maglia regolare con valore fisso.

Il *software*, quindi, va ad approssimare, ad ogni nodo della griglia, l'equazione differenziale, sostituendola con le derivate parziali opportunamente ottenute in termini di valori nodali dalla funzione incognita.

Poiché il modello digitale del terreno (DTM) a disposizione è caratterizzato da una risoluzione a 10 m, la maglia di calcolo è stata settata con lo stesso valore. Questa scelta si rende necessaria in quanto impostare un modello di calcolo con celle che sottocampionino il DTM porterebbe un eccessivo appesantimento dei tempi di calcolo, risultando una procedura poco funzionale che non porterebbe comunque ad un miglioramento della qualità del risultato; questo perché il *software* restituisce i risultati basati comunque sulla cella base del DTM originario e quindi gli stessi avrebbero in ogni caso una risoluzione pari a 10 m.

Scelta quindi la più adatta misura per la cella di campionamento ed il DTM, si è costruito il modello di calcolo. A tal fine è stato utilizzato un approccio bidimensionale, inserendo, tramite *layers* opportunamente costruiti, i seguenti parametri:

- Modello di elevazione digitale del terreno di base, ricondizionato con l'inserimento, in seconda analisi, della briglia principale;
- Dominio di calcolo (con valore di cella 10 m);
- Spessori e caratteristiche granulometriche dei materiali di copertura (parametri ottenuti grazie alle analisi di laboratorio effettuate sui campioni prelevati in situ durante le attività di rilievo – paragrafo 7);
- Risposta in termini di infiltrazione, ruscellamento e deflusso del bacino tramite i parametri calcolati con il metodo SCS (paragrafo 8).

La scelta di parametrizzare il modello in questo modo è dettata dalla necessità di ottenere una rappresentazione quanto più fedele possibile della realtà e dei processi agenti. In quest'ottica, quindi, si è scelto di utilizzare uno specifico approccio denominato "rain on a grid".

L'idea alla base di tale metodologia è quella di inserire nel modello un pluviogramma di progetto ricavato dalle curve di possibilità climatica o da dati pluviometrici e, tramite opportuna parametrizzazione del suolo, ottenere come risultato il comportamento di ogni singola cella appartenente al bacino, invece di considerare semplicemente solo una simulazione lungo l'alveo rischiando di perdere parte delle informazioni.

I pluviogrammi inseriti nel modello (Fig. 47) sono stati calcolati con la metodologia già espressa al paragrafo 8.

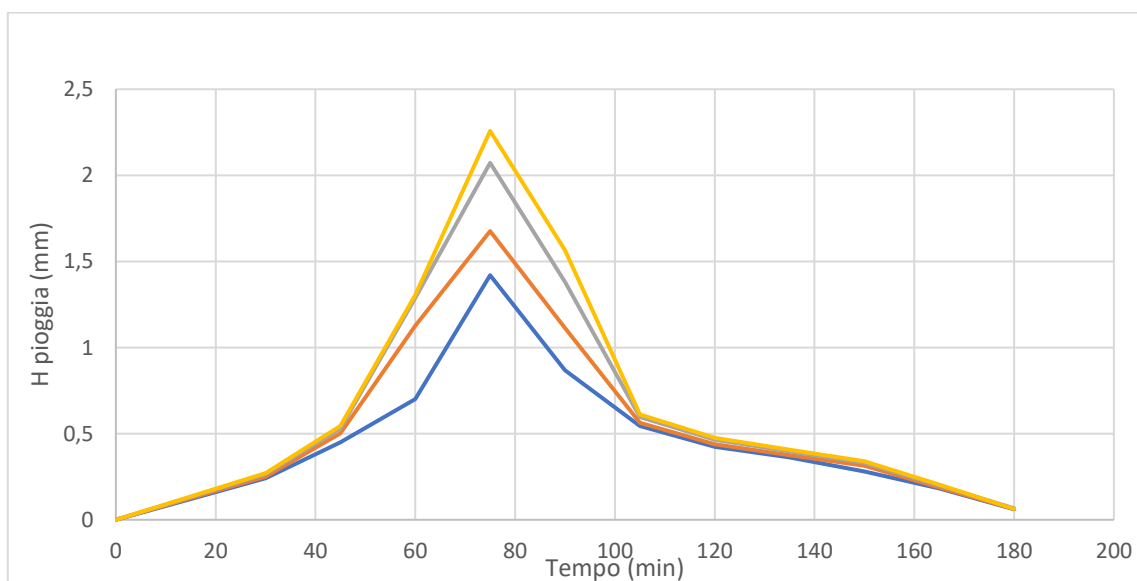


Figura 47 – Pluviogramma di progetto.

Inserite nel modello le informazioni utili (apporto idrico afferente nel sistema tramite la pioggia, la risposta del bacino in termini di tasso minimo di infiltrazione, tasso di astrazione e *Curve Number*), si è proceduto alla parametrizzazione delle equazioni descrittive dei processi di trasporto solido agenti nel bacino, analizzando, a tal fine, le curve granulometriche. Da quest'analisi è emerso che la dimensione media delle particelle costituenti il sistema supera i 2 mm e, quindi, si può affermare che

l'equazione che meglio descrive il loro trasporto in questo contesto è quella di *Yang* (1973, 1984).

Quest'equazione è particolarmente adatta poiché, nel suo sviluppo, è stata testata su una vasta serie di scenari, costruiti con dati teorici e di campo, portando alla modellazione di due distinte espressioni, una per il trasporto di materiali sabbiosi e una per il trasporto di materiali ghiaiosi. Quest'ultima è stata quindi utilizzata nel caso di studio.

L'equazione di *Yang* (20) prende in considerazione il carico come totale, il prodotto della velocità e della sollecitazione di taglio e lo *Stream Power*. Trattandosi di un'equazione della legge di potenza, in cui la concentrazione (C_t) è una funzione della potenza del flusso in eccesso (VS (*stream power*)- VS_{cr} (*stream power critico*)), tende ad essere molto sensibile alla velocità di flusso ed alla velocità di caduta rispetto alla maggior parte delle equazioni descrittive del trasporto.

$$C_t = a(VS - VS_{cr})^b \quad (20)$$

Espressa in forma logaritmica diventa:

$$\text{Log}C_t = 6.681 - 0.633\log\omega d_m v - 0.282\log u^* \omega + (2.784 - 0.305\omega d_m v - 0.282\log u^* \omega)\log(VS\omega - V_{cr}S\omega) , \quad (21)$$

dove:

C_t = Concentrazione totale dei sedimenti

ω = Velocità di caduta delle particelle

d_m = Diametro medio delle particelle

ν = Viscosità cinematica

u^* = Velocità di taglio

V = Velocità media canale

S = Gradiente energetico

Come si può osservare, la potenza e il coefficiente dell'equazione sono funzioni che includono parametri adimensionali. Tuttavia, oltre ad una funzione che descriva al meglio come avviene il trasporto, è di fondamentale importanza utilizzare un corretto schema descrittivo della velocità di caduta delle particelle durante il moto, poiché

rappresenta un fattore implicito che considera anche la soglia di movimento delle particelle e la loro risposta alla sollecitazione al taglio.

A tal fine occorre utilizzare l'equazione di *Soulsby* (1997), per la quale è necessario quantificare lo sforzo di taglio tramite la curva di *Shields* (Fig. 48), che mette in relazione lo sforzo critico di taglio (adimensionale) con il relativo numero di *Reynolds* (Re).

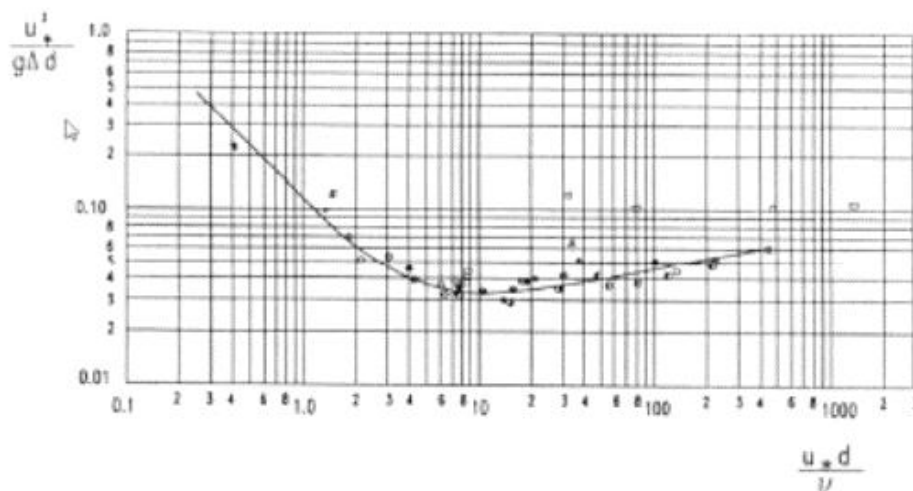


Figura 48 – Curva di Shields.

Questa equazione, dal punto di vista descrittivo, integra l'equazione del carico del letto, su un periodo d'onda caratterizzato da una componente oscillatoria sinusoidale, e, considerando le direzioni come componenti separate, ottenendo, così, i valori Φ_{bc} lungo le direzioni parallela e perpendicolare alla corrente:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{bc,1} &= 12\sqrt{\theta_m}(\theta_m - \theta_{cr,n}) \\
 \Phi_{bc,1} &= 12(0.95 + 0.19\cos 2\Phi_w)\sqrt{\theta_w}\theta_m \\
 \Phi_{bc,1} &= f_n \max [\Phi_{bc,1}, \Phi_{bc,2}] \\
 \Phi_{bn} &= f_n \frac{12(0.19\theta_m\theta_w^2 \sin \Phi_w)}{\theta_w^{1.5} + 1.50m^{1.5}} \quad (22),
 \end{aligned}$$

dove:

θ_m rappresenta il valore di angolo di oscillazione medio per il ciclo d'onda preso in considerazione;

θ_w rappresenta l'ampiezza della componente oscillatoria di θ e l'angolo tra corrente e direzione di propagazione dell'onda;

Il valore massimo del parametro Shields θ_{max} sul ciclo d'onda viene calcolato come segue:

$$\theta_{max} = \sqrt{\theta_m^2 + \theta_w^2 + 2\theta_m\theta_w\cos^2\Phi_w} \quad (23)$$

Calibrare il modello con l'equazione di *Soulsby* e con quella di *Yang* permette lo sviluppo di ben 8 dinamiche d'interazione fra moto generato dall'acqua e sforzi sul fondo, garantendo, quindi, una risposta accurata e rappresentativa dei processi studiati.

Completata la fase di calibrazione delle equazioni descrittive del moto che operano nel sistema, sono stati calibrati i parametri di stabilità numerica della soluzione stessa al fine di ottenere risultati congrui, caratterizzati da percentuali di errore quanto più possibile prossime allo 0.

L'approccio delle differenze finite impone la definizione e l'utilizzo della condizione Courant-Friedrichs-Lewy (CFL), necessaria al fine di ottenere la giusta convergenza numerica della soluzione di alcune equazioni alle derivate parziali.

La condizione CFL è spesso utilizzata nell'impiego di schemi numerici espliciti temporali (come il caso in esame) e, per ottenere la giusta convergenza numerica ed evitare che la simulazione produca risultati scorretti, si basa su due presupposti: Che il passo temporale sia più piccolo di un determinato intervallo di tempo e che la maglia di campionamento sia quanto più piccola possibile. In tal senso è importante ricordare che la distanza tra due punti adiacenti della griglia può essere ridotta, riducendo così anche il limite superiore dell'intervallo temporale. Alla luce di ciò, grazie alla condizione CFL imposta per quei termini delle equazioni alle derivate parziali che rappresentano termini advettivi, relativi, cioè, ai moti orizzontali o prevalentemente orizzontali, si ha una fedele e precisa descrizione dei fenomeni agenti, senza rischiare un sottocampionamento o sovrannumero di informazioni.

Per un caso bidimensionale, come quello di studio, la condizione CFL è scritta come:

$$C = \frac{u_x \Delta t}{\Delta x} + \frac{u_y \Delta t}{\Delta y} < C_{max} \quad (24),$$

dove:

C = numero di Courant

C_{max} = numero di Courant massimo (in uno schema esplicito si considera pari ad 1)

u = velocità di flusso

Δx e Δy = intervallo spaziale lungo gli assi

Tale metodologia risulta limitante per il passo temporale; in queste condizioni si possono, quindi, applicare metodologie numeriche implicite. A seguito di opportuni calcoli, il passo di campionamento derivato è di 10 secondi, anche in virtù della maglia di calcolo costruita (10×10).

Il tempo di simulazione scelto è di otto ore, tempo necessario affinché il deflusso prodotto dall'*input* pluviometrico si esaurisca, anche in termini di risposta del bacino.

I parametri precedentemente impostati hanno consentito la simulazione dei diversi scenari, i quali mettono in evidenza l'effettivo impatto degli incendi sul ruscellamento. A conferma di tale ipotesi, nelle figure di sintesi delle simulazioni, si osserva un netto aumento di velocità (Figg. 49, 50 e 51), tirante (Figg. 52, 53, 54 e 55) ed erosione e deposizione (Figg. 56, 57, 58 e 59). L'area di inondazione mostra, infatti, una maggiore estensione nelle simulazioni che considerano l'effetto degli incendi. Oltre ad un aumento delle portate, essendo maggiori i quantitativi d'acqua che raggiungono l'area a valle, viene modificato anche il pattern di distribuzione del tirante, il quale mostra una tendenza ad incanalarsi in sinistra idraulica. Sono state, inoltre, eseguite le simulazioni anche considerando l'azione della principale briglia.

Quest'ultima mostra la propria efficacia nell'operare il trattenimento dei materiali. Considerando, infatti, i tassi di accumulo, si presume che solo con l'azione di più eventi possa condizionarne l'efficacia.

Carta della velocità del tirante pre incendio 1:20000

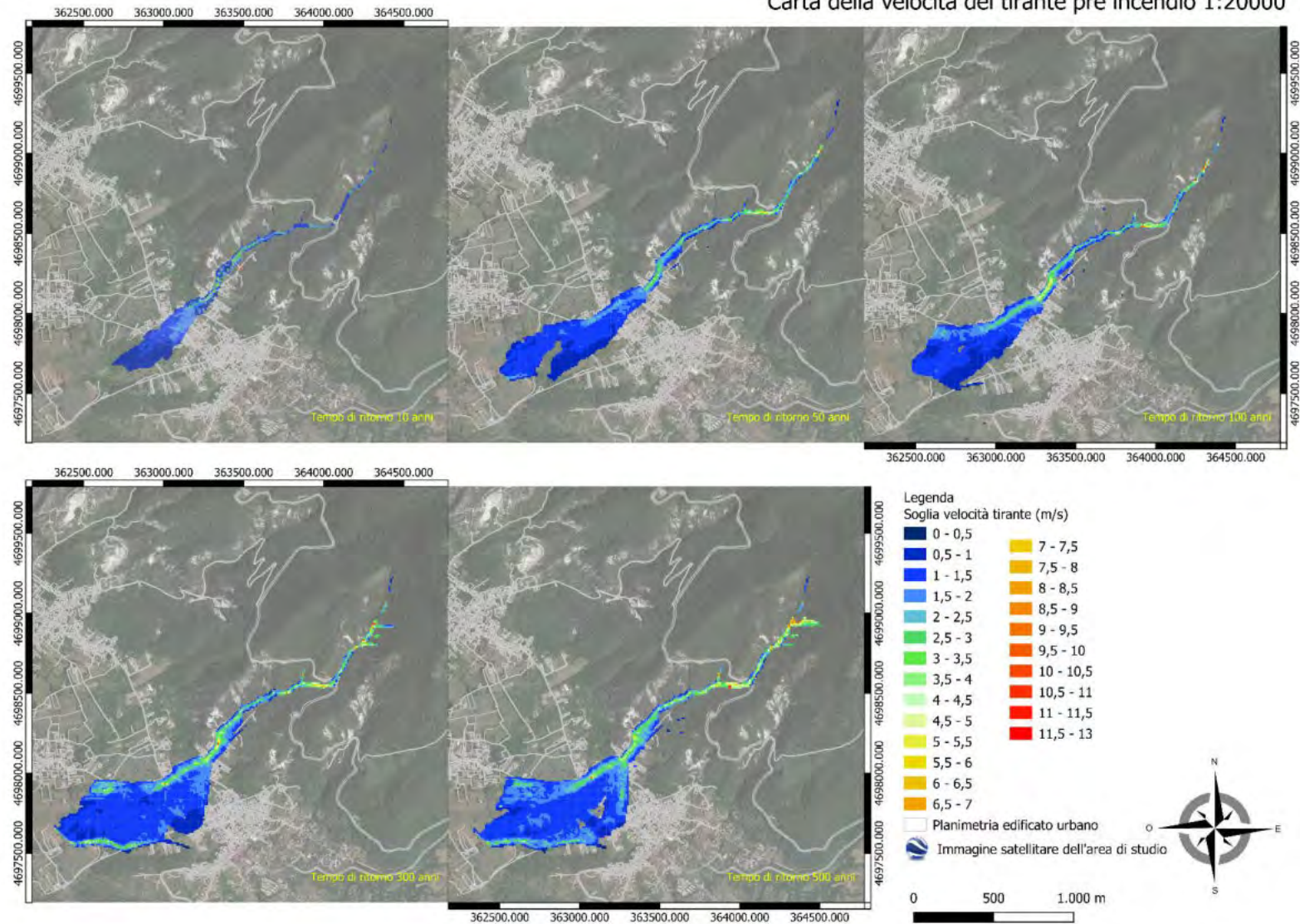


Figura 49 – Carta delle velocità del tirante pre-incendio.

Carta della velocità del tirante post incendio 1:20000

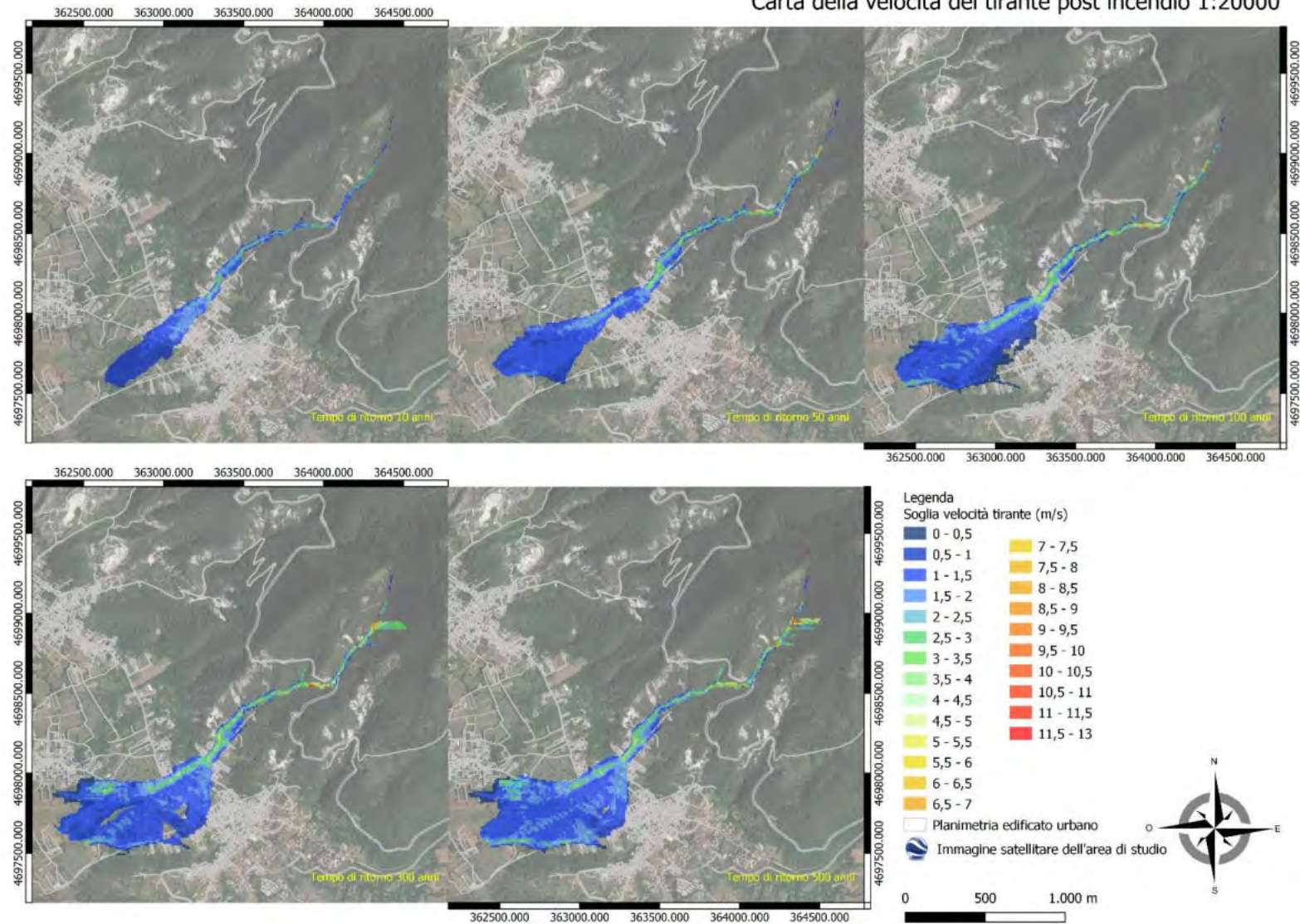


Figura 50 – Carta delle velocità del tirante post-incendio.

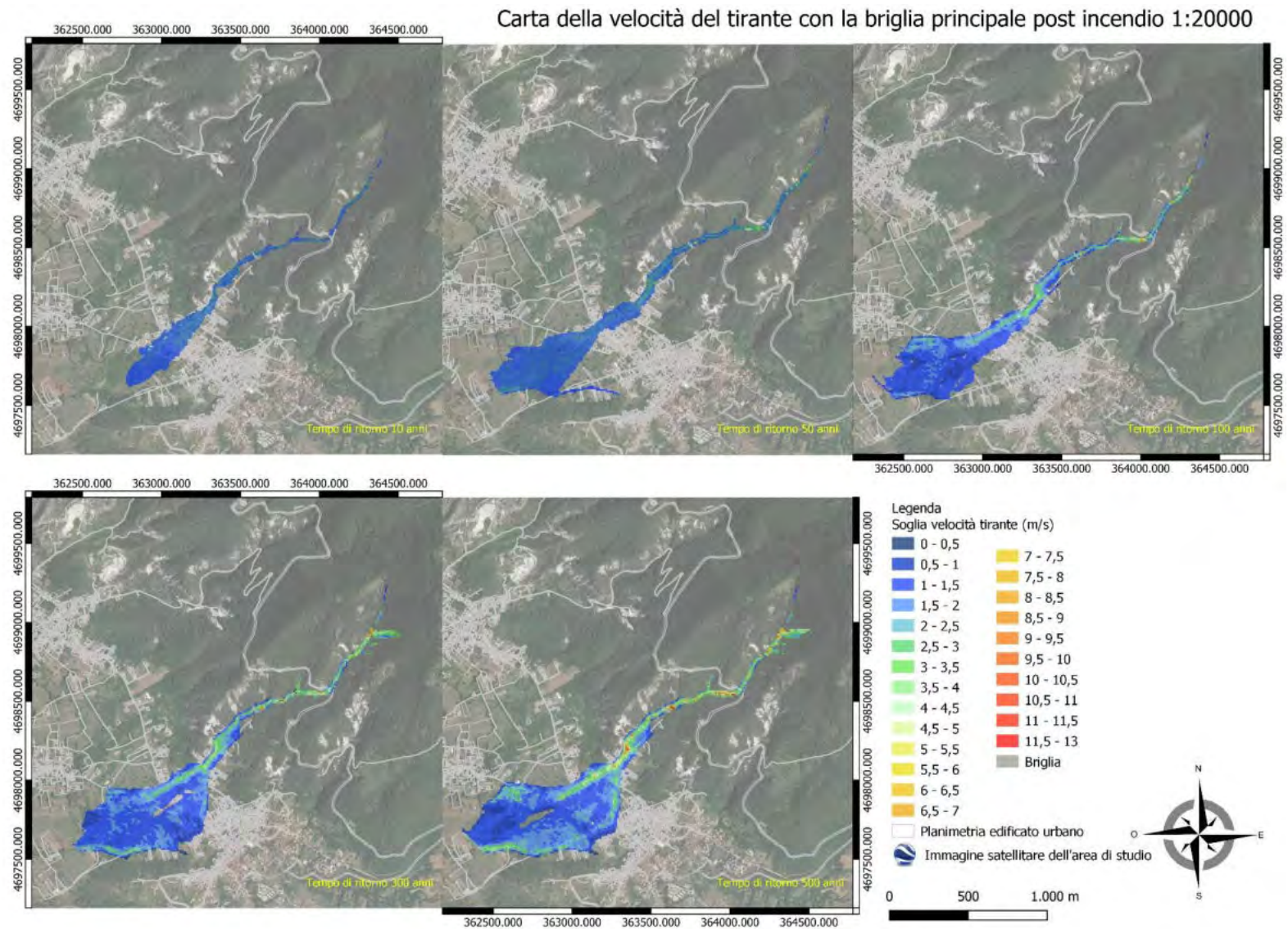


Figura 51 – Carta delle velocità del tirante post-incendio considerando la presenza della briglia.

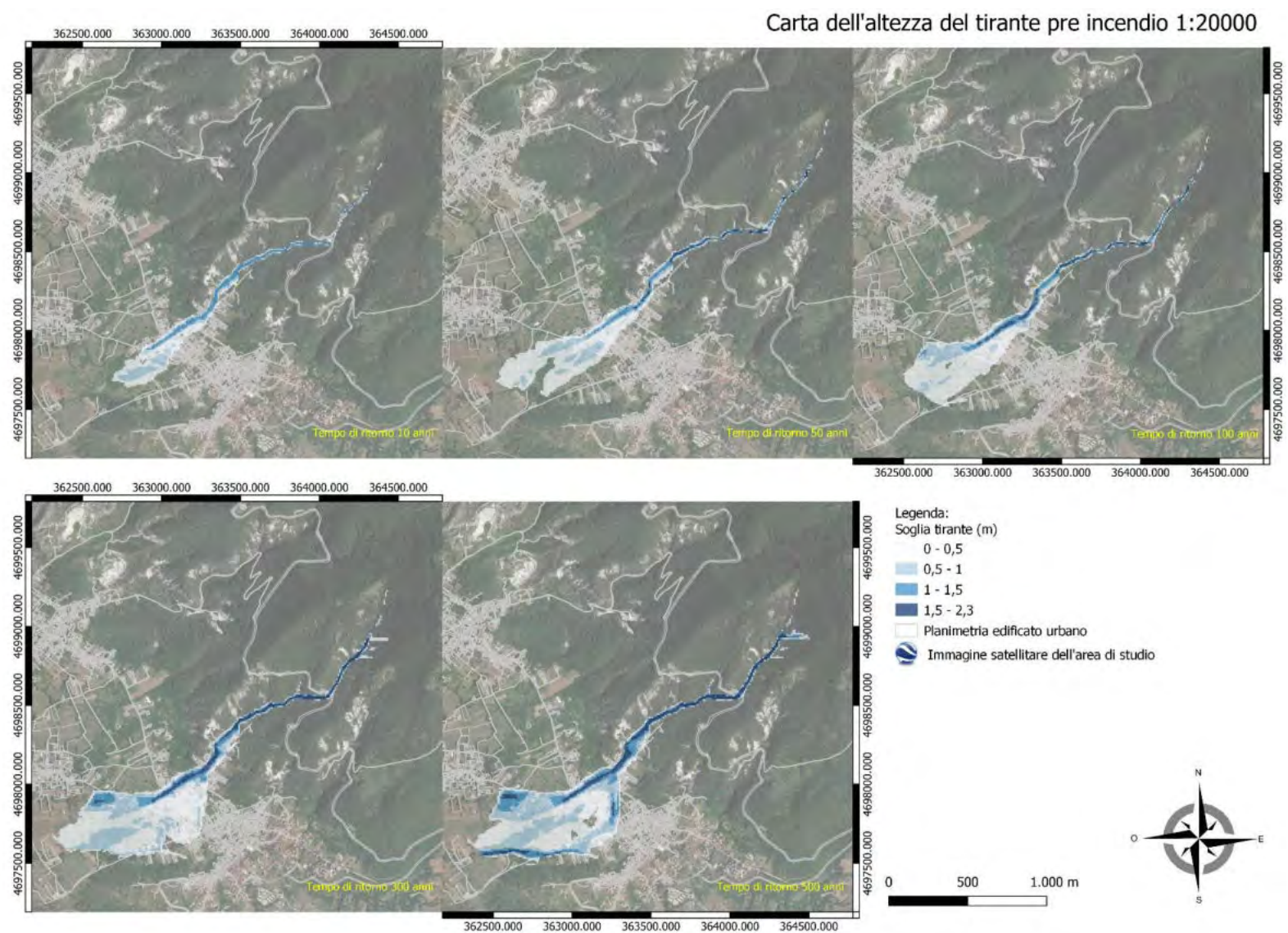


Figura 52 – Carta dell'altezza del tirante pre-incendio.

Carta dell'altezza tirante post incendio 1:20000

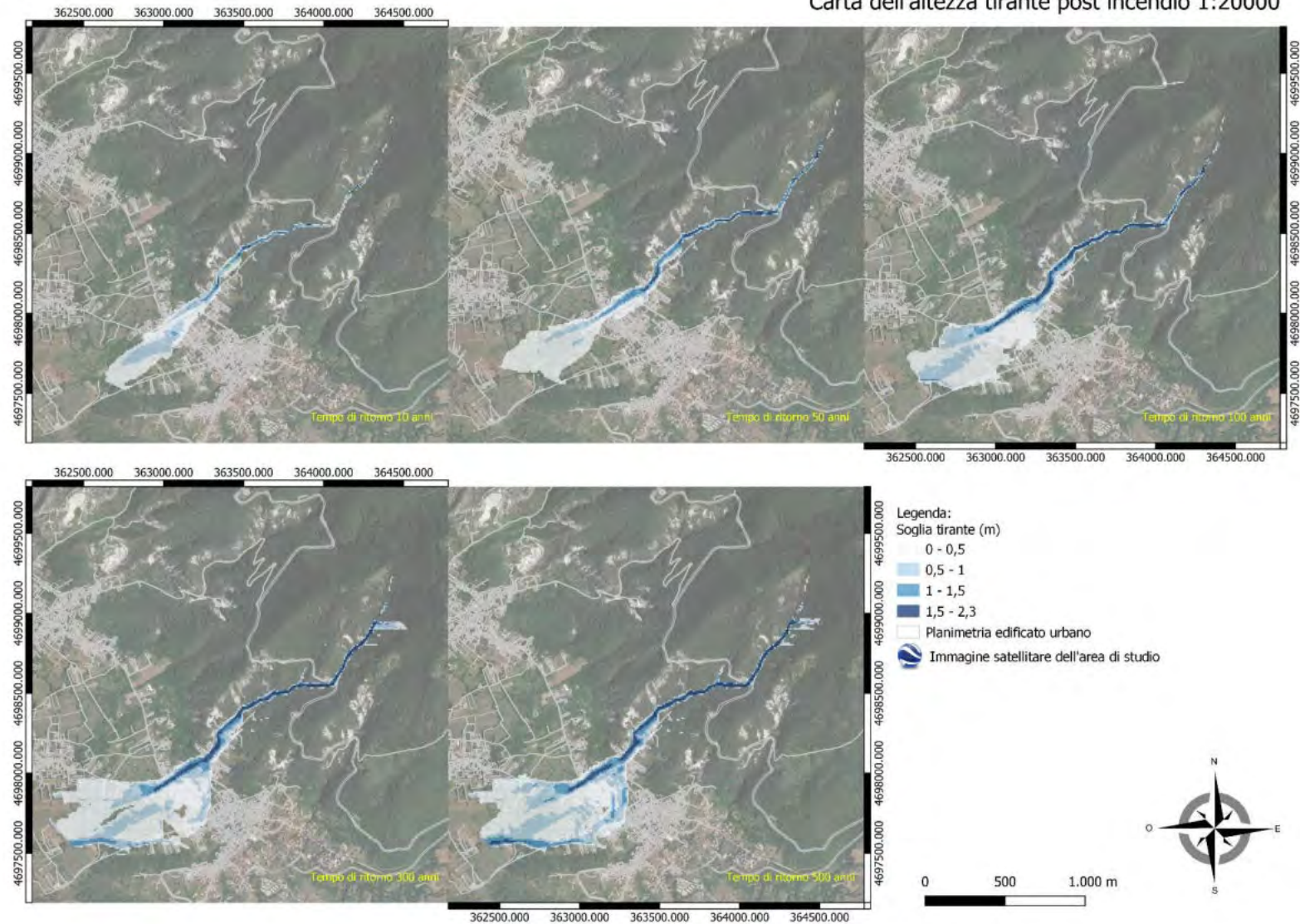


Figura 53 – Carta dell'altezza del tirante post-incendio.

Carta dell'altezza tirante con la briglia principale post incendio 1:20000

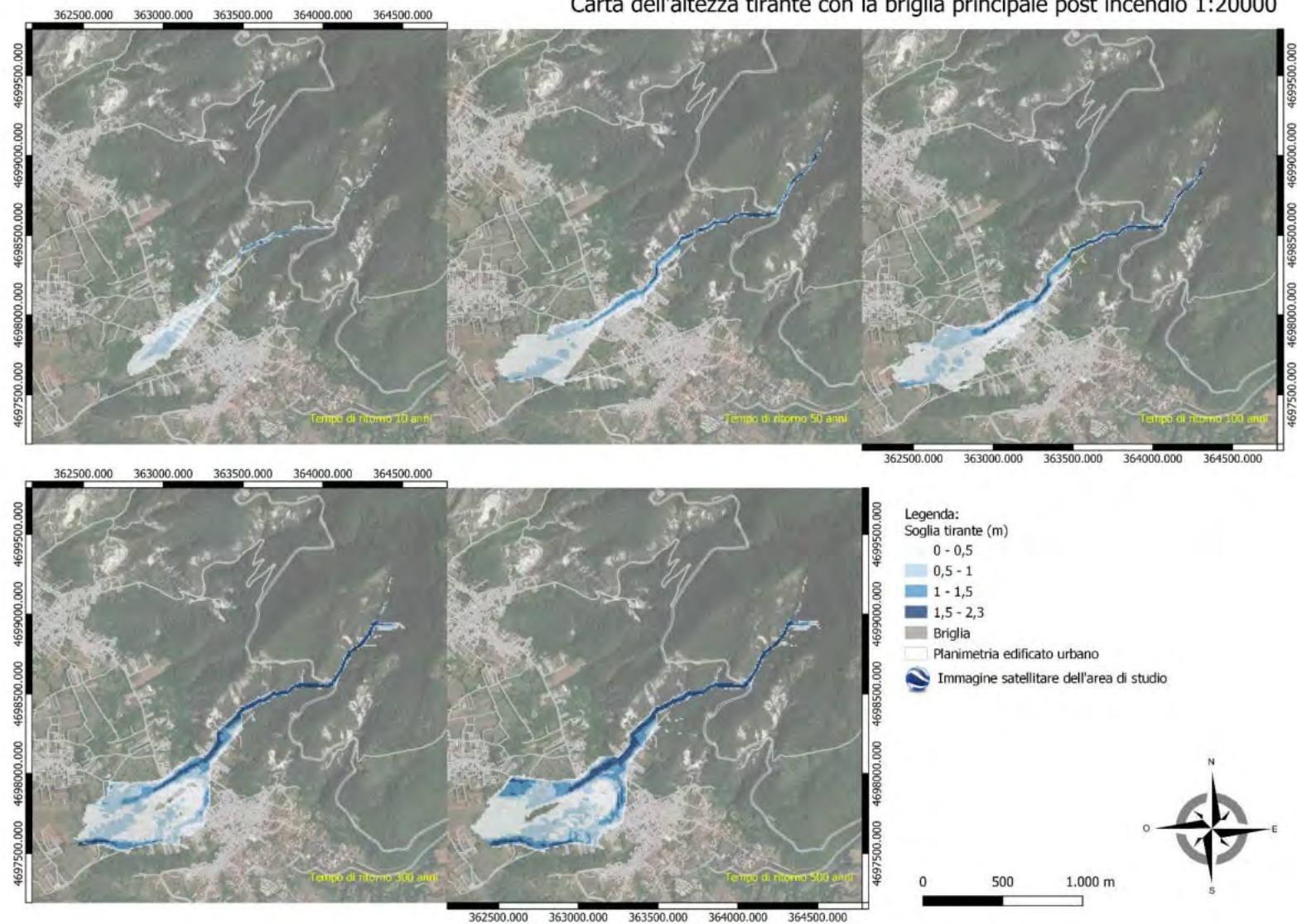


Figura 54 – Carta dell'altezza del tirante pre-incendio considerando la presenza della briglia.

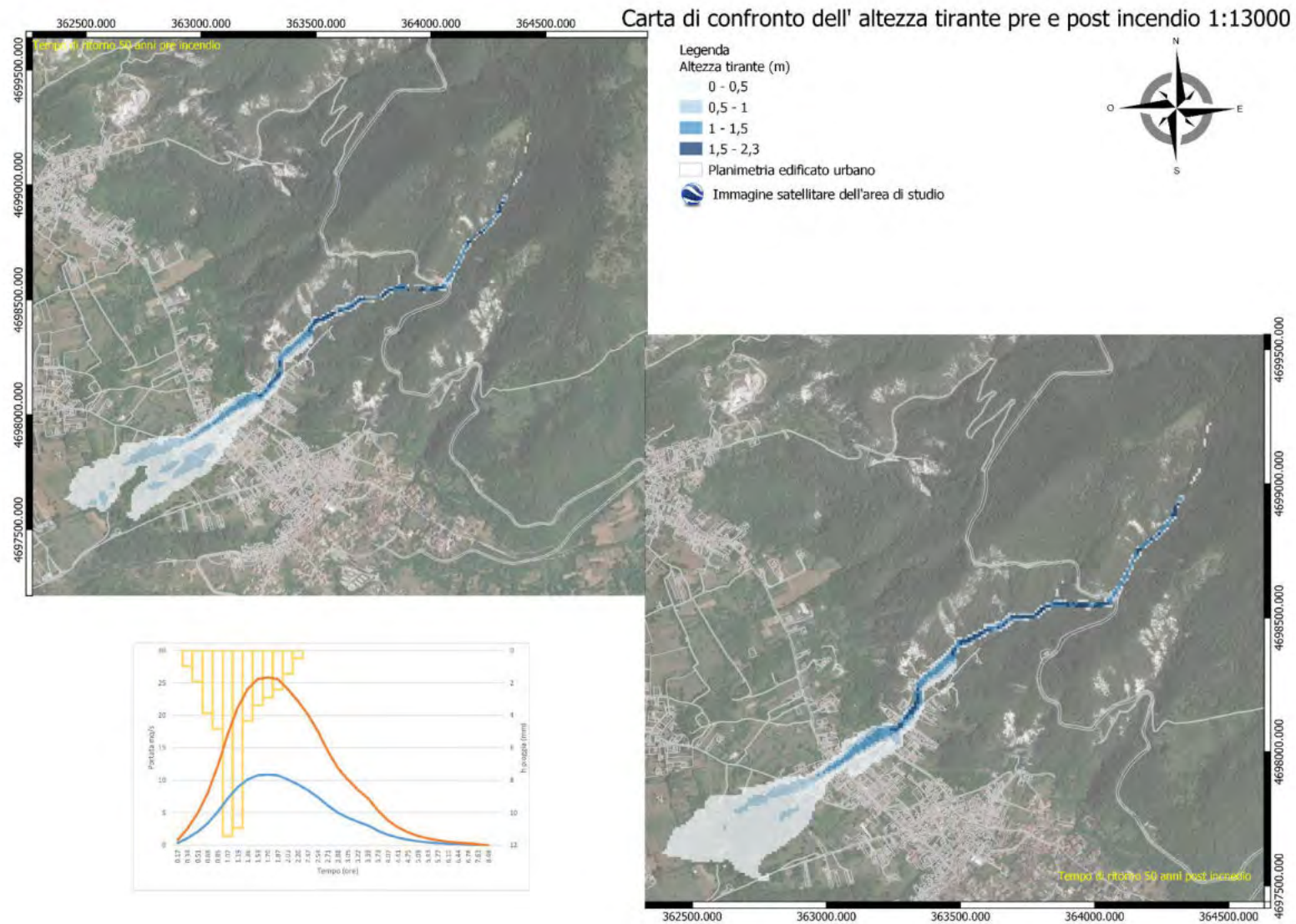


Figura 55 – Carta di confronto dell'altezza del tirante pre-incendio e post-incendio.

Carta di erosione e deposizione pre incendio 1:20000

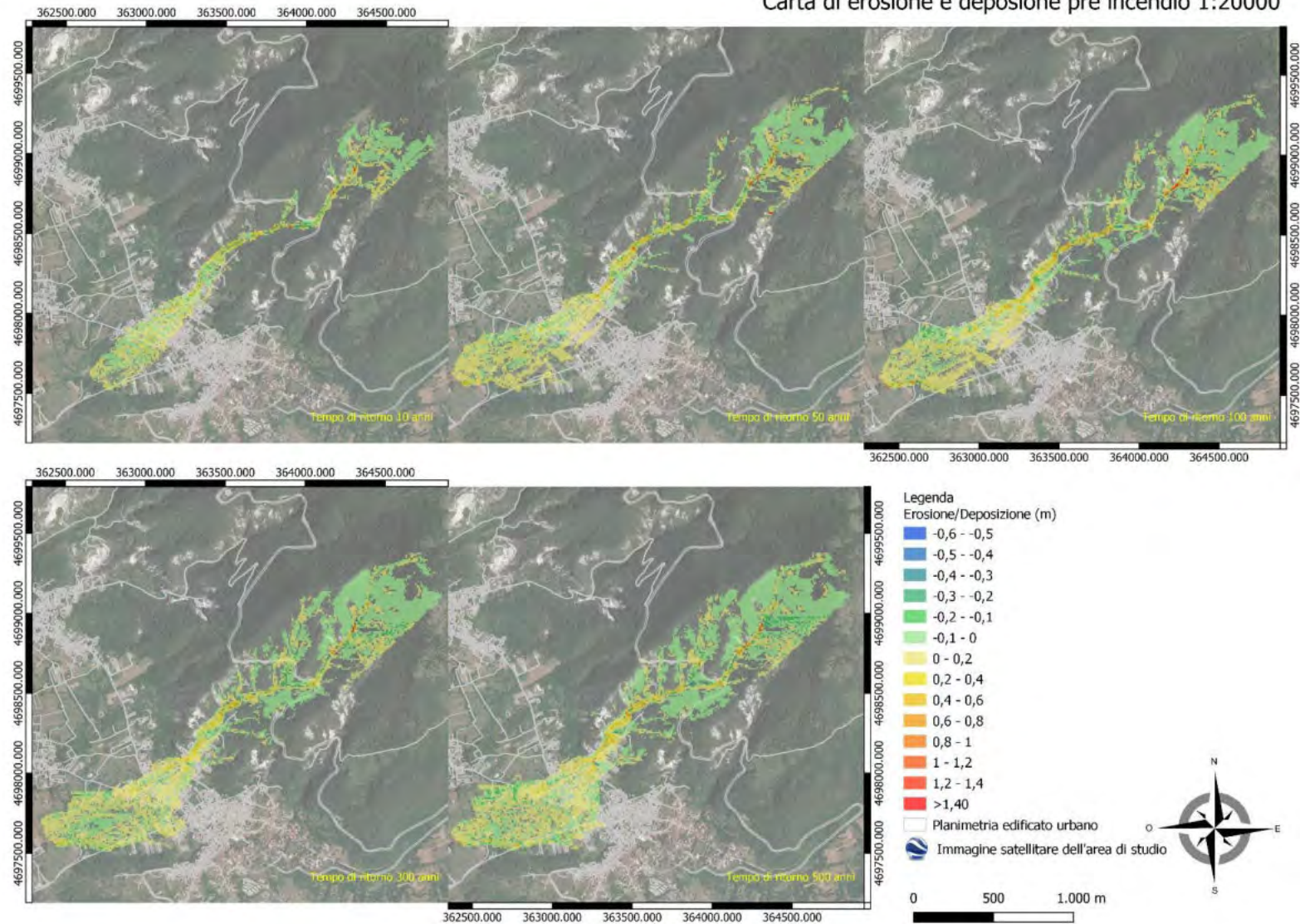


Figura 56 – Carta del grado di erosione e deposizione pre-incendio.

Carta di erosione e deposizione post incendio 1:20000

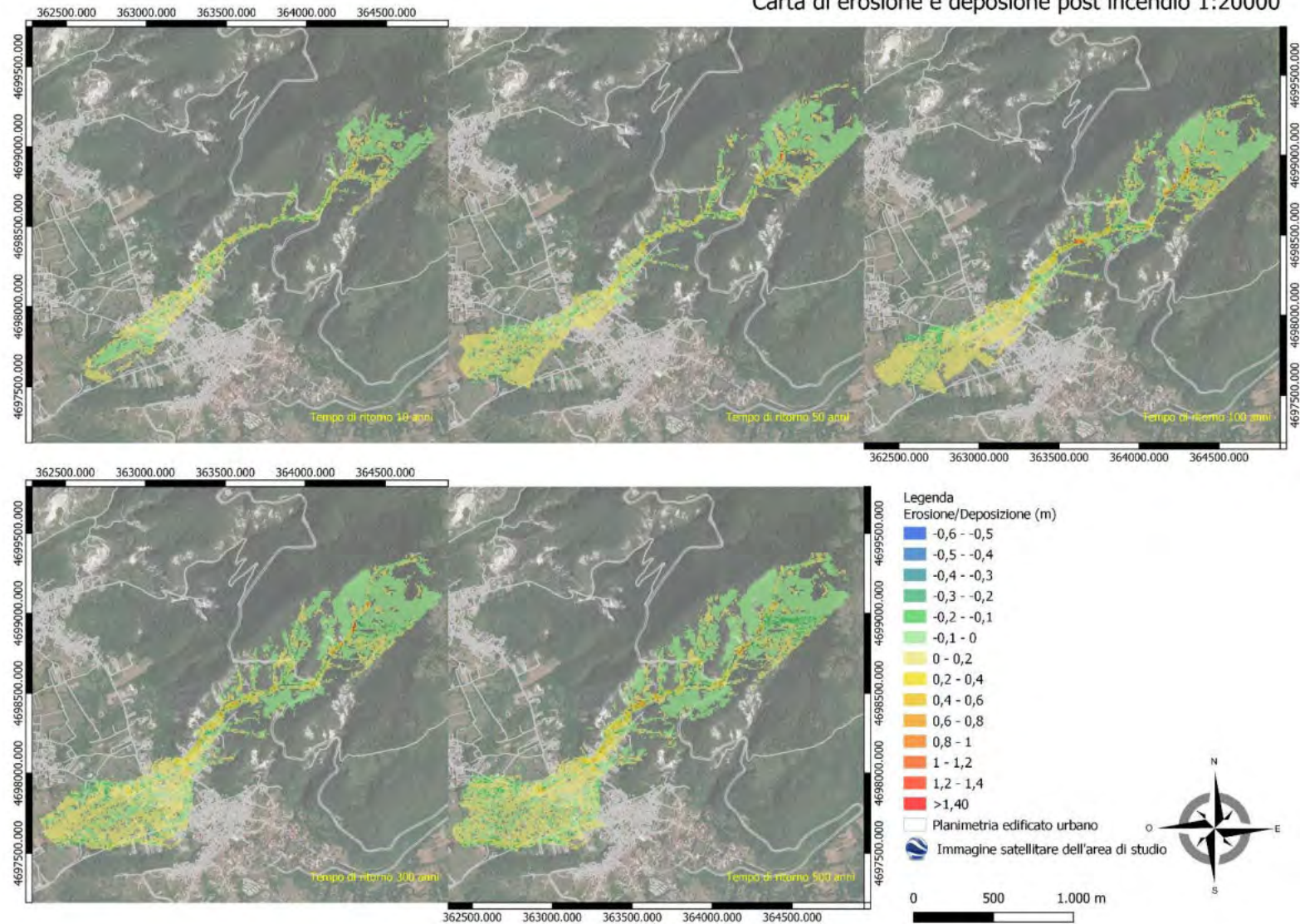


Figura 57 – Carta del grado di erosione e deposizione post-incendio.

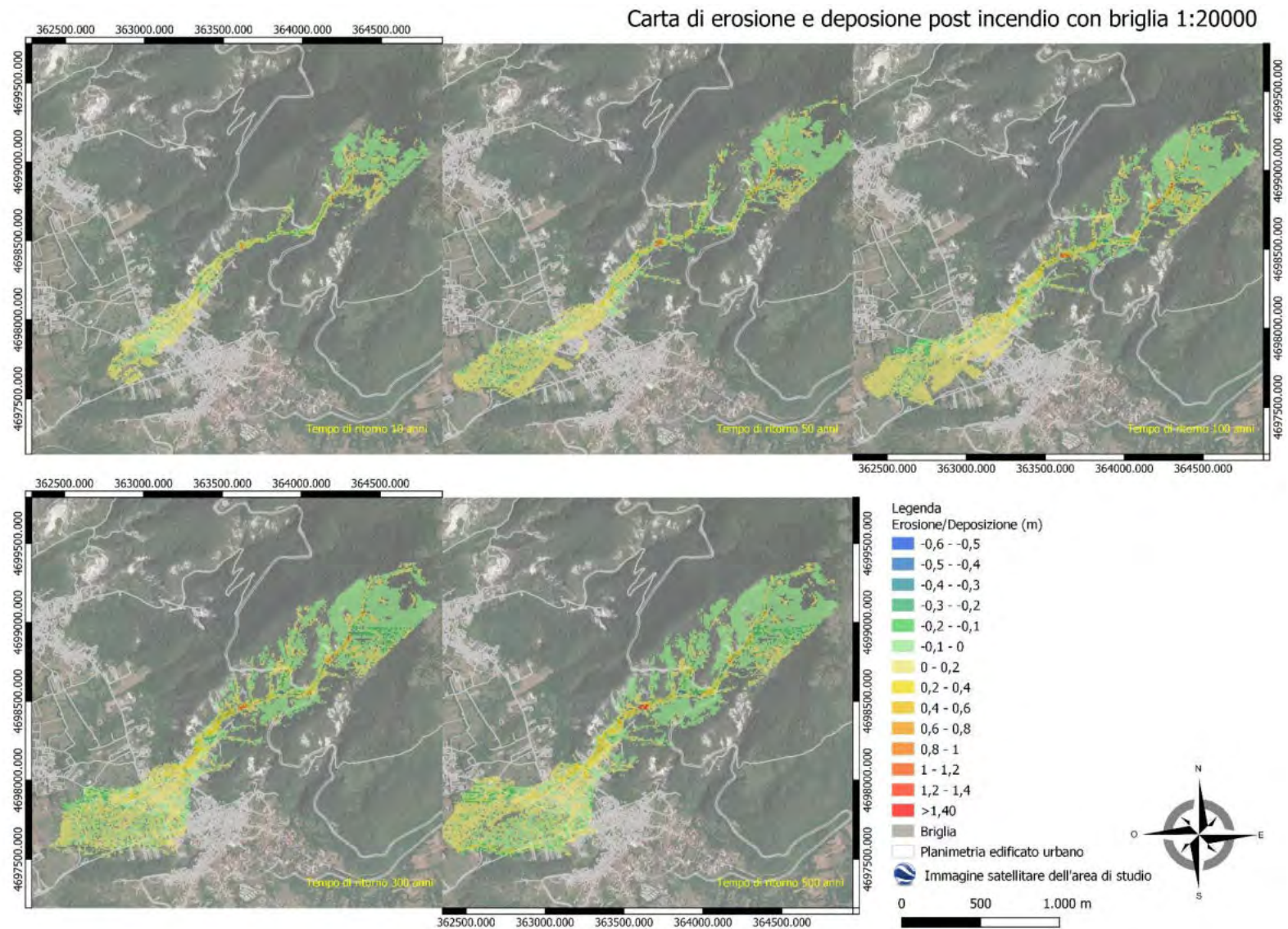


Figura 58 – Carta del grado di erosione e deposizione post-incendio considerando la presenza della briglia.

RELAZIONE CONCLUSIVA – Accordo di programma per lo studio della pericolosità idrogeologica nelle aree interessate dagli incendi dell'estate 2020 nel comune di L'Aquila - DGR n. 250 del 13/05/2021

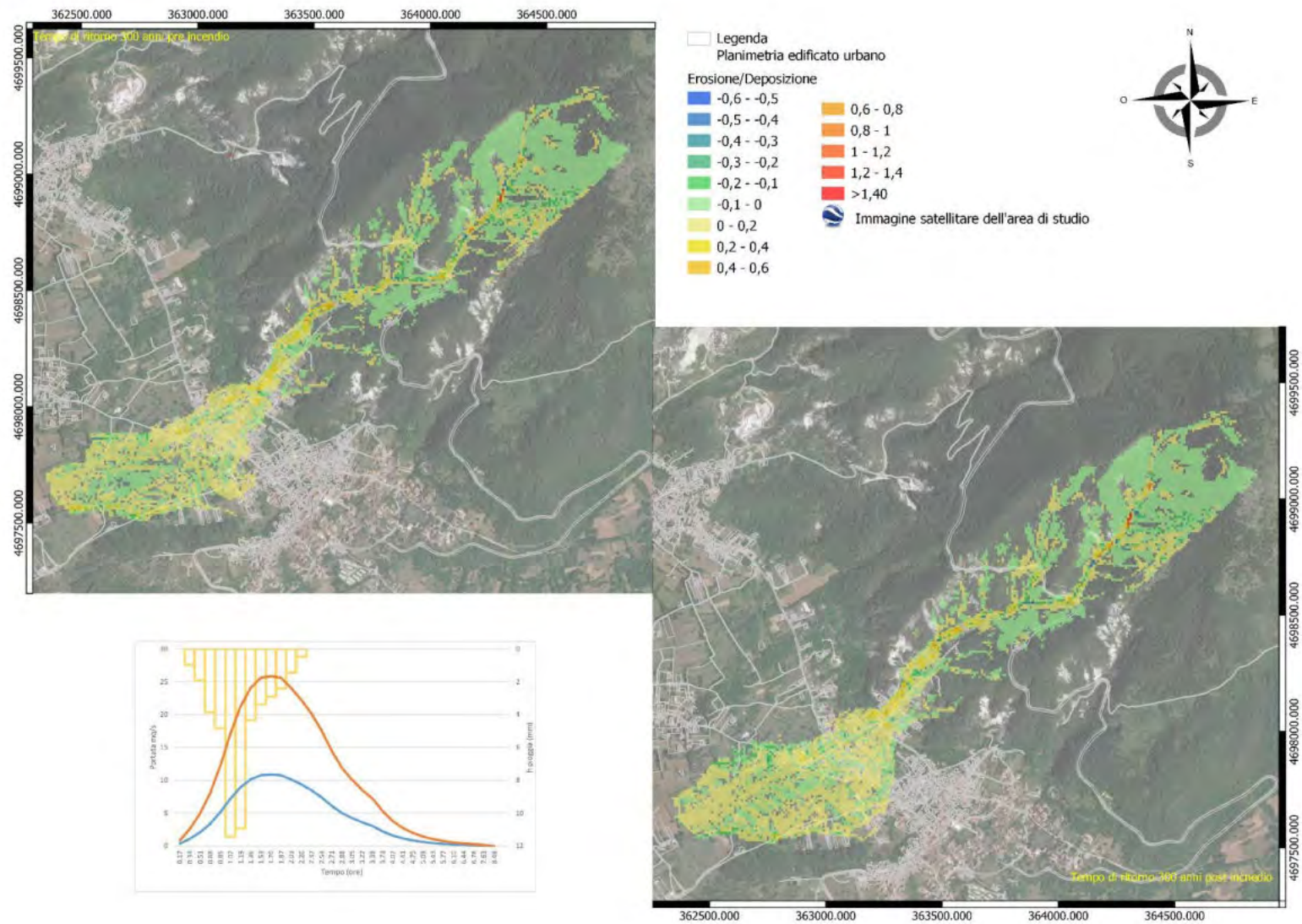


Figura 59 – Carta di confronto di erosione e deposizione pre-incendio e post-incendio

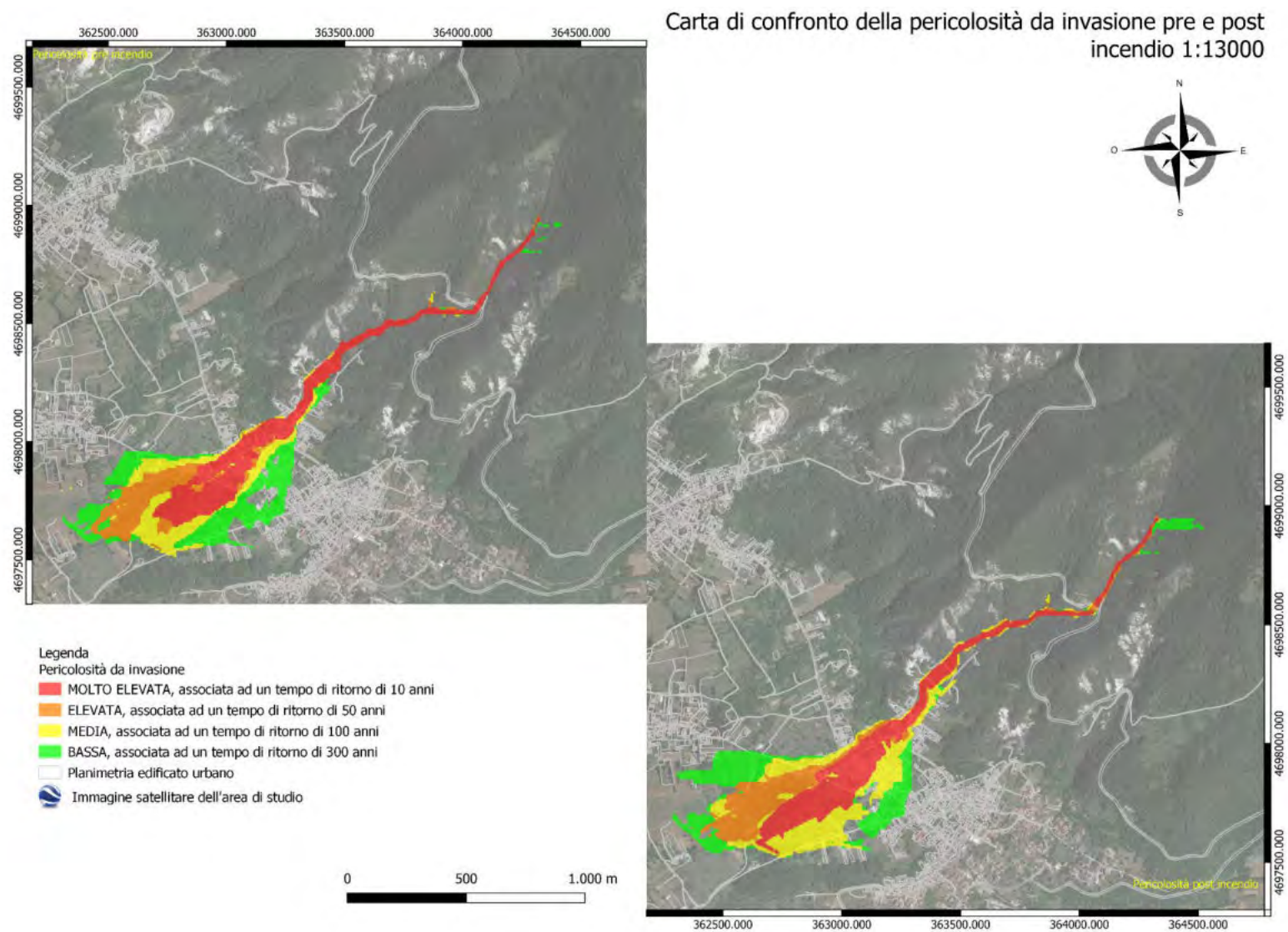


Figura 60 – Carta di confronto della pericolosità da invasione pre-incendio e post-incendio.

La briglia, dimensionata a seguito di misurazioni effettuate durante il rilevamento, trattiene efficacemente i materiali provenienti da monte, per tempi di ritorno di 10 e 300 anni. Il picco di accumulo dietro alla briglia, infatti, risulta pari a circa 1.25 m, valore massimo registrato per le simulazioni eseguite (Fig. 61).

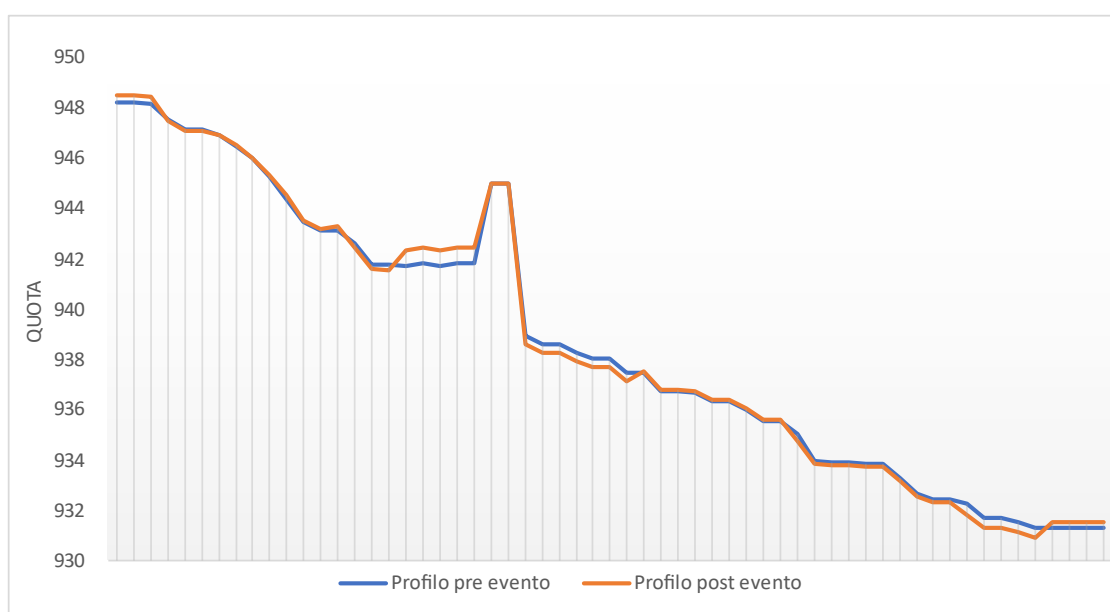


Figura 61 – Profilo altimetrico dell'area in prossimità della briglia principale considerata

10. CARTE DELLA PERICOLOSITA' E DEL RISCHIO

L'Autorità dei Bacini di Rilievo Regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro, sotto la cui competenza ricade il bacino di nostro interesse, intende la Pericolosità in maniera semplificata e tiene conto solo di una parte del complesso dei caratteri spazio-temporali del dissesto. In sostanza, il concetto di pericolosità è stato svincolato da previsioni probabilistiche temporali. In questo modo si esprime il grado di pericolosità relativa, ovvero la probabilità di occorrenza relativa del dissesto fra le diverse porzioni di territorio senza dare indicazioni temporali circa il suo verificarsi.

In pratica, la definizione canonica di Pericolosità quale “probabilità che un fenomeno di dissesto di determinata intensità si verifichi in una determinata area in un determinato intervallo di tempo”, è stata semplificata come segue: probabilità che un fenomeno di dissesto si verifichi in una determinata area.

Per questo lavoro, però, trattandosi di uno studio di dettaglio alla scala del versante e di fenomeni già notoriamente attivi, si è deciso di tenere invece conto dei tempi di ritorno dei fenomeni in questione, considerandoli come principale fattore dell'analisi di pericolosità da invasione.

I livelli di pericolosità sono stati dunque associati direttamente ai tempi di ritorno del fenomeno studiato permettendo una classificazione in 4 categorie: 10, 50, 100, 300 anni (Fig. 62).

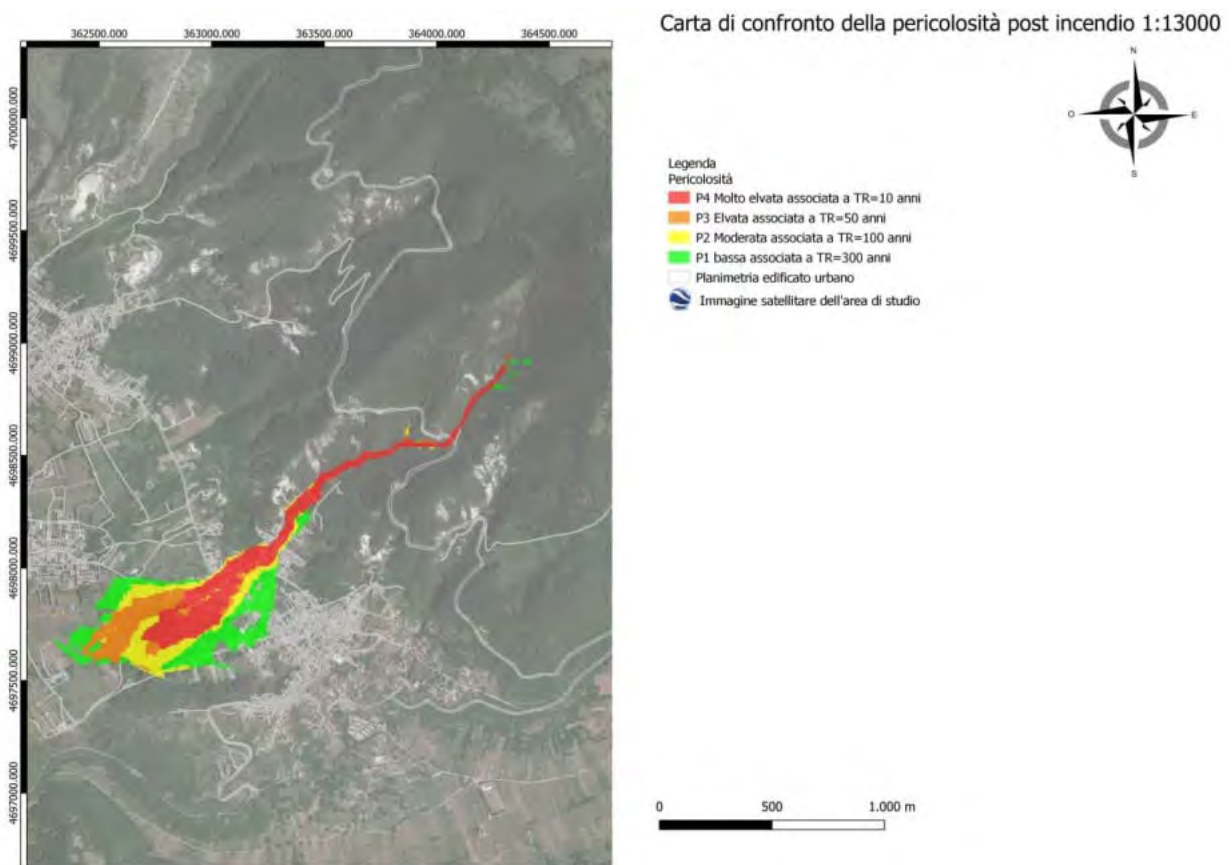


Figura 62 – Stralcio della Carta della Pericolosità riproiettata (1:13000).

Per ciò che concerne invece il concetto di rischio, l'AdB lo definisce con la formulazione semplificata: $R = P \times W$ che prevede la determinazione della pericolosità (P) e del valore degli elementi a rischio (W). Come specificato dall'Autorità di Bacino, questa definizione è comunque conforme al dettato della L. 267/98 e del successivo atto di indirizzo (D.P.C.M. 29/09/98) per i quali la mappatura delle aree a rischio deve essere eseguita sulla base della sovrapposizione delle forme ricavate dalla Carta della pericolosità con la Carta degli insediamenti urbani ed infrastrutturali.

Fondamentale per il calcolo e la rappresentazione spaziale del rischio è la determinazione del valore degli elementi a rischio (W), termine con il quale si intendono tutte le attività produttive ed economiche, le infrastrutture, le proprietà e la popolazione (intesa in questo senso come agglomerati urbani) esistenti in un'area esposta ad un determinato pericolo e, pertanto, passibili di subire danni.

L'approccio prevede di assegnare un valore relativo ai diversi elementi a rischio, rappresentato dal seguente ordine di priorità:

1. Agglomerati urbani; Nuclei di edificazione diffusa;
2. Infrastrutture di rilievo regionale e nazionale (strade statali, autostrade, elettrodotti e gasdotti); Aree con insediamenti produttivi e con impianti tecnologici; Ferrovie;
3. Infrastrutture di rilievo locale (strade comunali e provinciali);
4. Aree di servizi pubblici e privati;
5. Aree sottoposte a vincoli;
6. Aree agricolo-forestali.

La scala dei valori è da intendersi come una scala relativa, nella quale i valori più alti sono assegnati agli elementi il cui eventuale danno provocato da un fenomeno franoso è più importante da un punto di vista economico e da un punto di vista sociale. In questo senso il valore più alto deve essere assegnato ai centri abitati, pensando che il valore per la vita umana (gli abitanti dei centri abitati) deve essere il più alto di una gestione e valutazione corretta del rischio; di contro, il valore più basso deve essere assegnato alle aree agricolo-forestali, ove non sono presenti attività industriali, infrastrutture ed edifici civili.

Dall'intersezione degli elementi urbani ed infrastrutturali con quelli riportati sulla Carta della Pericolosità deriva la Carta della Aree a Rischio (Fig. 63).

- R4 – molto elevato. Per il quale sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi agli edifici e alle infrastrutture, la distruzione di attività socioeconomiche;
- R3 – elevato. Per il quale sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, l'interruzione di funzionalità delle attività socioeconomiche;
- R2 – medio. Per il quale sono possibili danni minori agli edifici e alle infrastrutture che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche;
- R1 – moderato. Per il quale i danni sociali ed economici sono marginali.

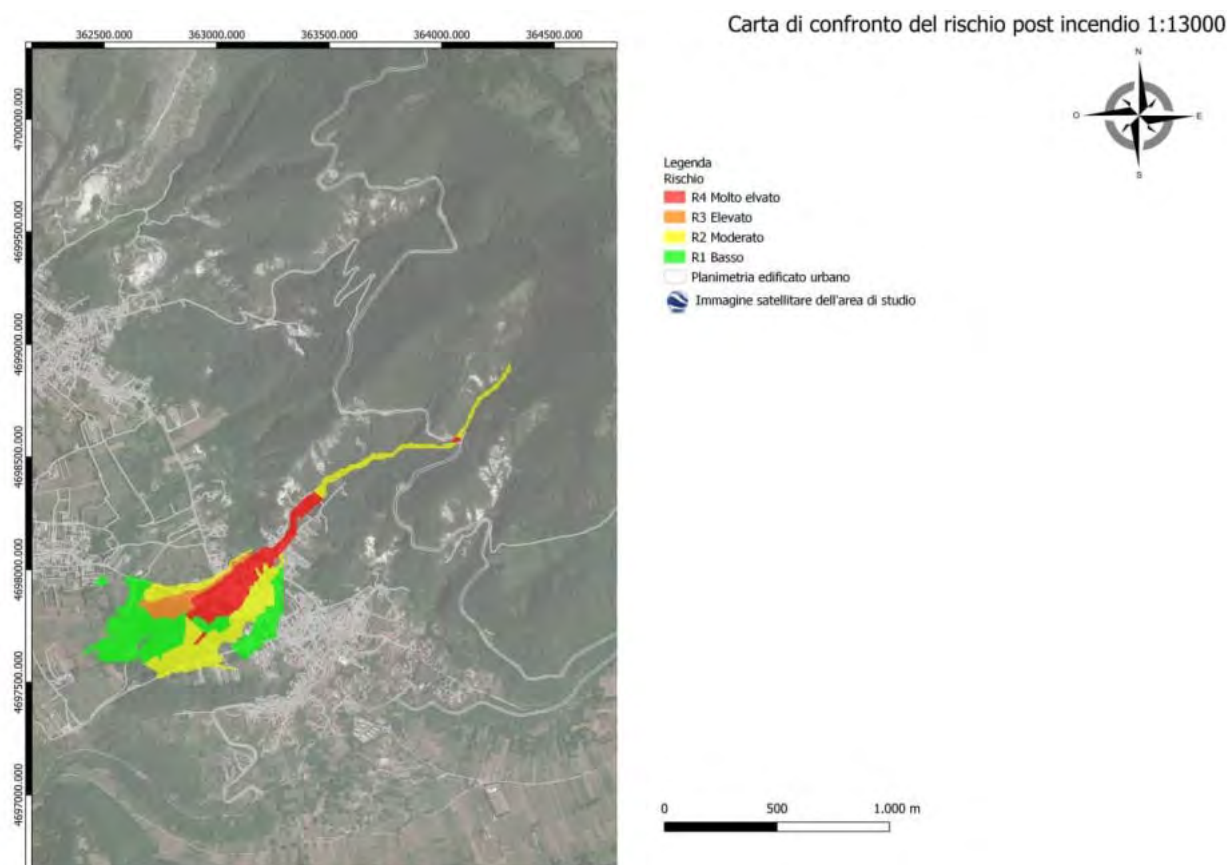


Figura 63 – Stralcio della Carta delle aree a Rischio con la nuova perimetrazione.

11. CONCLUSIONI

I risultati ottenuti mettono in evidenza gli effetti che gli incendi boschivi del luglio-agosto 2020 hanno avuto sulla Pericolosità e sul Rischio dei fenomeni erosivi e gravitativi già noti nell'area d'interesse.

Lo studio di dettaglio, alla scala del versante ha consentito, innanzitutto, una perimetrazione precisa delle aree interessate dagli incendi (in termini di severità ed estensione), e dei fenomeni erosionali e gravitativi (*debris-flow*) già noti nell'area e, inoltre, di fornire una nuova perimetrazione, con maggior precisione, della pericolosità da invasione e, conseguentemente, delle aree a rischio.

Da tali evidenze è possibile asserire, dunque, che gli incendi boschivi hanno aumentato l'estensione ed il grado di Pericolosità idrogeologica, e, quindi, del Rischio.

Tuttavia, è stata confermata l'efficacia delle opere di mitigazione (briglie) già presenti (Figg. 64 e 65).

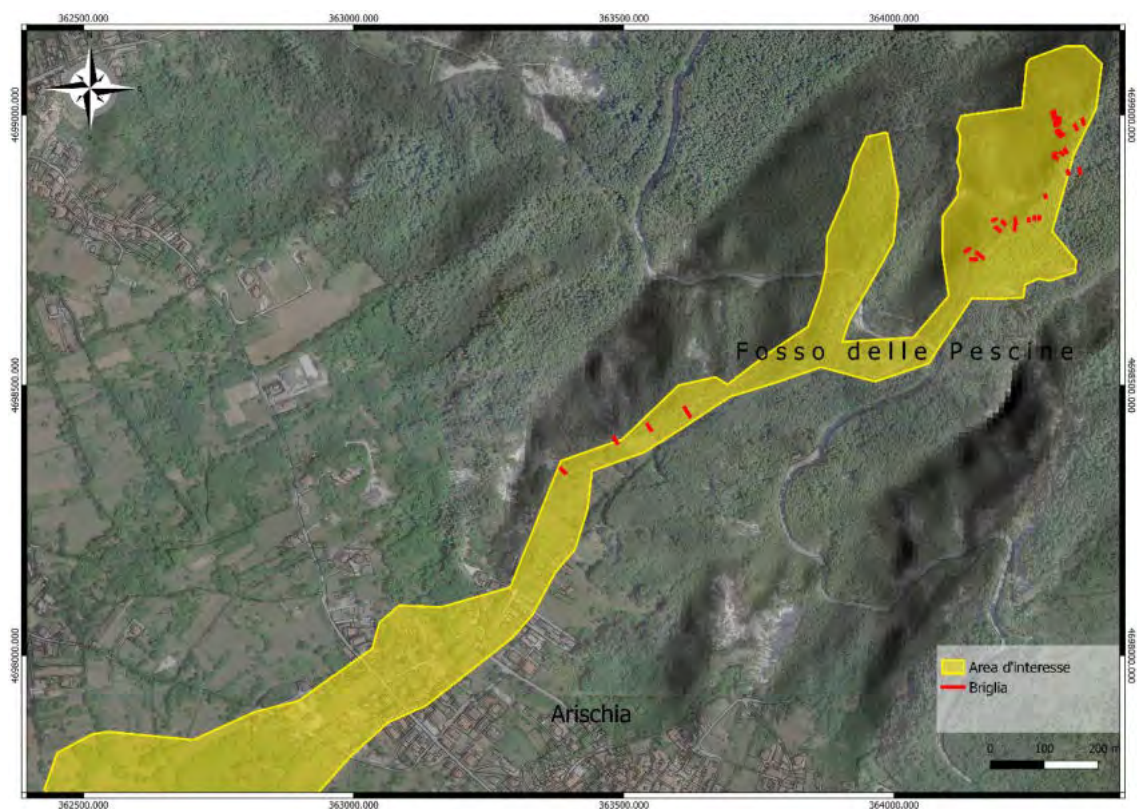


Figura 64 – Ubicazione delle opere di mitigazione del Rischio (briglie)



Figura 65 – Briglia principale del Fosso delle Pescine.

Queste ultime risultano, però, non particolarmente mantenute, arrivando, in alcuni casi, ad essere danneggiate, perdendo, così, la propria efficacia (Fig. 66).



Figura 66 – Briglia danneggiata osservata durante il rilevamento

Pertanto, anche a seguito dell'aggravarsi del grado di Pericolosità e Rischio conseguentemente agli incendi che hanno interessato l'area, si consiglia una maggiore manutenzione delle opere di mitigazione già presenti, al fine di garantirne la massima efficacia, condizione necessaria alla salvaguardia dei manufatti ricadenti nell'area a rischio.

Relativamente all'intero areale colpito dagli incendi del 2020 c'è da sottolineare che lo studio eseguito ha messo in evidenza che solo la zona A ha avuto un peggioramento delle condizioni di pericolosità idrogeologica, con l'instaurarsi di situazioni favorevoli all'innescò e propagazione di fenomeni di flusso detritico (debris-flow) ampiamente descritti con modellazioni numeriche e simulazioni. Per cui limitatamente alla zona A è stata fornita una nuova perimetrazione riportata nelle tavole allegate V e VI. Per la zona B rimane la perimetrazione presente nella attuale cartografia PAI (Piano Assetto Idrogeologico) dell'Autorità dei Bacino Distrettuale dell'Appennino Centrale (fig. 68).

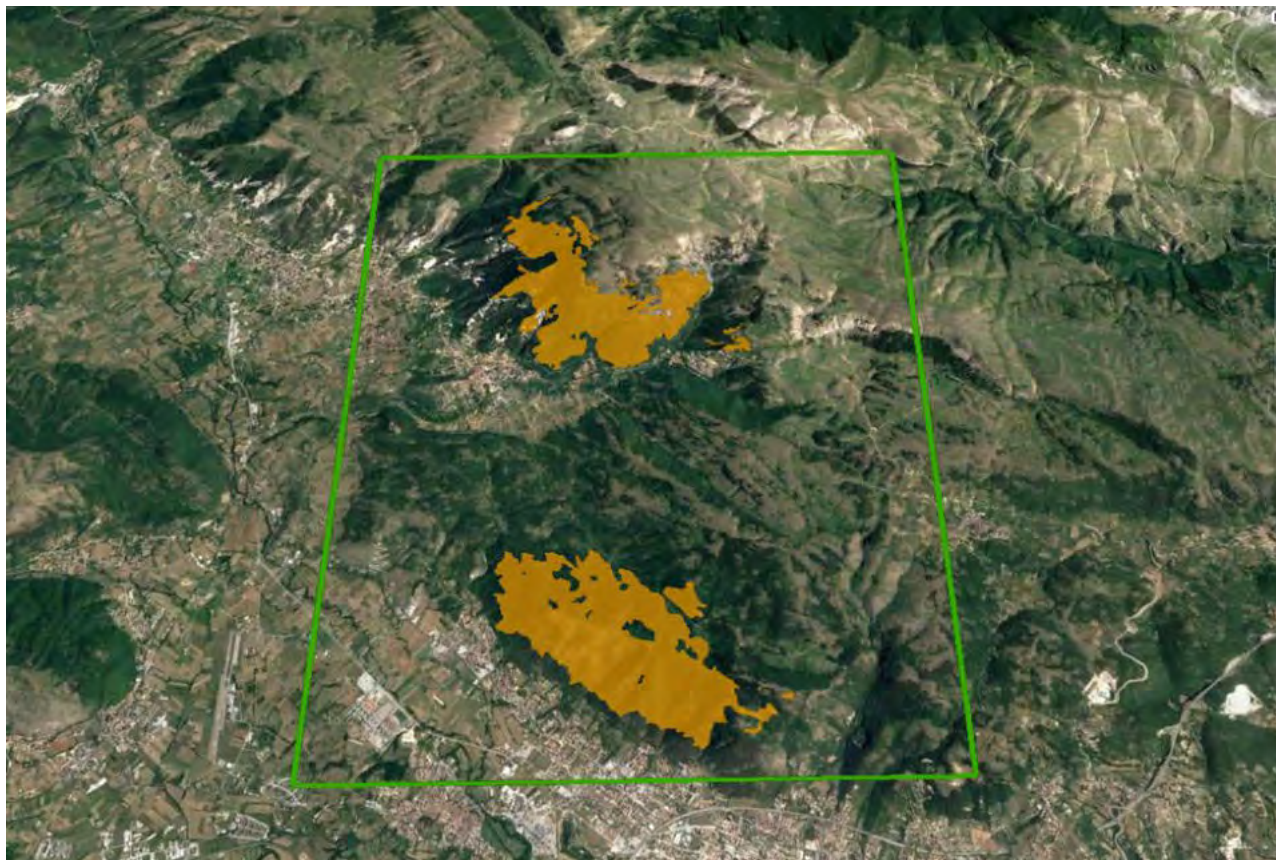


Figura 67 – Zone danneggiate dagli incendi dell'estate del 2020

Alla presente relazione sono allegate anche le TAV. 1 (Carta Geologica), TAV.2 (Carta Geomorfologica), TAV. 3 (Carta della Severità dell'Incendio) e TAV. 4 (Carta dell'Estensione dell'Incendio), delle aree indagate.

In fede:

Il Responsabile Scientifico

Prof. Nicola Sciarra

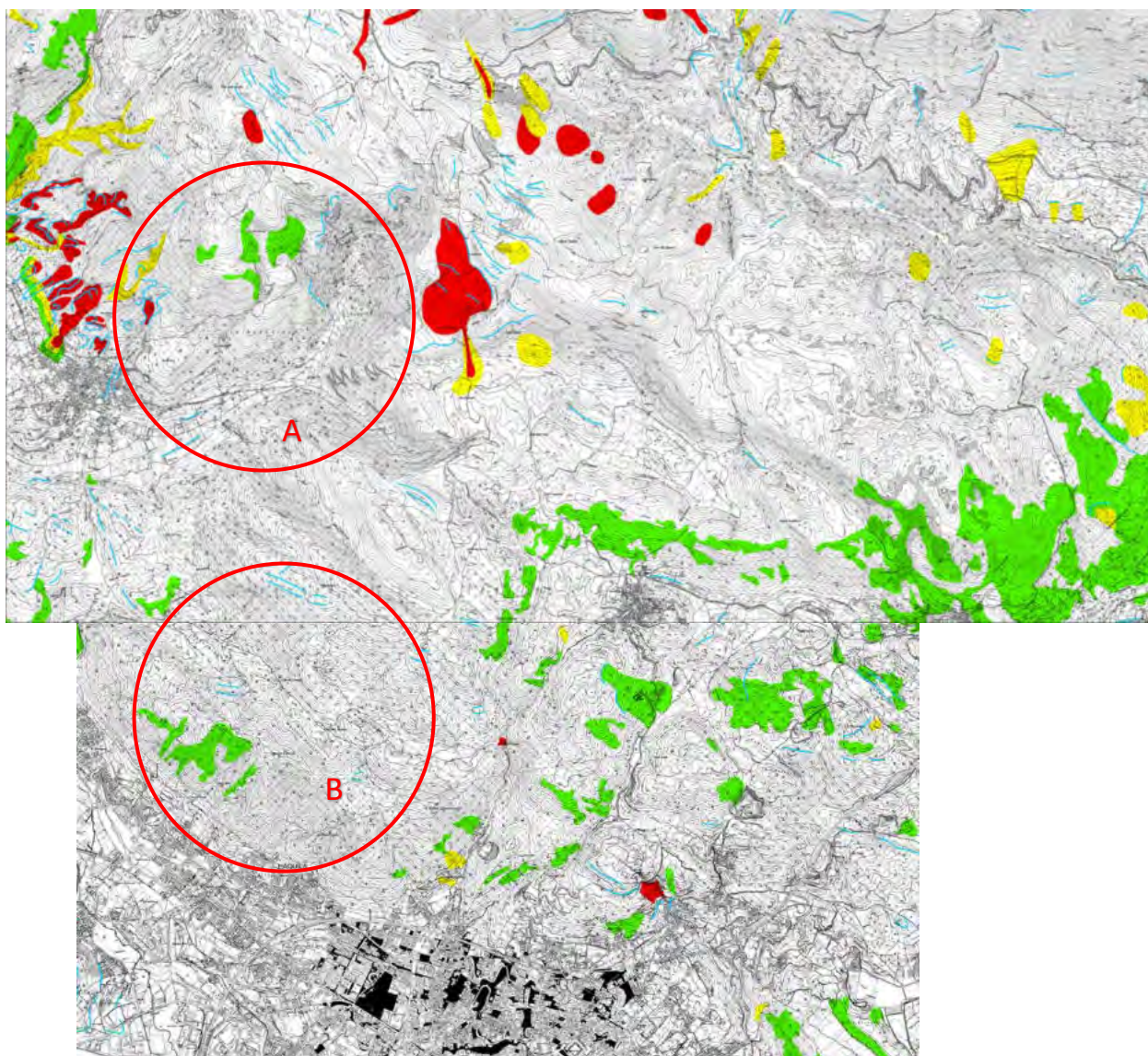


Figura 68 – Stralcio della Carta di Pericolosità (PAI) vigente nelle zone indagate

BIBLIOGRAFIA

- Benson N.C., Key C.H. (2006). *Landscape Assessment (LA). Sampling and analysis methods.*
- Boughton W.C. (1989). *A review of the USDA SCS curve number method.*
- Braca G., Bussettini M., Lastoria B, Mariani S. - ISPRA – Dipartimento Tutela delle Acque Interne e Marine – Servizio Monitoraggio e Idrologia delle Acque Interne – Settore Idrologia (2013). *Linee guida per l'analisi e l'elaborazione statistica di base delle serie storiche di dati idrologici ISPRA, Manuali e Linee Guida*
- Bressan D. (2017). *The fires at Mount Vesuvius are under control, but now there is a risk of debris flows.* Forbes.
- Carabella C., Miccadei E., Paglia G., Sciarra N. (2019). *Post-wildfire landslide hazard assessment: The case of the 2017 Montagna Del Morrone fire (Central Appennines, Italy).*
- dos Santos S.M.B., Bento_Gonçalves A., Franca-Rocha W., Baptista G. (2020). *Assessment of burned forest area severity and postfire regrowth in Chapada Diamantina National Park (Bahia, Brazil) using dNBR and RdNBR spectral indices.*
- HR Wallingford (1997). *Dynamic of marine sands.*
- National Engineering Handbook, Sect. 4: *Hydrology (NEH-4)* (SCS, 1956, 1964, 1971, 1985, 1993).
- Newsha K. Ajami, Hoshin Gupta, Thorsten Wagener, Soroosh Sorooshian (2004). *Calibration of a semi-distributed hydrologic model for streamflow estimation along a river system Journal of Hydrology.*
- Papanicolau et al. (2008). *Sediment Transport Modeling Review— Current and Future Developments vol 134, 1*
- Us Army Corp of Engineers AA.VV (2015). *Hec-Ras 5.0 Reference Manual.*

CARTOGRAFIA DI BASE

Carta Tecnica Regionale. Fogli 348-Est, 349-Ovest;

Carta Geomorfologica. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) – Autorità dei Bacini di rilievo regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro;

Carta del Rischio. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità dei Bacini di rilievo regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro;

Carta della Pericolosità. Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità dei Bacini di rilievo regionale dell'Abruzzo e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro;

Progetto C.A.R.G. Foglio 349 – Gran Sasso d'Italia, scala 1:50000

Servizio Geologico d'Italia, Carta Geologica d'Italia – Foglio 139 – L'Aquila, scala 1:100000;

STUDI DI RIFERIMENTO

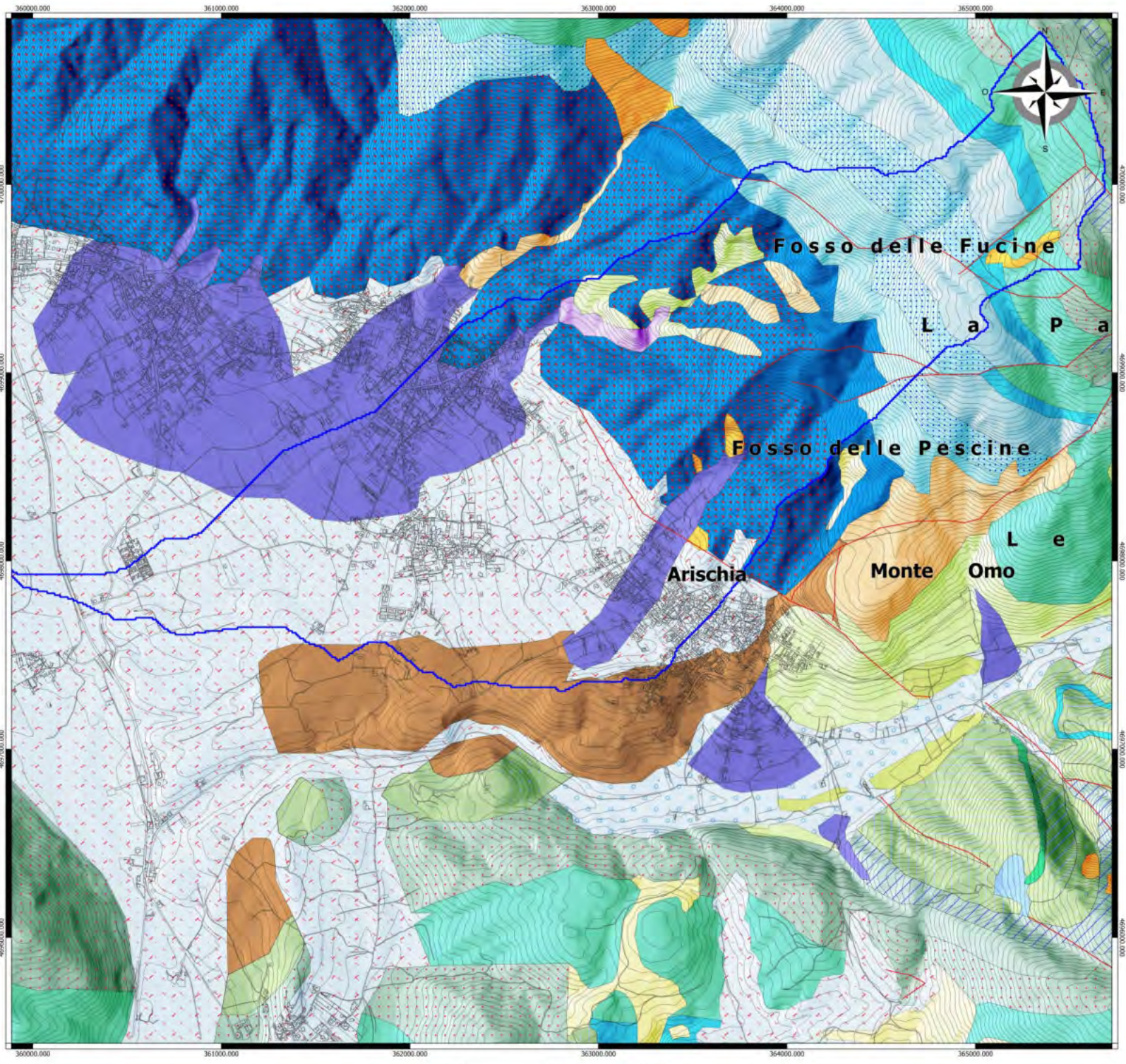
Carabella C., Miccadei E., Paglia G., Sciarra N. (2019). *Post-Wildfire Landslide Hazard Assessment: The Case of The 2017 Montagna Del Morrone Fire (Central Apennines, Italy)*.

SITOGRAFIA

<https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>;

<https://autoritabacini.regione.abruzzo.it/>;

<https://www.skywatch.com/>;



Carta Geologica (Scala 1:10000)

- Bacino di Studio
- SUCCESSIONE DEL QUATERNARIO CONTINENTALE**
- Depositi olocenici (Olocene - attuale)
 - Depositi olocenici talora terrazzati
 - Depositi di versante (Olocene - attuale)
 - Depositi di piana alluvionale talora terrazzati (Olocene - attuale)
 - Coltre eluvio-colluviale (Olocene - attuale)
 - Detriti di falda (Olocene - attuale)
 - Corpo di frana (Olocene - attuale)
 - Deposito alluvionale ghiaioso (Olocene - attuale)
 - Conoide alluvionale/detrito (Olocene - attuale)
 - Depositi di versante del Sintema di Valle Maielama (Pleistocene sup.)
- SUCCESSIONE CENOZOICA DI RAMPA DISTALE**
- Marne con cerrognia (Langhiano - Tortoniano)
- SUCCESSIONE MESO-CENOZOICA DI BASE DI SCARPATA, BACINO E RAMPA DISTALE**
- Orfento (Campaniano - Maastrichtiano)
 - Scaglia detritica membro micritico calcarenitico con selce rossa (Maastrichtiano - Lutetiano)
 - Scaglia detritica membro calcarenitico (Coniaciano - Campaniano)
 - Scaglia detritica membro con selce nera (Cenomaniano - Turonianio)
 - Scaglia detritica membro calcarenitico calciruditeo (Cenomaniano)
 - Calcareniti e calciruditi a fucoidi, membro superiore (Cenomaniano)
 - Calcareniti e calciruditi a fucoidi, membro intermedio (Albiano - Cenomaniano)
 - Calcareniti e calciruditi a fucoidi, membro inferiore (Albiano)
 - Maiolica detritica (Titonico sup. - Barremiano)
 - Calcari diasprigni (Kimmeridgiano sup. - Titonico sup.)
 - Calcari bioclastici inferiori (Bajociano - Kimmeridgiano inf.)
 - Verde ammonitico e calcari e amme a posidonia (Toarciano - Bajociano)
 - Corniola (Sinemuriano - Toarciano)
 - Calcare massiccio (Hettangiano - Sinemuriano)
- Zona cataclastica
- Faglia diretta

DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PEGLIARA
 Sede di Chieti (via dei Vestini, 21)



ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA
 PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AREE
 INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020
 NEL COMUNE DI L'AQUILA
 DGR N. 250 DEL 13/05/2021

RELAZIONE CONCLUSIVA

TAV. 1

CARTA GEOLOGICA (SCALA 1:10000)

IL COMMITTENTE
REGIONE ABRUZZO
 AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
 SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

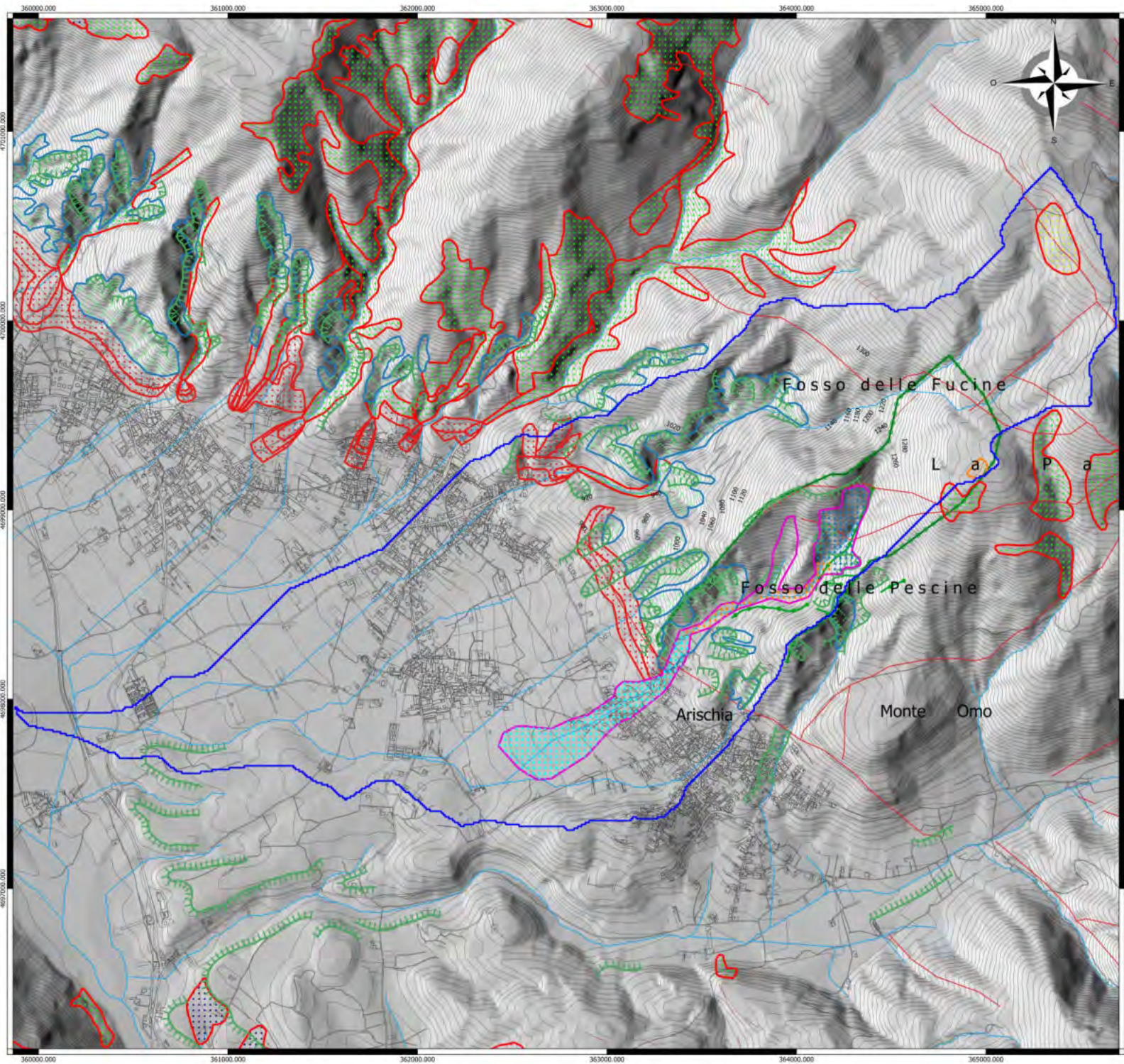
DOCT. ARA DANIELA BONGIORNI
 ING. DOMENICO MARINO

GRUPPO DI LAVORO

PROF. NICOLA SCARERA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)
 PROF. DOMENICO CALABRELLA*
 DOCT. ENZO DI MARTINO* (COORDINATORE - PhD)
 DOCT. MIRKO FRAMONSI* (COORDINATORE - PhD)
 DOCT. LUIGI GUERRIERO* (COORDINATORE - PhD)
 DOCT. ARA DANIELA BONGIORNI* (INGEGNERIA)
 DOCT. SIMONE PALOMBI* (INGEGNERIA)



DATA DI INDIRIZZO
 MARZO '21



Carta Geomorfologica (Scala 1:10000)

- Bacino di Studio
- Area d'interesse
- Zona di deposizione
- Zona di alimentazione
- Zona di trasporto
- Area a calanchi e forme simili
- Asta fluviale
- Scarpa fluviale
- Scarpa strutturale
- Dolina
- Erosione concentrata
- Cresta secondaria
- Corpo di frana di genesi complessa (inclusi i fenomeni di trasporto in massa)
- Area con forme di dilavamento prevalentemente diffuso
- Corpo di frana di colamento
- Corpo di frana di scorrimento traslativo
- Versante interessato da deformazioni superficiali lente
- Versante vistosamente interessato da deformazione profonda
- Faglia diretta

DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PIESCARA
 Sede di Chieti (via dei Vestini, 21)



ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA
 PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AEREE
 INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020
 NEL COMUNE DI L'AQUILA
 DGR N. 250 DEL 13/05/2021

RELAZIONE CONCLUSIVA

TAV. II

CARTA GEOMORFOLOGICA (SCALA 1:10000)

IL COMMITTENTE
REGIONE ABRUZZO
 AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
 SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

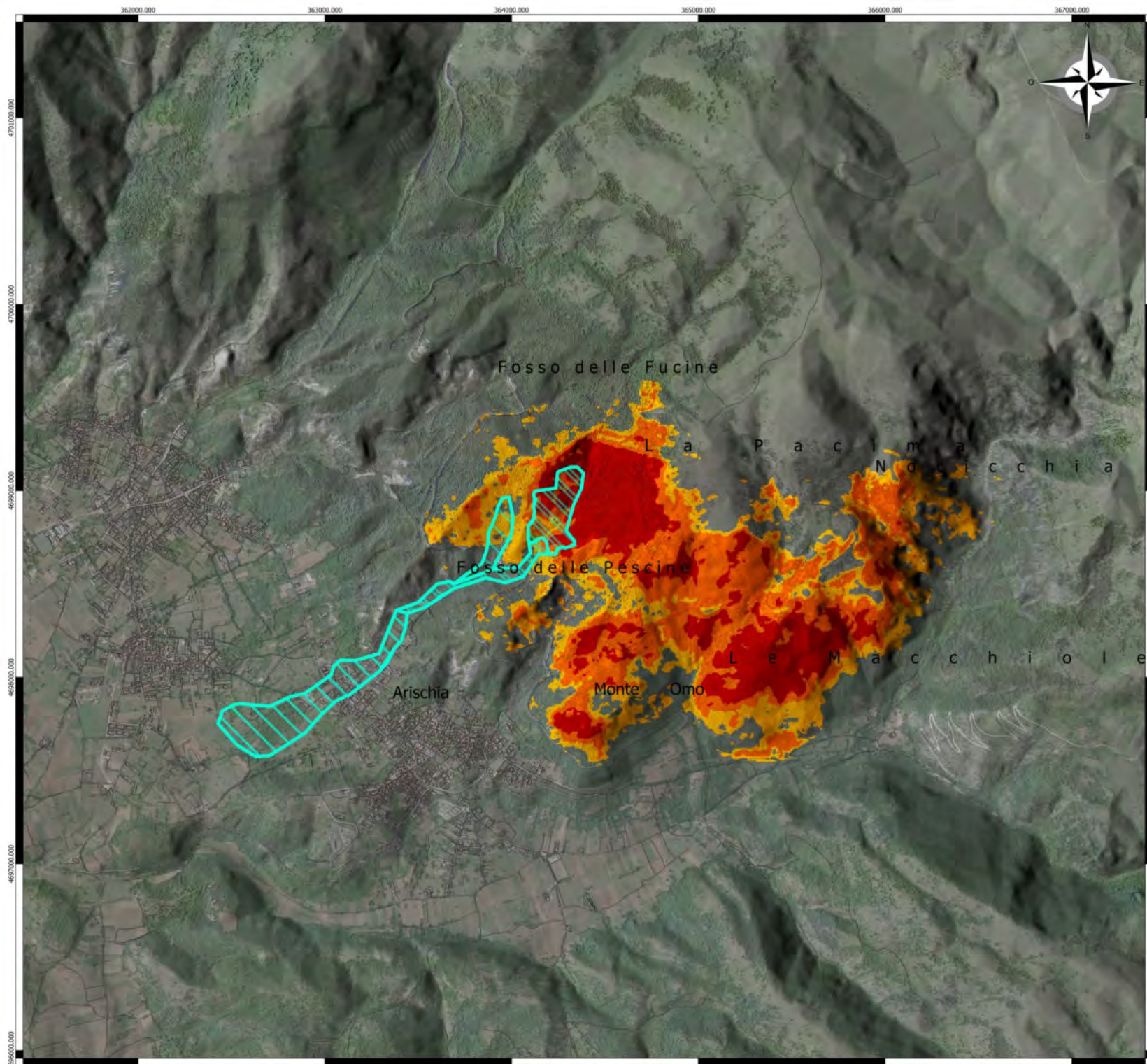
DOCT. ARIANNA BORGIONI
 ING. DOMENICO MARINO

GRUPPO DI LAVORO


- PROF. NICOLA SCARERA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)
- PROF. DOMENICO CALABRELLA*
- DOCT. ENRICO DI MARTINO* (COORDINATORE - PnD)
- DOCT. MIRKO FRANCESCHI* (COORDINATORE - PnD)
- DOCT. LUIGI GUERRIERO* (COORDINATORE - PnD)
- DOCT. SSA CLAUDIA ZITO* (INGEGNERA)
- DOCT. SIMONE PALOMBI* (INGEGNERA)




DATA DI EMISSIONE
 MARZO 22




Carta della Severità dell'incendio

 Area interessata da fenomeni erosionali e gravitativi

 Bacino idrografico

Grado di severità dell'incendio
al 3/08/2020

 Bassa Severità

 Moderata Severità

 Alta Severità

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI- PESCARA
Sede di Chieti via dei Vestini, 31



REGIONE ABRUZZO



AGENZIA REGIONALE DI
PROTEZIONE CIVILE

TAV. III

ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA
PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AREE
INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020
NEL COMUNE DI L'AQUILA
DGR N. 250 DEL 13/05/2021

RELAZIONE CONCLUSIVA

CARTA DELLA SEVERITÀ DELL'INCENDIO (SCALA 1:10000)

IL COMMITTENTE

REGIONE ABRUZZO

AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

DOTT.SSA DANIELA RONSINI

ING. DOMENICO MACCHINI

GRUPPO DI LAVORO

PROF. NICOLA SCARBA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)

PROF. DOMENICO CALABRERA*

DOTT. DIEGO DI MARTINO* (RICERCATORE - PhD)

DOTT. MIRKO FRANCESCHI* (RICERCATORE - PhD)

DOTT. LUIGI GERBERO* (RICERCATORE - PhD)

DOTT.SSA CLAUDIA ZITO* (BOSSITA)

DOTT. SIMONE PALUMBO* (BOSSITA)



DATA DI EMISSIONE
MAGGIO '22

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA

SEZIONE GEOLOGIA

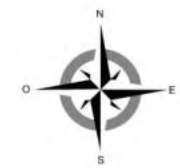
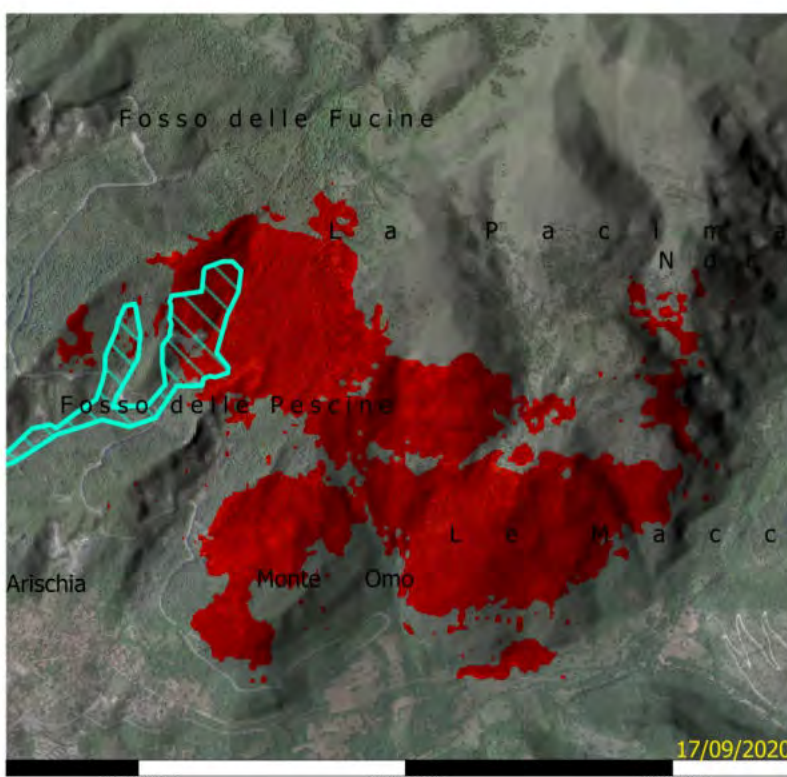
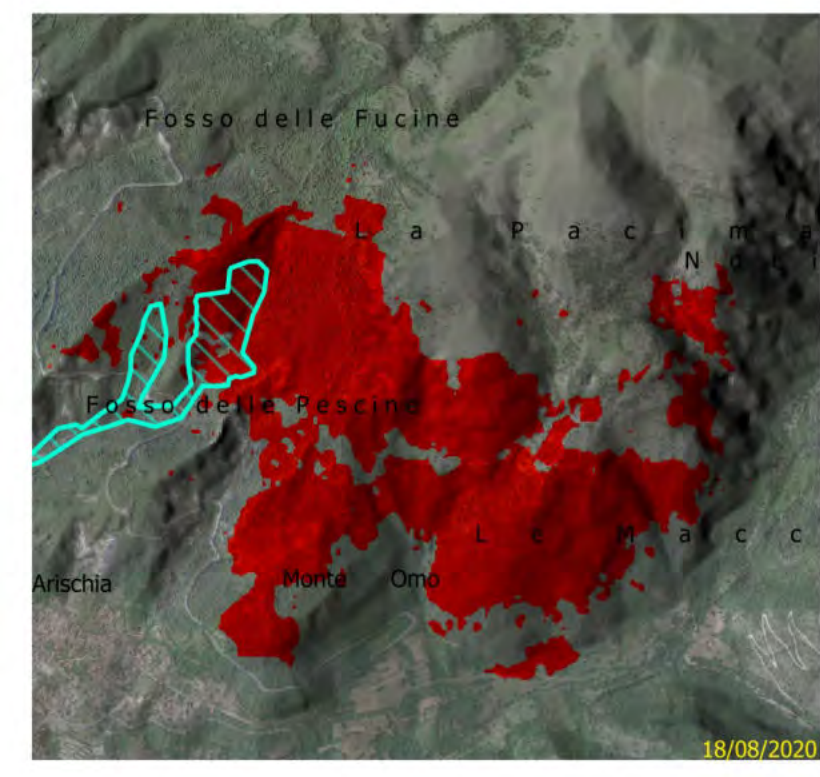
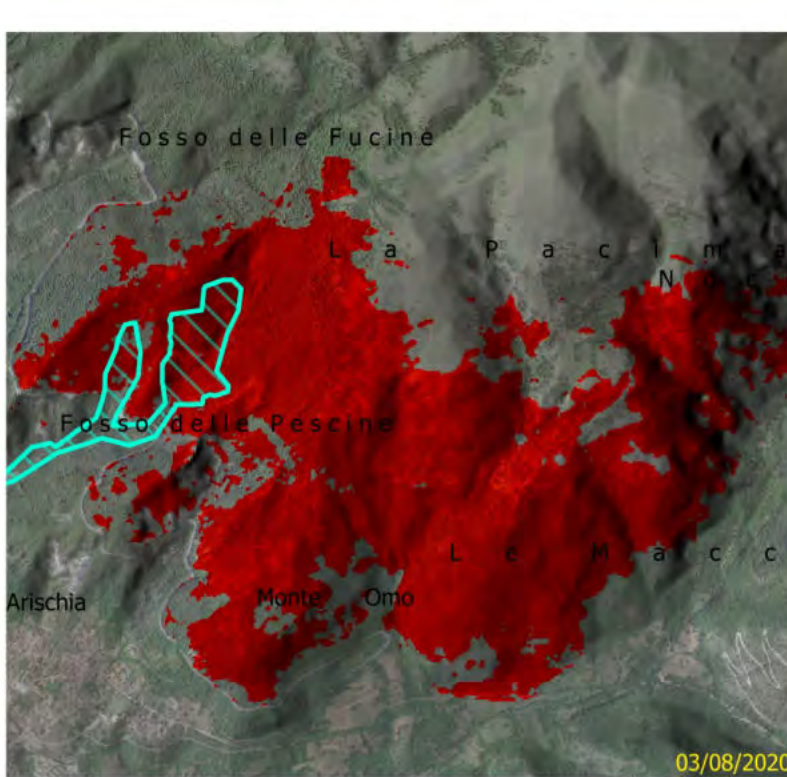
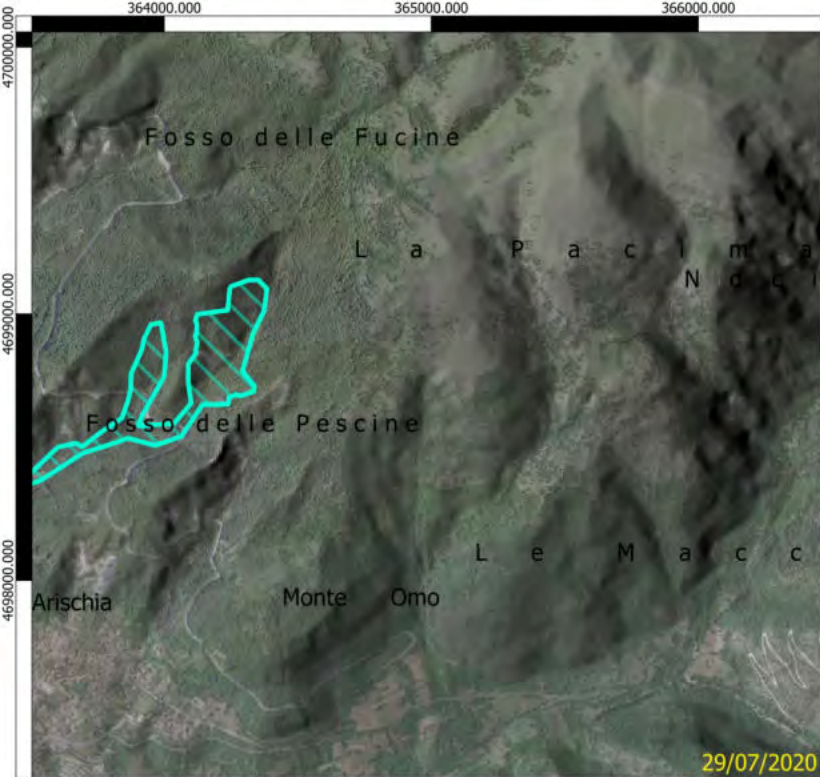
Web: www.unich.it

UNIVERSITÀ G. D'ANNUNZIO CHIETI- PESCARA

DEPT. VIA DEI VESTINI, 31 - 66100 CHIETI (CH) - ITALIA

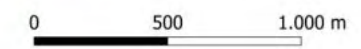
Web: www.unich.it

0 500 1.000 m



Dinamica incendio

- Area danneggiata dal fuoco
- ▨ Area interessata da fenomeni erosionali e gravitativi



DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PEGNARA
Sede di Chieti via dei Vestini, 31

INGEGNERIA GEOLOGICA

REGIONE ABRUZZO

AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE

TAV. IV

CARTA DELL'ESTENSIONE DELL'INCENDIO (SCALA 1:10000)

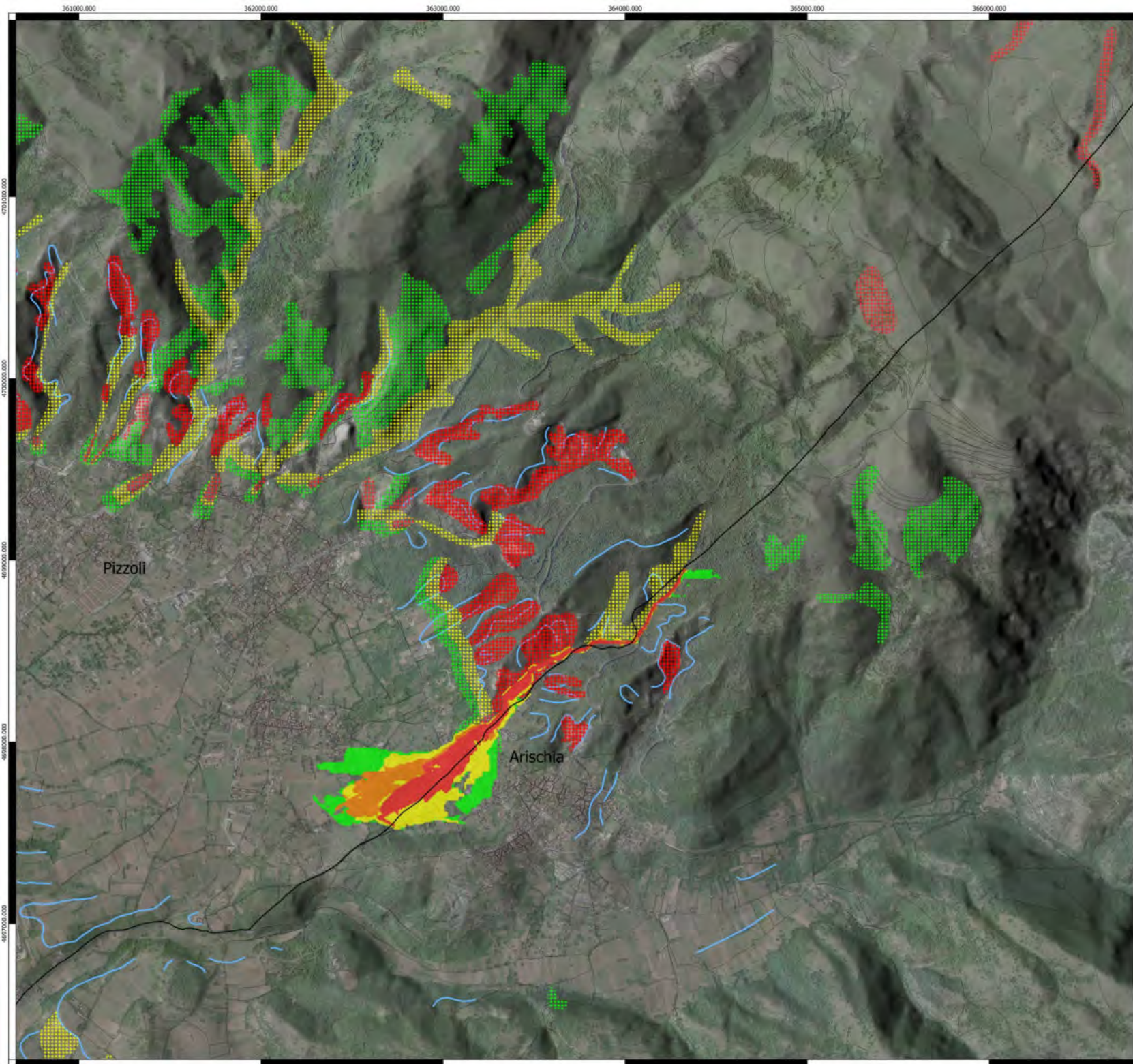
IL COMMITTENTE
REGIONE ABRUZZO
AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

DOSSIER INCENDIO
ING. DOMENICO MARINO

GRUPPO DI LAVORO
PROF. NICOLA SCARBA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)
PROF. DOMENICO CALABRETTA*
DOSS. ENRICO DI MARTINO* (REGISTRATORE - PhD)
DOSS. MIRKO FRANCESCHI* (REGISTRATORE - PhD)
DOSS. LUIGI GUERRIERO* (REGISTRATORE - PhD)
DOSS. IRENE CLAUDIA ZITO* (REGISTRATORE)
DOSS. SIMONE PALLINO* (REGISTRATORE)





DATA DI INDIRIZIONE
MAGGIO '21

DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
UNIVERSITÀ G. D'ANNUNZIO CHIETI-PEGNARA
REGIONE ABRUZZO
Sede di Chieti via dei Vestini, 31 - 66100 CHIETI (CH) ITALIA
Web: www.rgsn.unich.it







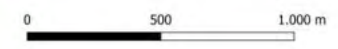
Carta della Pericolosità

Pericolosità da frana
(Autorità di Bacino del fiume Sangro)

-  **P1 - Pericolosità Moderata**
Aree interessate da dissesti con bassa probabilità di riattivazione
-  **P2 - Pericolosità Elevata**
Aree interessate da dissesti con alta probabilità di riattivazione
-  **P3 - Pericolosità Molto Elevata**
Aree interessate da dissesti in attività o riattivati stagionalmente
-  **PS**
Aree interessate da dissesti da scarpate

Pericolosità da invasione

-  **P4 - Pericolosità molto elevata**
Aree suscettibili ad invasione con tempo di ritorno 10 anni
-  **P3 - Pericolosità elevata**
Aree suscettibili ad invasione con tempo di ritorno 50 anni
-  **P2 - Pericolosità moderata**
Aree suscettibili ad invasione con tempo di ritorno 100 anni
-  **P1 - Pericolosità bassa**
Aree suscettibili ad invasione con tempo di ritorno 300



DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PEGARA
Sede di Chieti via dei Vestini, 31



ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AREE INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020 NEL COMUNE DI L'AQUILA DGR N. 250 DEL 13/05/2021

RELAZIONE CONCLUSIVA

TAV. V

CARTA DELLA PERICOLOSITÀ (SCALA 1:10000)

IL COMMITTENTE
REGIONE ABRUZZO

AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

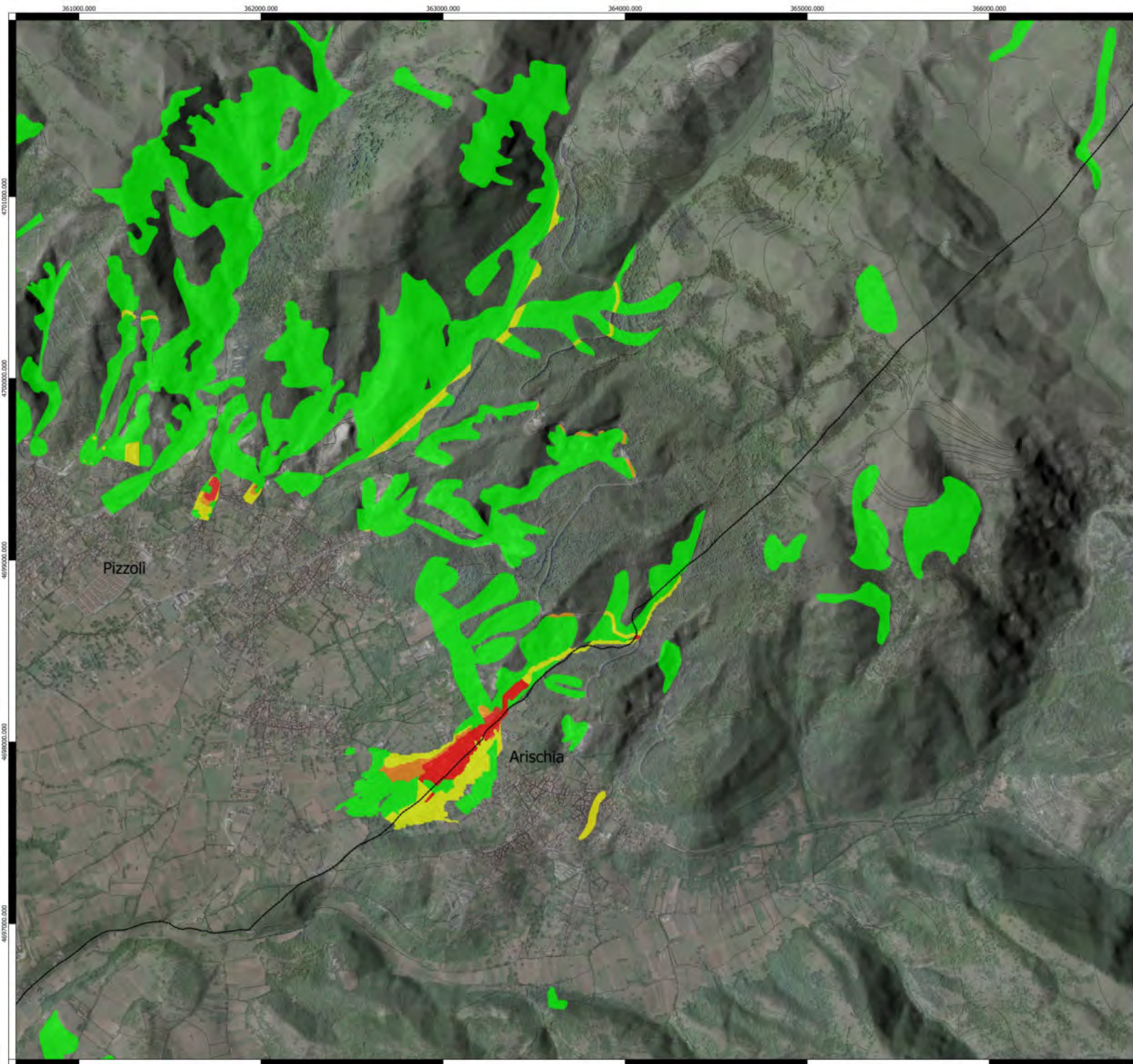
DOTT. SSA DANIELA BONICINI
ING. DOMENICO MARINO

GRUPPO DI LAVORO

PROF. NICOLA SCARBA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)
PROF. DOMENICO CALABRELLA*
DOTT. ENRICO DI MARTINO* (REGISTRATORE - PnD)
DOTT. MIRKO FRANCONI* (REGISTRATORE - PnD)
DOTT. LUIGI GUERRIERO* (REGISTRATORE - PnD)
DOTT. SSA CLAUDIA ZITO* (INGEGNERA)
DOTT. SIMONE PALCIBI* (INGEGNERA)



DATA DI DISSEGNO
MAGGIO '22



Carta del Rischio

(Autorità di Bacino del fiume Sangro)

- R1 Aree con rischio basso derivato dall'intersezione tra pericolosità e valore esposto
- R2 Aree con rischio moderato derivato dall'intersezione tra pericolosità e valore esposto
- R3 Aree con rischio elevato derivato dall'intersezione tra pericolosità e valore esposto
- R4 Aree con rischio molto elevato derivato dall'intersezione tra pericolosità e valore esposto



DEPARTAMENTO DI INGEGNERIA E GEOLOGIA
 UNIVERSITÀ DEGLI STUDI G. D'ANNUNZIO CHIETI-PIESGARA
 Sede di Chieti via dei Vestini, 31



ACCORDO DI PROGRAMMA PER LO STUDIO DELLA
 PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA NELLE AREE
 INTERESSATE DAGLI INCENDI DELL'ESTATE 2020
 NEL COMUNE DI L'AQUILA
 DGR N. 250 DEL 13/05/2021

RELAZIONE CONCLUSIVA

TAV. VI

CARTA DEL RISCHIO (SCALA 1:10000)

IL COMMITTENTE
REGIONE ABRUZZO
 AGENZIA REGIONALE DI PROTEZIONE CIVILE
 SERVIZIO "PREVENZIONE DEI RISCHI DI PROTEZIONE CIVILE"

DOSS. SSA DANIELA RONCONI
 ING. DOMENICO MARINI

GRUPPO DI LAVORO

PROF. NICOLA SCARBA* (RESPONSABILE SCIENTIFICO)
 PROF. DOMENICO CALABRELLA*
 DOTT. ENRICO DI MARTINO* (REGOLATORE - PhD)
 DOTT. MIRKO FRANCESCHI* (REGOLATORE - PhD)
 DOTT. LUIGI GUERRIERO* (REGOLATORE - PhD)
 DOTT. SSA CLAUDIA ZITO* (BOSSITA)
 DOTT. SIMONE PALLINO* (BOSSITA)



DATA DI EMISSIONE
 MARZO '21