



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 ex OCDPC 948/2022.

Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione.

Ai sensi dell'art. 5 – ter della Legge n. 9 del 2023

26 Aprile 2023

Per la Struttura Commissariale

Il Vice - Commissario ing. Gianluca Loffredo
Ing. Claudio D'Ambra

Gruppo di lavoro ex OCD 07/2023

Prof. geol. Domenico Calcaterra, DISTAR, UNINA

Prof. ing. Marco Di Ludovico, DIST, UNINA

Prof. geol. Francesco M. Guadagno, DST, UNISANNIO

Prof. ing. Domenico Pianese, DICEA, UNINA

Prof. ing. Andrea Prota, DIST, UNINA

Prof.ing. Francesco Silvestri, DICEA, UNINA

Prof.ing. Pasquale Versace, CAMILab, DIMES, UNICAL

L'EVENTO DEL 26 NOVEMBRE 2020

1. L'EVENTO DEL 26 NOVEMBRE 2022	1
1.1 INTRODUZIONE.....	1
l'Ordinanza n. 948 del 30 novembre 2022 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, all'art.1, dispone, fra le altre cose, che:	2
l'Ordinanza n. 963 del 9 febbraio 2023 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, che, all'art. 1 (Misure di supporto alle attività del Commissario delegato), dispone, a sua volta, che:	4
1.2 DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI AL SUOLO DELL'EVENTO	8
1.3 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE PLUVIOMETRICHE DELL'EVENTO	15
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI	26

CAPITOLO 1 – IL CONTESTO FISICO

1. IL CONTESTO FISICO.....	1
1.1 GEOLOGIA.....	1
Introduzione	1
1.2. GEOMORFOLOGIA	3
1.3 IDROGEOLOGIA	15
1.3.1 Caratteristiche idrogeologiche delle formazioni del substrato	15
1.3.2 Caratteristiche idrogeologiche dei depositi recenti e di copertura.....	20
1.3.3 Sorgenti basali, di alta quota e risorse termo-minerali.....	20
1.4 GEOTECNICA.....	25
1.4.1 Inquadramento territoriale	25
1.4.2 Caratteri geotecnici principali dei terreni dell’area di studio.....	29
1.5 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELLE AREE DI STUDIO.....	31
1.5.1 Introduzione	31
1.5.2 Area di studio	32
1.5.3 Bacini individuati e relativi reticoli idrografici.....	35
1.5.4 Caratterizzazione dei bacini rispetto alle possibilità di infiltrazione.....	37
1.6 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEI COLLETTORI TERMINALI DELLE RETI FOGNARIE A SERVIZIO DEL COMUNE DI CASAMICCIOLA TERME E DI PARTE DEL COMUNE DI LACCO AMENO.....	40
1.6.1 Generalità	40
1.6.2 Area di studio	40
1.6.3 Studio idraulico.....	42
1.6.4 Schematizzazione rete di drenaggio urbano	42
1.7 USO DEL SUOLO E COSTRUITO.....	54
1.7.1 Copertura vegetale.....	54
1.7.2 Aree protette.....	56
1.7.3 Antropizzazione.....	57
RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI CITATI	61

CAPITOLO 2 – EVENTI ALLUVIONALI DEL PASSATO

2. EVENTI ALLUVIONALI DEL PASSATO	1
2.1 EVENTI STORICI NEL TERRITORIO COMUNALE DI CASAMICCIOLA TERME.....	1
2.2 L'EVENTO DEL 24 OTTOBRE 1910 A CASAMICCIOLA TERME.....	3
2.3 L'EVENTO DEL 10 NOVEMBRE 2009 A CASAMICCIOLA TERME	5

CAPITOLO 3 – ARTICOLAZIONE DEL TERRITORIO

3. ARTICOLAZIONE DEL TERRITORIO DI CASAMICCIOLA IN BACINI E SOTTOBACINI.....	1
3.1 INTRODUZIONE	1
3.2 DATI DI BASE	1
3.3 DATI DERIVATI.....	5
3.3.1 Reticolo idrografico e bacini idrografici.....	6
3.4 CAVA DEL PUZZILLO FINO ALLA TOMBATURA	11
3.5 CAVA FASANIELLO (O ERVANIELLO) – CAMPOMANNO - CAVA NEGROPONTE FINO ALLA TOMBATURA	14
3.5.1 Cava Ervaniello fino alla tombatura	14
3.5.2 Campomanno fino a Cava Fasaniello	17
3.5.3 Cava Negroponte fino a Cava Fasaniello	19
3.6 CAVA SINIGALLIA – CAVA FONTANA- CAVA CELARIO FINO ALLA TOMBATURA.....	22
3.6.1 Cava Senigallia fino al tratto tombato.....	22
3.6.2 Cava Fontana fino a Cava Senigallia	25
3.6.3 Cava Celario fino a Cava Fontana	27
3.7 CAVA CUCCUFRIDDO – CAVA DEL MONACO – CAVA LA RITA FINO ALLA TOMBATURA 29	
3.7.1 Cava Cuccufriido fino a Cava La Rita	29
3.3.2 Cava La Rita fino al tratto tombato	32
3.8 TRATTI TOMBATI FINO AL MARE.....	34
3.8.1 Generalità	34
3.8.2 Studio idraulico.....	36
3.8.3 Schematizzazione rete di drenaggio urbano	36
3.9 CORNICE SOMMITALE	51
3.9.1 Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio	51
3.9.2 Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto	54
3.9.3 Ceduo di castagno non gestito	55

CAPITOLO 4 – MODELLAZIONI PRELIMINARI

4. MODELLAZIONI PRELIMINARI	1
4.1 MODELLAZIONE DELLE FRANE DA CROLLO	1
4.1.1 Introduzione	1
4.1.2 Il modello di calcolo adottato	4
4.2 MODELLAZIONE DELLE VALANGHE E DELLE COLATE DETRITICHE	7
4.2.1 Introduzione	7
4.2.2 Fattori geologici predisponenti la franosità	7
4.2.3 Criteri per la definizione puntuale della suscettibilità all’innescò, transito e deposito	9
4.2.4 Criteri per la modellazione dinamica delle frane da flusso	10
4.2.5 Modellazione della Frana di Via Celario	12
4.2.6 Applicazione ai bacini del versante settentrionale del Monte Epomeo.....	18
4.2.7 Riferimenti bibliografici	26
APPENDICE	1
4.3 MODELLAZIONE DEI FLUSSI IPER-CONCENTRATI NEI TRATTI MEDIO-VALLIVI	37
4.3.1 Generalità	37
4.4 IL MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO	37
4.4.1 Shallow-water Equations.....	37
4.4.2 Modalità di valutazione delle resistenze al moto.....	38
4.4.3 Il modello numerico utilizzato	38
4.4.4 Discretizzazione nello spazio	39
4.4.5 Calcolo dei flussi	39
4.4.6 Calcolo dei termini sorgente	41
4.4.7 Modalità di avanzamento nel tempo	42
4.4.8 Esecuzione delle simulazioni	43
4.4.9 Riferimenti Bibliografici citati	65
4.5 ANALISI IDROLOGICHE FINALIZZATE ALLA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA CHE POSSONO GIUNGERE ALLE SEZIONI DI IMBOCCO DEI TRATTI TOMBATI.....	67

4.5.1	Generalità	67
4.5.2	Approccio variazionale	67
4.5.3	Area di studio.....	68
4.5.4	Analisi pluviometrica	71
4.5.5	Studio idrologico.....	81
4.5.6	Modalità di funzionamento del sub-modulo idrologico di SWMM.....	84
4.5.7	Caratterizzazione dell'area di studio	85
4.5.8	Modelli per la simulazione dell'evento meteorico.....	89
4.6	ANALISI IDRAULICHE FINALIZZATE ALLA VERIFICA, SU BASE PROBABILISTICA, DEI COLLETTORI TERMINALI DELLE RETI FOGNARIE A SERVIZIO DEL COMUNE DI CASAMICCIOLA TERME E DI PARTE DEL COMUNE DI LACCO AMENO.....	99
4.6.1	Generalità	99
4.6.2	SWMM, il motore di calcolo	100
4.6.3	AREA DI STUDIO.....	113
4.6.4	L'approccio variazionale	126
APPENDICE A	136

CAPITOLO 5 – CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI

5.	CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI E LORO CRITICITÀ.....	1
5.1	CORNICE SOMMITALE	5
5.1.1	Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio	10
5.1.2	Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto.....	10
5.1.3	Ceduo di castagno non gestito.....	11
5.2	CAVA DEL PUZZILLO FINO ALLA TOMBATURA.....	12
5.2.1	Caratteristiche essenziali	12
5.2.2	Punti singolari	16
5.2.3	Criticità.....	21
5.3	CAVA ERVANIELLO (O FASANIELLO) – CAMPOMANNO - CAVA NEGROPONTE FINO ALLA TOMBATURA.....	23
5.3.1	Caratteristiche essenziali	23
5.3.2	Punti singolari	28
5.3.3	Criticità.....	62
5.4	CAVA SINIGALLIA – CAVA FONTANA- CAVA CELARIO FINO ALLA TOMBATURA	63
5.4.1	Caratteristiche essenziali	63
5.4.2	Punti singolari	78
5.4.3	Criticità.....	111
5.5	CAVA CUCCUFRIDDO – CAVA DEL MONACO – CAVA LA RITA FINO ALLA TOMBATURA 112	
5.5.1	Caratteristiche essenziali	112
5.5.2	Punti singolari	118
5.5.3	Criticità.....	142

5.6	TRATTI TOMBATI FINO AL MARE	143
5.6.1	Generalità	143
5.6.2	Studio idraulico	145
5.6.3	Schematizzazione rete di drenaggio urbano	145
5.7	ALTRI INTERVENTI PUNTUALI	150
5.7.1	Interventi di somma urgenza e urgenza post-sisma 2017	150
5.7.2	Interventi primo piano stralcio Commissario Straordinario DI 109/2017 e Ordinanze Speciali	151
5.7.3	Interventi precedenti segnalati dai Comuni dell'isola di Ischia e Città Metropolitana	152
	Bibliografia	156

CAPITOLO 6 – IL RILIEVO DEL DANNO

6.IL RILEVAMENTO DEL DANNO NEGLI EDIFICI DI CASAMICCIOLA	
1	
6.1.Danni prodotti dall'evento sismico	
2	
6.1.1.Descrizione degli edifici.....	3
6.1.2.Tipologia costruttiva	5
6.1.3.Danno	9
6.2.Danni prodotti dall'evento franoso	
13	
6.2.1.Inquadramento idrogeologico/idraulico degli edifici	17
6.2.2.Descrizione degli edifici.....	19
6.2.3.Tipologia costruttiva	21
6.2.4.Danno	25
6.3.Elaborazione dei dati di danni da sisma e da frana	
29	
6.3.1.Livello operativo d'ufficio.....	29
6.3.2.Livelli operativi nelle zone definite dall'O.C.D.P.C 951/2022	33
6.3.3.Edificato con compresenza di danni da sisma e da frana.....	34
6.4.....	Conclusioni
35	
Bibliografia.....	37

CAPITOLO 7 – STRATEGIE DI INTERVENTO

7. STRATEGIE DI INTERVENTO.....	1
7.1 INQUADRAMENTO METODOLOGICO.....	1
7.2 INTERVENTI FORESTALI.....	4
7.2.1 Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio.....	4
7.2.2 Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto.....	4
7.2.3 Ceduo di castagno non gestito.....	6
7.2.4 Interventi forestali in alveo.....	6
7.3 SISTEMAZIONE DEI VERSANTI IN ROCCIA.....	7
7.3.1 Interventi attivi – Disgaggi ed imbragaggi massi isolati.....	7
7.3.2 Interventi passivi – Barriere paramassi.....	8
7.4 SISTEMAZIONE DEI VERSANTI IN TERRA.....	10
7.4.1 Interventi attivi – Terre armate/rinforzate.....	10
7.4.2 Interventi attivi – Gabbionate.....	12
7.4.3 Interventi attivi – Drenaggi.....	14
7.5 INTERVENTI IN ALVEO.....	16
7.5.1 Interventi attivi – Briglie di consolidamento.....	16
7.5.2 Interventi attivi – Soglie di fondo.....	18
7.5.3 Interventi passivi – Rostri frangicolata.....	19
7.5.4 Interventi passivi – Briglie selettive.....	20
7.5.5 Interventi passivi – Vasche di trattenuta “a compartimenti”.....	23
7.5.6 Interventi passivi – Vasche di espansione controllata, di dissipazione e di trattenuta.....	26
7.6 INTERVENTI PER INCREMENTARE L’OFFICIOSITÀ DEI TRATTI TOMBATI.....	28

CAPITOLO 8 – PIANO DEGLI INTERVENTI

8. PIANO DEGLI INTERVENTI.....	1
8.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI.....	1
8.2 CAVA PUZZILLO - Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni.....	2
8.3 CAVA FASANIELLO O ERVANIELLO - Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni	3
8.3.1 Tratto 1. Fasaniello fino al tratto tombato.....	3
8.3.2 Tratto 2 - Campomanno fino a Fasaniello	6
8.3.3 Tratto 3 - Negroponte fino al Fasaniello.....	7
8.4 CAVA SINIGALLIA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni	8
8.5 CAVA CELARIO E CAVA FONTANA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni	11
8.6 CAVA CUCCUFRIDDO E CAVA LA RITA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni	14
8.6.1 Tratto 1. Cuccufriddo-La Rita fino al tratto tombato	14
8.6.2 Tratto 2. – Del Monaco fino al Cuccufriddo	17
8.7 INTERVENTI A SCALA COMUNALE	18
8.8 INTERVENTI DI SISTEMAZIONE PUNTUALE O LOCALE.....	20

CAPITOLO 9 – QUADRO DI SINTESI

9. QUADRO DI SINTESI DEGLI INTERVENTI E STIMA ECONOMICA.....	1
9.1 TABELLA DI SINTESI.....	5
9.2 TABELLA CON INTERVENTI ALTRI COMUNI	9

1. L'EVENTO DEL 26 NOVEMBRE 2022

1.1 INTRODUZIONE

Il 26 novembre 2022, all'incirca alle ore 05:00, a seguito delle piogge torrenziali verificatasi sull'Isola di Ischia nelle ore immediatamente precedenti, si è purtroppo verificato il distacco di diverse porzioni dei costoni del M. Epomeo. Uno di questi distacchi - in particolare quello realizzatosi in località Celario/Santa Barbara del Comune di Casamicciola Terme - inizialmente innescatosi come uno scivolamento di piccoli quantitativi di materiali solido dello spessore di poche decine di centimetri, nel colpire, dopo un salto di alcune decine di metri, i sedimenti completamente imbibiti di acqua ubicati nelle aree immediatamente sottostanti (a forte pendenza ed interessati da una notevole coltre di materiale piroclastico), ha finito con l'innescare una vera e propria *colata rapida di detriti*, del tipo "*valanga*", che ha poi colpito le zone abitate ubicate più a valle.

L'imponente quantità di fango e di detriti distaccatosi dalla montagna, dislocatosi verso valle sotto forma di una vera e propria *valanga di sedimenti e di alberi* nei tratti più a monte, e di un *flusso iper-concentrato di acqua frammista ad elevate concentrazioni di materiali fini* nei tratti medio vallivi e di pianura, ha investito le abitazioni site in Via Celario, proseguendo la propria corsa lungo Piazza Maio, Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, per poi giungere sino ad arrivare in mare nei pressi del c.d. "Monumento dell'Ancora". Lungo il suo percorso, la frana ha causato ingenti danni a edifici, strade, automobili e territorio e, purtroppo, la tragica scomparsa di 12 persone, tra cui 4 bambini.

Il 27 novembre 2022 la Presidenza del Consiglio dei Ministri ha dichiarato, per dodici mesi, lo stato di emergenza per l'area, stanziando 2 milioni di euro per le prime operazioni di recupero e soccorso.

Il 30 novembre 2022 è stata emanata, da parte del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, l'Ordinanza n. 948, recante: "*Primi interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia (NA), a partire dal giorno 26 novembre 2022*".

Il 3 dicembre 2022 è stato emanato il Decreto-Legge n. 186, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 gennaio 2022, n. 9 e recante: "*Interventi urgenti in favore delle popolazioni colpite dagli eventi eccezionali verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia a partire dal 26 novembre 2022*".

L'11 dicembre 2022 è stata emanata, da parte del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, l'Ordinanza n. 951, recante: *“Ulteriori interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia (NA), a partire dal giorno 26 novembre 2022”*.

Il 24 dicembre 2022 è stata emanata, sempre da parte del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, l'Ordinanza n. 954, avente sempre ad oggetto *“Ulteriori interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia (NA), a partire dal giorno 26 novembre 2022”*;

Il 9 febbraio 2023 è stata emanata, da parte del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, l'Ordinanza n. 963, sempre relativa a *“Ulteriori interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia (NA), a partire dal giorno 26 novembre 2022”*.

Il 9 febbraio 2023 è stata inoltre emanata, da parte del Consiglio dei Ministri, la Delibera con la quale sono state stanziati ulteriori risorse per le attività di cui all'articolo 25, comma 2, lettere a) e b) del decreto legislativo 2 gennaio 2018.

In relazione a quanto di specifico interesse in questa sede, appare opportuno richiamare, in particolare, che:

l'Ordinanza n. 948 del 30 novembre 2022 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, all'art.1, dispone, fra le altre cose, che:

- 1 Per fronteggiare l'emergenza derivante dagli eventi calamitosi di cui in premessa, il Commissario straordinario del Governo per gli interventi nei territori dei Comuni di Casamicciola Terme, Forio, Lacco Ameno dell'isola di Ischia interessati dagli eventi sismici del giorno 21 agosto 2017, è nominato Commissario delegato.*
- 2 Per l'espletamento delle attività di cui alla presente ordinanza, il Commissario delegato, che opera a titolo gratuito, può avvalersi delle strutture e degli uffici regionali, provinciali e comunali, oltre che delle amministrazioni centrali e periferiche dello Stato, nonché individuare uno o più soggetti attuatori, ivi comprese società in house o partecipate dagli enti territoriali interessati, che agiscono sulla base di specifiche direttive, senza nuovi o maggiori oneri per la finanza pubblica.*

- 3 *Il Commissario delegato assicura il coordinamento degli interventi necessari a fronteggiare il contesto emergenziale avvalendosi dei soggetti di cui al comma 2, anche individuandoli quali soggetti attuatori, e, per loro tramite, assicura la realizzazione:*
- 3.1 *degli interventi necessari nella fase di prima emergenza volti a rimuovere le situazioni di rischio, ad assicurare l'indispensabile attività di soccorso, assistenza e ricovero delle popolazioni colpite dai predetti eventi calamitosi;*
- 3.2 *delle attività da porre in essere, anche in termini di somma urgenza, inerenti alla messa in sicurezza delle aree interessate dagli eventi calamitosi;*
- 3.3 *degli interventi urgenti volti ad evitare situazioni di pericolo o maggiori danni a persone o a cose.*
- 4 *Il Commissario delegato provvede alla progressiva ricognizione degli oneri conseguenti o stimati degli interventi di cui al comma 3 e predisponde, nel limite delle risorse disponibili di cui all'articolo 11, entro trenta giorni dalla pubblicazione della presente ordinanza, un primo piano degli interventi urgenti da sottoporre all'approvazione del Capo del Dipartimento della protezione civile. Tale piano contiene la ricognizione delle misure e gli interventi, anche realizzati con procedure di somma urgenza, volti:*
- a) *al soccorso ed all'assistenza alla popolazione interessata dagli eventi, ivi comprese le misure di cui all'articolo 2, oltre alla rimozione delle situazioni di pericolo per la pubblica e privata incolumità;*
- b) *al ripristino della funzionalità dei servizi pubblici e delle infrastrutture di reti strategiche, alle attività di gestione dei rifiuti, delle macerie, del materiale vegetale, alluvionale delle terre e rocce da scavo prodotti dagli eventi, nonché alla realizzazione delle misure volte a garantire la continuità amministrativa nel territorio interessato, anche mediante interventi di natura temporanea.*
- 5 *Il piano di cui al comma 4 deve contenere la descrizione tecnica di ciascuna misura con la relativa durata e l'indicazione dell'oggetto della criticità, l'indicazione delle singole stime di costo. Ove previsto dalle vigenti disposizioni in materia, anche in relazione a quanto disposto dall'articolo 41 del decreto-legge 16 luglio 2020, n. 76, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 settembre 2020, n. 120, i CUP degli interventi devono essere acquisiti ed inseriti nel piano anche successivamente all'approvazione del medesimo purché nel termine di quindici giorni*

dall'approvazione e comunque prima dell'autorizzazione del Commissario delegato al Soggetto attuatore ai fini della realizzazione dello specifico intervento.

6 *Il predetto piano, articolato anche per stralci, può essere successivamente rimodulato ed integrato con la previsione di nuovi interventi ancora da realizzare, nei limiti delle risorse di cui all'articolo 11, nonché delle ulteriori risorse finanziarie che potranno essere rese disponibili anche ai sensi di quanto previsto dall'articolo 24, comma 2, del decreto legislativo 2 gennaio 2018, n.1. Il piano rimodulato deve essere sottoposto alla preventiva approvazione del Capo del Dipartimento della protezione civile entro 30 giorni dalla pubblicazione della delibera del Consiglio dei ministri di stanziamento di ulteriori risorse, ovvero dalla pubblicazione dell'ordinanza di cui all'articolo 11, comma 4, del presente provvedimento.*

l'Ordinanza n. 963 del 9 febbraio 2023 del Capo del Dipartimento della Protezione Civile, che, all'art. 1 (Misure di supporto alle attività del Commissario delegato), dispone, a sua volta, che:

1. *Il Commissario delegato, tenuto conto della relazione presentata dal Soggetto attuatore di cui all'articolo 1 dell'ordinanza del Capo del Dipartimento della protezione civile n. 951 dell'11 dicembre 2022, citata in premessa, può avvalersi dei Centri di competenza di cui all'articolo 21 del decreto legislativo n.1 del 2018 e delle Università coinvolte ai sensi dell'articolo 1, comma 3, della citata ordinanza n. 951/2022, in raccordo con l'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino meridionale, per la definizione dei criteri di indirizzo finalizzati alla realizzazione degli interventi più urgenti di messa in sicurezza, per la tutela della pubblica e privata incolumità nonché di riduzione del rischio residuo, di cui all'articolo 25, comma 2, lettera d), del citato decreto legislativo 2 gennaio 2018 n. 1 nel territorio interessato dagli eventi in rassegna. I fabbisogni economici correlati alla realizzazione degli interventi di che trattasi sono comunicati al Dipartimento della protezione civile, ai sensi e per gli effetti dell'art. 4 dell'Ordinanza del Capo del Dipartimento della protezione civile n. 948/2022.*
2. *Il Commissario delegato può avvalersi dei citati Centri di competenza e Università coinvolte anche per la definizione di strumenti e procedure, nonché per la realizzazione di attività tecniche volte alla valutazione dell'impatto e al rilievo del danno agli edifici privati e pubblici determinati dall'evento calamitoso indicato in premessa, siti in parti del territorio comunale di Casamicciola Terme, individuate dal Commissario Delegato sulla base della relazione del Soggetto Attuatore di cui al comma 1.*

3. *Per la realizzazione delle attività di cui al comma 2, il Commissario delegato può richiedere, per il tramite del Dipartimento della protezione civile, il supporto di tecnici esperti delle Regioni e Province autonome. Per la realizzazione delle predette attività, il Commissario delegato può richiedere altresì, direttamente, il supporto di tecnici del Comune interessato.*
4. *Agli oneri derivanti dalle attività di supporto di cui al comma 1 si provvede nell'ambito delle risorse disponibili per l'emergenza in rassegna, nel limite massimo complessivo di euro 400.000,00. Agli oneri derivanti dall'impiego di personale dei citati Centri di competenza e Università e dei tecnici regionali, per le attività di cui al comma 2, nel limite massimo di euro 75.000, si provvede a valere sulle risorse finanziarie disponibili per la gestione emergenziale in rassegna.*

Dando seguito a tale Ordinanza, Il Commissario delegato, con propria Ordinanza n.7 del giorno 24 febbraio 2023, ha disposto:

- all' Articolo 4 (Attività dei centri di competenza e Università),

1. *Il Commissario delegato, per la definizione di strumenti e procedure, nonché per la realizzazione di attività tecniche volte alla valutazione dell'impatto e al rilievo del danno agli edifici privati e pubblici determinati dall'evento calamitoso, si avvale della collaborazione scientifica dei seguenti Centri di competenza di cui all'articolo 21 del decreto legislativo n.1 del 2018 ed Università:*

- *Università del Sannio - Dipartimento di Scienze e Tecnologie;*
- *Università di Napoli Federico II: DICEA - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale, DIST - Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, DISTAR - Dipartimento di Scienze della Terra dell'Ambiente e delle Risorse;*
- *Università della Calabria: Centro di competenza CAMILab e Dipartimento DIMES;*
- *RELUIS – Rete di laboratori universitari ingegneria Sismica, Università di Napoli Federico II.*

Resta ferma la facoltà del Commissario di avvalersi, sentito il Dipartimento della protezione civile, di ulteriori centri di Competenza per le attività di cui al presente articolo nonché di autorizzare i suindicati Centri di Competenza e Università ad avvalersi di altre Strutture scientifiche e tecniche pubbliche.

2. *In particolare per le attività di cui al comma 1 i Centri di Competenza e Università forniscono supporto scientifico per le seguenti attività:*

a) *approfondimenti geologico-strutturali e definizione delle potenziali zone sorgente dei crolli delle valanghe e colate di detrito, ivi incluse modellazioni dinamiche per la definizione delle aree di invasione e dei "runout" dei fenomeni di crollo e delle valanghe detritiche;*

- b) rilievo e monitoraggio strumentale terrestre e da remoto per la ricostruzione di modelli digitali 3D del terreno, della vegetazione, degli edifici e delle infrastrutture;*
 - c) definizione delle principali concause di distacco e di innesco dei crolli, delle valanghe e delle colate detritiche ai fini delle valutazioni di stabilità;*
 - d) ricostruzione geomorfologica del reticolo idrografico originario nelle zone medio alte dei versanti;*
 - e) valutazione dei volumi erodibili, trasportabili e depositabili dalle frane e dai fenomeni alluvionali lungo le cave e i versanti potenzialmente instabili ai fini della progettazione di opere di mitigazione;*
 - f) ricostruzione della rete di smaltimento delle acque di drenaggio urbano, modellazione della propagazione dei deflussi nella zona valliva più densamente urbanizzata;*
 - g) individuazione dei punti critici (quali instabilità locali, officiosità inadeguata, sconessioni del sistema di drenaggio, ecc.), indotti o evidenziati dagli eventi del novembre 2022, che hanno prodotto un incremento significativo del livello di rischio; Presidenza del Consiglio dei Ministri Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022;*
 - h) valutazione dell'instabilità per fenomeni di scorrimento e liquefazione in condizioni sismiche nelle 'zone di attenzione' individuate dagli studi di Microzonazione Sismica seguiti all'evento dell'agosto 2017;*
 - i) definizione di criteri e metodi per il ripristino di operatività nell'area portuale invasa dai sedimenti trasportati a mare dall'evento;*
 - j) compilazione schede AEDEI e valutazioni strutturali e sismiche di edifici ed infrastrutture;*
 - k) valutazione degli interventi e dei piani di gestione delle specie arboree presenti sul territorio ai fini della mitigazione dei rischi;*
 - l) ogni altra attività strettamente connessa al perseguimento delle finalità di cui alla presente ordinanza.*
- 3. I Centri di Competenza e Università di cui al comma 1 forniscono altresì il supporto tecnico scientifico per la revisione della zonizzazione di cui all'ordinanza del Commissario delegato n. 4 del 30 dicembre 2022 nonché per la definizione dei criteri di indirizzo finalizzati alla realizzazione degli interventi di cui all'articolo 25, comma 2, lettere b) e d), del citato legislativo 2 gennaio 2018 n. 1, e, in particolare:*
- a) individuazione degli interventi urgenti necessari per la riduzione del rischio in relazione ai diversi meccanismi e contesti riscontrabili;*
 - b) collaborazione alla predisposizione del piano degli interventi;*

4. *I Centri di Competenza supportano inoltre il Comune di Casamicciola Terme collaborando alla redazione del piano comunale di protezione civile anche individuando possibili strategie di utilizzo del monitoraggio strumentale per la calibrazione di sistemi di allertamento nonché i compiti del presidio territoriale in tempo ordinario e in fase di allertamento e del relativo iter formativo secondo quanto previsto dalla direttiva del Presidente del Consiglio dei ministri del 30 aprile 2021 - Indirizzi di predisposizione dei piani di Protezione Civile;*
 5. *I rapporti tra la struttura Commissariale e i Centri di competenza e le Università, nonché la specifica delle reciproche attività di interesse comune da svolgersi, sono definiti mediante stipula di apposite convenzioni nelle quali sono altresì previsti gli oneri a carico della struttura Commissariale a valere sulle risorse di cui all'articolo 6.*
 6. *I centri di Competenza e Università concludono le attività di cui al comma 3, rimettendone gli esiti al Commissario, entro 45 giorni dall'adozione della presente ordinanza. Le altre attività di cui al presente articolo sono concluse secondo le modalità e i termini indicati nelle singole convenzioni stipulate con la struttura commissariale.*
- e, all'Articolo 5 (Piano degli interventi)
1. *Gli esiti dell'attività dei centri di competenza e delle Università relativamente alle attività di individuazione degli interventi di somma urgenza e di riduzione del rischio, concorrono alla definizione del piano degli interventi predisposto dal Commissario delegato e messo a disposizione per le finalità di cui all'articolo 5-ter del decreto legge n. 186 del 2022, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 gennaio 2023, n. 9, al Commissario straordinario di cui all'articolo 17 del decreto-legge 28 settembre 2018, n.109.*

Le anzidette strutture universitarie hanno provveduto a regolamentare le proprie attività col Commissario delegato attraverso la sottoscrizione di specifiche Convenzioni.

Tutto ciò premesso, le Strutture Universitarie sopra indicate, con l'ausilio di ulteriori strutture universitarie con cui hanno, a loro volta, sottoscritto, su autorizzazione del Commissario delegato, apposite convenzioni (Il Dipartimento di Ingegneria dell'Università di Napoli Parthenope, il Dipartimento di Agraria dell'Università di Napoli Federico II e il Dipartimento di Ingegneria Civile dell'Università di Salerno), hanno provveduto, previa l'esecuzione di una numerosa serie di sopralluoghi, studi, analisi, discussione, riunioni tenutesi presso la Struttura Commissariale e confronti con Tecnici ed esperti amministrativi in forza alla medesima Struttura, coordinati dal Vice-

Commissario dall'Ing. Gianluca Loffredo, alla redazione del presente *Piano di Interventi*, redatto ai sensi dell'art.5 dell'Ordinanza del Commissario delegato n.7 del 23 febbraio 2023.

1.2 DESCRIZIONE DEGLI EFFETTI AL SUOLO DELL'EVENTO

Come già indicato nel precedente paragrafo, all'incirca alle ore 5:00 del 26 novembre 2022, a seguito di un evento pluviometrico di elevata intensità occorso nella notte (131 mm in circa 6 ore, con picchi di intensità fino a 51 mm/h), si sono innescati una serie di fenomeni franosi multipli e di tipo complesso (WP/WLI, 1993; Cruden & Varnes, 1996; Hungr et al., 2014) nonché alluvionali simultanei che hanno invaso una parte del centro abitato di Casamicciola Terme (Isola d'Ischia) causando 12 vittime.

I fenomeni franosi, con prevalente meccanismo da flusso (Hungr et al., 2001), e quelli alluvionali hanno interessato tutti i bacini montani defluenti lungo il versante settentrionale del M. Epomeo (789 m s.l.m.), culminanti sullo spartiacque montuoso principale e confluenti verso l'abitato di Casamicciola Terme: cava Caduta, cava Fasaniello, cava Sinigallia e cava Celario. Tra i fenomeni franosi, quello innescatosi a partire dalla base della parte rocciosa settentrionale del M. Epomeo, dalla quota di circa 720 m s.l.m., in località Celario/Santa Barbara ha avuto i maggiori effetti catastrofici sulle abitazioni ed infrastrutture intercettate lungo il percorso, causando la perdita delle 12 vite umane.

Dopo pochi giorni dall'evento, mediante il coordinamento del Dipartimento di Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri, sono state intraprese una serie di attività conoscitive di carattere tecnico-scientifico da parte dei centri di ricerca INGV e ISPRA e delle Università campane (Campania Vanvitelli, Napoli Federico II, Salerno e del Sannio). In base alle specifiche competenze degli enti coinvolti, sono stati approfonditi, in via speditiva e preliminare, gli aspetti salienti per la valutazione del rischio residuo e per la strutturazione del piano di Protezione Civile del Comune di Casamicciola, da attuarsi da parte del Commissario delegato per l'emergenza Ischia (OCDPC n. 948 del 30 novembre 2022). Gli aspetti considerati hanno riguardato: a) la stima delle variazioni volumetriche indotte dai fenomeni franosi ed alluvionali in termini di erosione/deposito; b) analisi speditiva delle condizioni idrologiche e geomorfologiche del reticolo di drenaggio, dall'area sorgente delle colate detritiche fino all'area urbanizzata; c) il censimento dei fenomeni franosi; d) la caratterizzazione idrogeomorfologica e idraulica del reticolo idrografico; e) caratterizzazione geotecnica dei materiali coinvolti nei fenomeni di frana; f) modellazione dinamica per la previsione delle aree di transito e invasione da colate detritiche e da crollo; g) analisi idrologica dell'evento

pluviometrico innescente. Al fine di una descrizione sintetica dei fenomeni franosi ed alluvionali occorsi, i risultati dei suddetti studi sono di seguito sintetizzati in maniera introduttiva e successivamente ampliati nella restante parte del presente rapporto. Le attività tecnico-scientifiche si sono basate sui dati aereofotografici e LiDAR ad alta risoluzione (fonte Copernicus e rilievi effettuati dalla Guardia di Finanza), acquisiti nei giorni successivi all'evento, nonché su dati pluviometrici registrati sull'Isola.

Sulla base delle registrazioni delle quattro stazioni pluviografiche automatiche presenti sull'isola d'Ischia (Forio, Ischia, M. Epomeo e Piano Liguori) e gestite dal Centro Funzionale della Protezione Civile regionale, l'intera Isola è stata investita, a partire all'incirca dalla mezzanotte del 25 novembre 2022, da un intenso fenomeno pluviometrico, molto significativo dal punto di vista statistico-probabilistico, che ha raggiunto il valore massimo della cumulata a 6 h alla stazione di Forio, con 131.4 mm. L'analisi statistica dei valori registrati ha evidenziato periodi di ritorno non inferiori a 200 anni per il pluviografo di Forio e superiori a 50 anni per gli altri pluviometri, quindi evidenziando l'eccezionalità statistica dell'evento idrologico e degli effetti geomorfologici indotti nei bacini montani del versante settentrionale del M. Epomeo. Sulla base di questi ultimi, è possibile dedurre che l'evento pluviometrico, sebbene abbia coinvolto l'intera Isola, si sia manifestato con maggiore intensità in corrispondenza del versante settentrionale del M. Epomeo, evidenziandone quindi il carattere di elevata localizzazione spaziale, tipico degli eventi pluviometrici di intensità estrema.

L'eccezionale fenomeno pluviometrico ha indotto processi denudazionali i cui effetti geomorfologici sono stati amplificati dalle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e vegetazionali del versante settentrionale del M. Epomeo. Procedendo dal crinale montuoso principale verso la linea di costa, tale contesto fisiografico è caratterizzato, da tre ambiti geomorfologici contigui. Il primo, che si sviluppa fino dalla sommità fino alla quota di circa 250 m s.l.m., è caratterizzato da versanti ad elevata acclività (angolo di pendio medio di 35°), a struttura anaclinale, formati dalla successione dei depositi marini (siltiti e brecce) dell'Unità di cava Celario (età: maggiore di 61.0 k-anni) e delle Unità tufacee del Pizzone, Frassitelli e verde dell'Epomeo (età: compresa tra 61.0 e 56.5 k-anni) che è ripetutamente dislocata da sistemi di faglie normali e, subordinatamente, inverse. Detti elementi tettonici sono l'effetto della deformazione indotta dalla risorgenza della struttura intracalderica, successiva alla deposizione del Tufo verde del M. Epomeo (56.5 k-anni) (Orsi et al, 1991; Acocella & Funiciello 1999). Il secondo, fino alla quota di circa 100 m s.l.m., con angolo di pendio medio di circa 20°, è contraddistinto da conoidi antiche coalescenti formate da depositi epiclastici marini e continentali, derivanti dalla denudazione della struttura del M. Epomeo (Unità della Grande Sentinella e di depositi di frane antiche), che attualmente sono profondamente incise dal reticolo idrografico e pertanto fossilizzate. Il terzo, fino alla linea di costa,

con angolo di pendio medio di 11°, si caratterizza come una zona di transizione alla fascia costiera, quindi formato da depositi marini e continentali attuali. Lungo la costa si rinvennero superfici terrazzate, dislocate a diverse quote e caratterizzate dalla presenza in superficie di depositi marini ed una piana costiera di età olocenica, che testimoniano l'intensa attività vulcano-tettonica recente. Il reticolo idrografico si presenta a basso ordine gerarchico (*sensu* Horton, 1945), ma profondamente inciso in alcuni settori, determinando condizioni di elevata acclività delle sponde e potenziale suscettibilità a franare. Per la spiccata erodibilità dei terreni affioranti, detritici, vulcanoclastici e tufacei, il reticolo idrografico è in genere profondamente inciso, fino ad assumere morfologie da canalone (*canyon*), con fianchi vallivi fino a subverticali ed alti diverse decine di metri. L'insieme di questi caratteri rende classificabili i corsi d'acqua nelle categorie Aa+ e A, tipicamente caratterizzati da fenomeni di trasporto di massa con modalità da flusso (Rosgen, 1994).

Le suddette condizioni geomorfologiche caratterizzano il settore settentrionale del M. Epomeo come ad elevata per fenomeni di frana ed alluvionali, così come evidenziato dagli elaborati del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PSAI) per il rischio da frana, redatto dall'ex Autorità di Bacino Campania Centrale, aggiornato nel 2015, redatto dalla UoM Campania Nord Occidentale che individua, in generale, per i pendii e le aree pedemontane di M. Epomeo, nei comuni di Casamicciola Terme, Lacco Ameno e Forio, estesi settori perimetrati a pericolosità da frana molto elevata (P4), elevata (P3) e media (P2), legata a fenomeni di frana del tipo colata rapida di fango e/o detrito e del tipo crollo. In tale contesto, i fenomeni denudazionali dell'evento del 26 novembre, si sono sviluppati con maggiore intensità nel primo ambito geomorfologico, coinvolgendo le coltri di alterazione pedogenizzate delle formazioni tufacee, ed in parte piroclastiche, nonché la copertura arborea, quindi propagandosi verso valle ed interessando il centro abitato di Camicciola Terme, che si sviluppa a partire dal secondo ambito geomorfologico.

I fenomeni franosi e quelli alluvionali hanno contribuito ad un'intensa denudazione dei settori dei bacini idrografici montani, ricadenti nel primo ambito geomorfologico e corrispondenti alle zone di impluvio ed a maggiore acclività, generando il trasporto di volumi complessivamente stimati, mediante analisi differenziale topografica, basata su DEM LiDAR ad alta risoluzione (precedenti e successivi all'evento), in circa 200.000 m³. Le diverse tipologie dei processi denudazionali ed i differenti comportamenti reologici connessi, si sono verificati in maniera complessa, composita e variabile nello spazio e nel tempo, comportando l'evoluzione degli iniziali fenomeni da frana da scorrimento/colata in flussi iperconcentrati (Pierson & Costa, 1987; Pierson, 2005), per diluizione con i deflussi di ruscellamento superficiale, oppure determinando, già dall'area sorgente, fenomeni erosionali con formazione di flussi iperconcentrati. L'insieme dei fenomeni denudazionali ha determinato un ingente trasporto detritico-fangoso e di biomassa vegetale negli alvei dei bacini

idrografici interessati dall'evento, che, dopo la confluenza in corrispondenza di Piazza Bagni, è proseguito verso la linea di costa, determinando la progradazione di quest'ultima e la formazione di un piccolo delta fluviale.

L'attività ricognitiva basata sull'esame delle ortofoto ad alta risoluzione riprese successivamente all'evento, ed i rilievi in campo, hanno consentito di riconoscere l'estensione dell'area colpita dai fenomeni denudazionali. In particolare, sono state riconosciute circa un centinaio di frane iniziali, distribuite nelle testate dei suddetti bacini idrografici e lungo le sponde degli stessi, classificabili come scorrimenti iniziali coinvolgenti da pochi m³ a poche decine di m³ di suolo e/o detrito (*soil slip / debris slide*) in condizioni morfologiche di elevata acclività, comprese nell'intervallo di angolo di pendio tra 40° e 50°. I materiali coinvolti sono ascrivibili alle sottili coltri di alterazione del substrato, rappresentato da ammassi rocciosi tufacei o da depositi di frana antica, e piroclastiche, con spessore prevalentemente inferiore ad 1 m; la componente organica dei materiali trasportati è rilevante inglobando prodotti pedogenizzati, apparati radicali nonché vegetazione arborea ed arbustiva.

Le condizioni di innesco di queste frane iniziali appaiono essere riconducibili a fenomeni di infiltrazione e deflusso sub-superficiale (*throughflow*) occorrenti nella sottile coltre di alterazione/suolo, a maggiore permeabilità del substrato, che hanno determinato, in relazione ai fattori morfologici, geotecnici e idraulici locali, le condizioni critiche per la stabilità del pendio. Tale meccanismo di innesco appare essere comune a quello tipico delle frane superficiali indotte da precipitazioni di forte intensità (Campbell, 1975), come anche di recenti fenomeni di colata detritica avvenuti sull'isola d'Ischia, frane del Monte di Vezi del 30 aprile 2006 (De Vita et al., 2007) ed evento di Casamicciola del 10 novembre 2009 (Calcaterra et al., 2010; Santo et al., 2012), nel contesto dei rilievi dei Campi Flegrei (Calcaterra et al., 2007; Palma et al., 2009; Fusco et al., 2019) e dei Monti di Sarno-Avella e Lattari (Guadagno et al., 2005; Palma et al., 2009), che pertanto limita ai soli orizzonti superficiali della coltre di alterazione/piroclastica, in parte pedogenizzati, le condizioni di infiltrazione e deflusso sotterraneo, escludendo quindi il ruolo idrogeologico del substrato, sia esso di natura vulcanica o sedimentaria, carbonatica (De Vita et al., 2013) o flyschoida (Santo et al., 2018).

Le cause di innesco dei fenomeni sopra citati hanno in genere carattere aleatorio. L'origine dei fenomeni è d'altra parte da ascrivere anche e soprattutto all'attingimento nella coltre di uno stato predisponente alla propagazione dell'innesco che, al contrario, ha carattere prevedibile. Tale stato deriva dai significativi accumuli di precipitazione osservati nelle settimane e nelle ore antecedenti il fenomeno, che incrementano il contenuto d'acqua della coltre fino a valori prossimi alla saturazione e conducono verso l'annullamento della suzione, con conseguente abbattimento della coesione apparente da essa indotta. L'alterazione delle variabili idrologiche e le riduzioni di coesione

apparente riducono la resistenza della coltre, rendendola nel contempo instabile per meccanismi di rottura del pendio o per liquefazione (Hungry et al., 2001, 2014) e predisponendo altresì il pendio alla propagazione laterale e verso valle degli effetti erosivi.

Dopo l'innescò, in relazione all'elevato angolo di pendio, alla morfologia localmente planare del versante ed alla presenza di spessori significativi di coltre di alterazione/piroclastica, in numerosi casi le frane iniziali sono evolute verso valle in forma di valanga (*debris avalanche*), quindi mediante un cambio di comportamento reologico da solido a fluido connesso a fenomeni di liquefazione dinamica. Tale meccanismo ha determinato una distribuzione in avanzamento ed in allargamento verso valle (WP/WLI, 1993) nonché la completa mobilitazione delle coltri di alterazione/piroclastiche e della copertura arborea ivi presente, rappresentata in prevalenza da bosco di castagno. Successivamente, i flussi valanghivi si sono incanalati nella rete idrografica dando luogo a colate detritiche incanalate (*debris flows*) che hanno eroso il fondo delle incisioni e le sponde delle stesse, determinando l'abbassamento del piano campagna fino a circa 7.5 m in corrispondenza del percorso della frana principale innescatasi in località Celario/Santa Barbara. L'intensa erosione lineare, soprattutto nel caso della frana della cava Celario, ha determinato non solo la rimozione delle coltri detritiche presenti nel fondo alveo ma anche l'incisione dei depositi di frane antiche e recenti (età: Olocene-Attuale), ove costituenti il fondo e le sponde degli alvei. Per la natura fortemente eterogenea ed eterometrica di detti depositi, l'azione erosiva delle colate detritiche ha mobilitato anche blocchi di roccia tufacea di alcuni metri cubi presenti nel preesistente deposito di frana ed immersi in matrice limoso-sabbiosa, determinandone il trasporto verso valle. Inoltre, il flusso delle colate detritiche e l'erosione delle sponde hanno contribuito a fenomeni franosi che hanno incrementato il flusso detritico verso valle.

Le colate detritiche defluite negli alvei degli impluvi montani hanno inglobato le ingenti portate di ruscellamento, diluendosi e pertanto cambiando progressivamente lungo il percorso il proprio comportamento reologico, fino a raggiungere quello dei flussi iperconcentrati (Pierson & Costa, 1987; Pierson, 2005). Per la limitata estensione dei bacini idrografici, inferiore ad 1 km², il basso ordine gerarchico (*sensu* Horton, 1945), che raggiunge il valore massimo di 3, per le condizioni di elevata acclività ed i tempi di corrivazione brevi, inferiori ad 1 h, le portate liquide defluenti in alveo hanno raggiunto il valore del colmo di piena durante l'evento pluviometrico, quindi massimizzando l'effetto di trasporto e diluizione delle colate detritiche. Nella testata di numerosi impluvi montani di primo ordine gerarchico non è apprezzabile la presenza di fenomeni franosi, quanto piuttosto di fenomeni di erosione lineare che hanno determinato il trasporto a valle di materiali detritici in forma di deflussi iperconcentrati che, a valle, sono confluiti insieme a quelli derivati da fenomeni franosi.

In base alla preliminare caratterizzazione geotecnica, finalizzata alla possibile riutilizzazione degli stessi, i depositi di frana sono classificabili come eterometrici, per la presenza di una prevalente matrice limoso-sabbiosa a bassa plasticità ed una subordinata frazione ghiaiosa, con occasionale pezzame lapideo di natura tufacea ricadente nella classe granulometrica dei blocchi. Pertanto, i depositi sono classificabili nelle classi SM e GM della classifica USCS. Inoltre, per la presenza di una frazione di ghiaia sempre superiore al 20%, il materiale è classificabile come detrito (*debris*) *sensu* Cruden & Varnes (1996).

Nel primo ambito geomorfologico, gli affioramenti delle formazioni tufacee sono caratterizzati da condizioni morfologiche che localmente possono raggiungere valori di angolo di pendio molto elevato, da 60° fino alla subverticalità, formanti costoni e pareti rocciose, come nel caso della parete sommitale del M. Epomeo. Dette singolarità geomorfologiche, che si sviluppano su una superficie reale complessiva di circa 150.000 m² (angolo di pendio > 60°) sono associabili a fenomeni di erosione differenziale dei livelli di maggiore competenza della serie dei depositi tufacei e agli effetti della dislocazione tettonica recente della serie stessa. In relazione allo stato di fratturazione degli ammassi rocciosi tufacei, dette pareti rocciose sono suscettibili al distacco ed al crollo di massi e blocchi, fino alla dimensione di alcuni metri cubi, come peraltro evidenziato dai numerosi blocchi osservati alla base delle pareti rocciose e rimbalzati/rotolati verso valle. Tale condizione di pericolosità appare estendibile anche ai depositi eterometrici di frana recente, che, laddove fortemente reinciati dal reticolo idrografico e dai recenti sollevamenti tettonici, evidenziano condizioni di elevato angolo di pendio (> 60°) e quindi la possibilità di distacco e crollo di clasti di dimensioni anche di alcuni metri cubi, con conseguente propagazione verso valle. Il meccanismo delle frane da crollo dalle pareti e costoni tufacei del primo ambito geomorfologico, nonché quello della mobilità dei blocchi, sono ben evidenti anche considerando la posizione di blocchi di grandi dimensioni (10¹-10² m³) di frane recenti ed antiche (Guadagno & Mele, 1992; 1995a; 1995b; Della de Vita et al., 2006; Seta et al., 2012; Alvioli et al., 2022), ben evidenziabili dal DEM LiDAR ad alta risoluzione. La mobilità dei blocchi rocciosi appare in generale essere fortemente condizionata dalla presenza della vegetazione arborea (in prevalenza bosco di castagno) che esercita un'azione di trattenimento significativa. Sempre in riferimento a questa problematica, il settore del primo ambito geomorfologico esposto verso NW, quindi verso l'abitato di Forio, appare caratterizzato da una maggiore pericolosità, sia per la presenza di numerosi blocchi e pinnacoli rocciosi di grandi dimensioni (fino a 10³ m³), in apparente stato di precaria stabilità, che per l'assenza di bosco.

Nella disamina dei fenomeni franosi ed alluvionali del 26 novembre 2022, riveste particolare rilievo il fenomeno franoso innescatosi nella località Celario/Santa Barbara che ha determinato gli effetti geomorfologici maggiormente intensi e l'impatto più catastrofico sugli edifici colpiti. Detto

fenomeno franoso si è originato alla quota di circa 720 m s.l.m., in un settore ad elevata acclività e a partire dalla base della parete rocciosa tufacea del M. Epomeo. La frana è iniziata come uno scorrimento iniziale della coltre alterata e pedogenizzata in un settore di versante planare con larghezza di circa 15 m, lunghezza circa 20 m ed angolo di pendio di circa 50°. Dai rilievi in campo, lo spessore reale della coltre, coinvolto nell'instabilità, è stato stimato in circa 0.5 m, consentendo di stimare un volume della frana iniziale pari a circa 150 m³. Per la prossimità dell'innesco alla parete rocciosa è possibile identificare un contributo causale della stessa che, allo stato delle conoscenze attuali, è dubitativamente attribuibile alla caduta di blocchi di tufo o di masse di detrito dalla sommità della parete stessa, nonché all'intenso apporto idrico determinato dal ruscellamento superficiale lungo la parete rocciosa e al contributo idrico dei sistemi di discontinuità beanti. Successivamente alla zona di innesco della frana iniziale, l'area coinvolta nel percorso di frana si è ampliata progressivamente generando una forma complessivamente sub-triangolare ed inglobando anche le aree di displuvio contermini, evidenziando così un meccanismo valanghivo di avanzamento (*debris avalanche*). In tale contesto geomorfologico, la presenza di balze rocciose subverticali lungo il percorso della frana, connesse a banchi di tufo e ad altri elementi morfostrutturali, ha determinato un'esaltazione dell'energia cinetica conferendo al flusso energia crescente e maggiore capacità erosiva e di espansione laterale. Dalle osservazioni effettuate, nelle aree di transito della valanga di detrito, la coltre di alterazione e vegetale è stata completamente scarificata mettendo a giorno il substrato. È altresì importante evidenziare il ruolo non trascurabile della biomassa arborea, rappresentata dal bosco di castagno, che ha contribuito significativamente all'incremento del volume della massa franata. Fenomeni di profonda erosione lineare connessi al transito del flusso detritico sono riconoscibili a partire da una distanza planimetrica di circa 100 m dal coronamento caratterizzati dall'incisione di elementi idrografici preesistenti. Detti fenomeni di erosione si accentuano progressivamente verso valle raggiungendo il massimo effetto dopo la confluenza due impluvi di primo ordine gerarchico, alla distanza planimetrica di circa 250 m a valle del coronamento ed alla quota di circa 480 m s.l.m.. In detto settore, l'impluvio di secondo ordine gerarchico, che si sviluppa per una lunghezza planimetrica di 445 m e termina a valle in un ripiano morfologico ubicato a quota 250 m s.l.m., si evidenziano i più accentuati effetti dell'erosione del flusso detritico con asportazione del materiale costituente l'originario fondo dell'alveo fino a spessori di 7.5 m, comprendente i depositi eterometrici di frana antica e recente. Allo sbocco del suddetto impluvio sul ripiano morfologico a quota 230 m s.l.m., la colata detritica si è espansa impattando e distruggendo gli edifici per civile abitazione presenti nell'area e depositando materiale di frana tra cui blocchi di Tufo Verde di alcuni metri cubi. Lungo il successivo percorso verso valle, a causa della diluizione con acque di ruscellamento superficiale la colata detritica si è trasformata in un flusso

iperconcentrato che si è propagato attraverso l'abitato di Casamicciola Terme raggiungendo la linea di costa. In particolare, in prossimità del displuvio secondario che separa i bacini idrografici della cava La Rita e della cava Celario (zona di Via Celario), il flusso detritico, per l'elevata velocità e portata, ha sormontato il crinale dividendosi in due rami, diretti rispettivamente lungo l'alveo della cava Celario ed il pendio a nord del crinale. In questo settore, il flusso detritico ha impattato con energia elevata i fabbricati ivi presenti arrecando danni gravi e vittime. Il flusso ha successivamente percorso la viabilità lungo il pendio settentrionale (via S. Barbara) incanalandosi in parte nell'alveo della cava Celario, tributario di sx della cava Sinigallia, che recapita le acque nell'ambito urbano nei pressi di Piazza Bagni producendo un flusso denso di fango e detrito.

In merito alla valutazione degli scenari di pericolosità residua per innesco e propagazione di frane per scorrimento colata e da crollo, sono state adottate modellazioni su base empirica, basate sull'angolo di *reach* (Corominas, 1996) e numeriche, basate sul codice DAN3D (Hungar, 1995).

Inoltre, a partire sia dalle simulazioni effettuate col codice DAN-3D, avvalendosi del codice di calcolo 2D_UFM Rel.2.1 (Pianese & Barbiero, 2003; Pianese & Barbiero, 2004; Iavarone et al., 2004; Cozzolino & Pianese, 2004), sono state effettuate una serie di simulazioni relative ai flussi iperconcentrati che si potrebbero ingenerare, lungo i tratti medio-vallivi delle diverse *cave* e lungo le zone medio-vallive dei versanti, allorché le colate detritiche, in corrispondenza delle rotture di pendio, vanno ad arrestarsi, dando origine alla fuoriuscita di acqua frammista a sedimenti molto fini dagli spazi intergranulari delle frazioni viceversa depositatesi.

1.3 DESCRIZIONE DELLE CARATTERISTICHE PLUVIOMETRICHE DELL'EVENTO

Nel presente paragrafo è riportata l'analisi pluviometrica dell'evento idrometeorologico che, nella giornata del 26 novembre, ha interessato il territorio dell'isola di Ischia.

L'analisi pluviometrica è stata condotta con riferimento ai valori della precipitazione osservati, per le diverse durate considerate, nella giornata del 26 novembre 2022, nelle stazioni della rete di monitoraggio in tempo reale gestita dal Centro Funzionale Multirischio della Protezione Civile della regione Campania. L'ubicazione delle stazioni e ulteriori elementi identificativi sono riportati, rispettivamente, in Figura 1 e Tabella 1.



Figura 1 - Posizionamento delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento.

Tabella 1 - Caratteristiche delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento.

Nome stazione	Latitudine	Longitudine	Quota [m s.l.m.m.]	Anni di funzionamento
FORIO	40.7319	13.8791	340	15
ISCHIA	40.7400	13.9469	25	15
MONTE EPOMEO	40.7116	13.8955	390	21
PIANO LIGUORI	40.7105	13.9497	320	15

In Tabella 2 sono riportati i valori massimi registrati per le diverse durate (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 12 ore) nel corso dell'evento analizzato.

Tabella 2 - Valori massimi (in mm) registrati per le diverse durate nel corso dell'evento.

Stazioni \ Durate[h]	1	2	3	4	5	6	12
FORIO	57.6	76.2	97.6	105.4	122.6	131.4	168.0
ISCHIA	40.6	56.2	62.8	73.0	100.6	118.6	156.0
MONTE EPOMEO	50.4	69.4	82.6	94.0	102.4	109.4	137.8
PIANO LIGUORI	43.6	58.6	63.4	68.8	72.2	93.4	142.8

Dall'analisi della tabella si deduce che le altezze di precipitazione più significative, in termini di intensità, sono state registrate presso i pluviometri di Forio e M. Epomeo, ossia il versante occidentale dell'isola di Ischia.

Per la valutazione comparativa dell'entità delle altezze massime di precipitazione osservate nel giorno d'interesse, si è proceduto al confronto dei valori registrati nelle stazioni considerate con quelli relativi alle serie storiche di durate pari a 1h, 3h, 6h e 12h mediante istogrammi riportati dalla Figura 2 alla Figura 5.



Figura 2 - Istogramma della serie storica dei massimi annuali di diversa durata: Stazione pluviometrica di Forio.

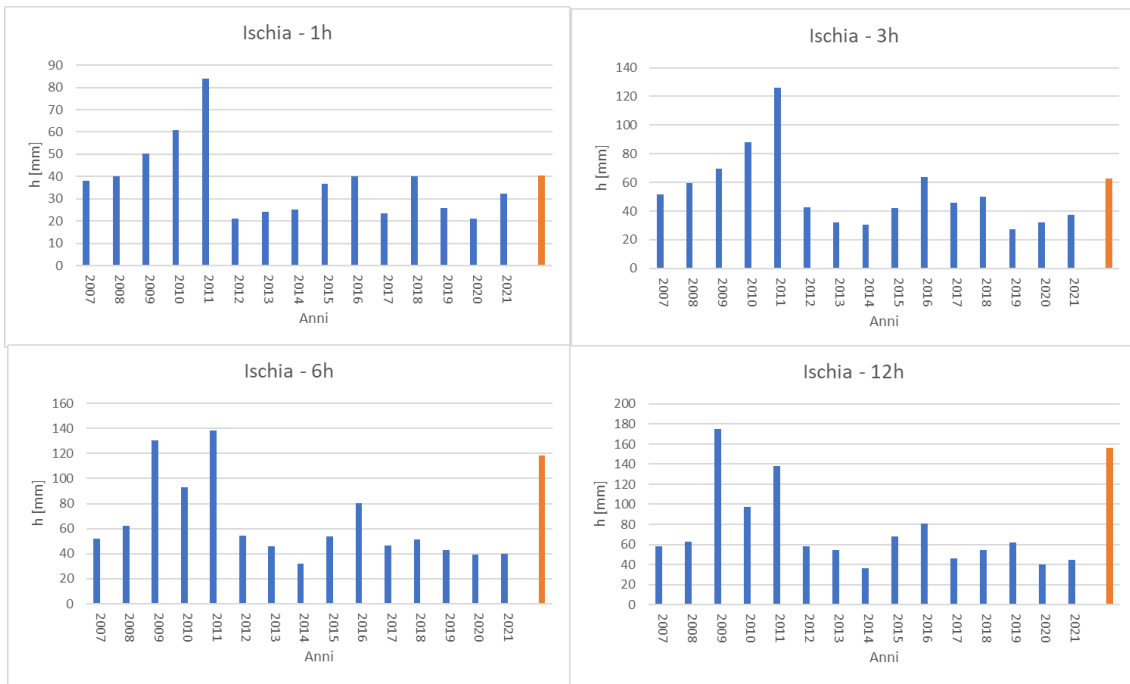


Figura 3 - Istogramma della serie storica dei massimi annuali di diversa durata: Stazione pluviometrica di Ischia.

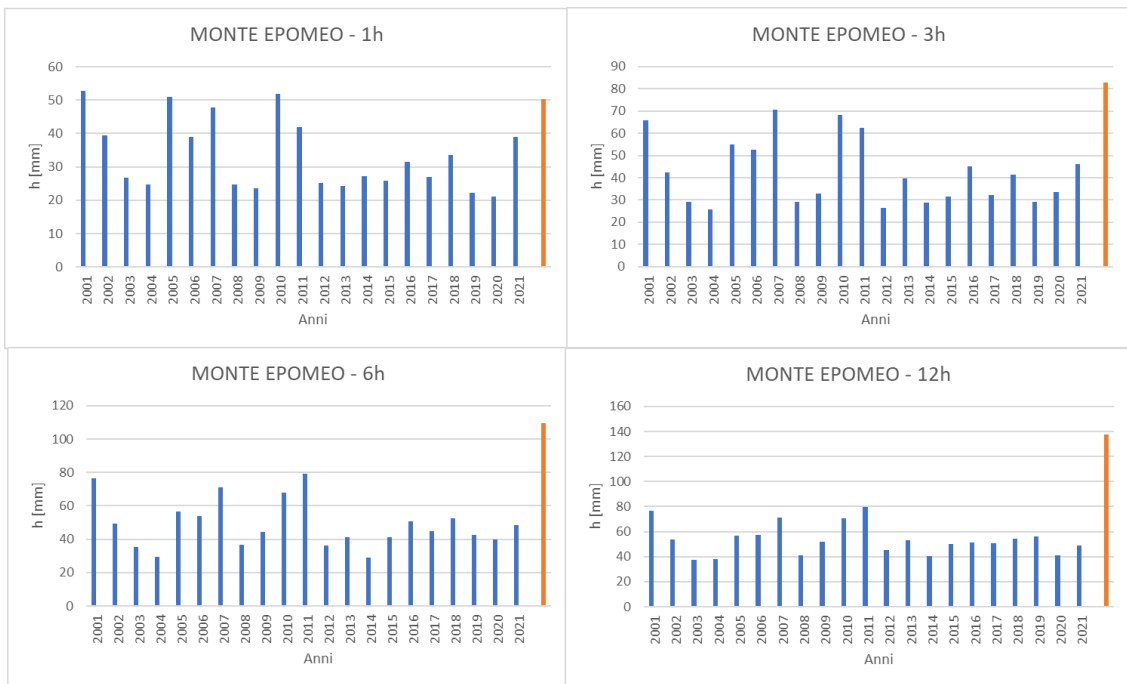


Figura 4 - Istogramma della serie storica dei massimi annuali di diversa durata: Stazione di Monte Epomeo

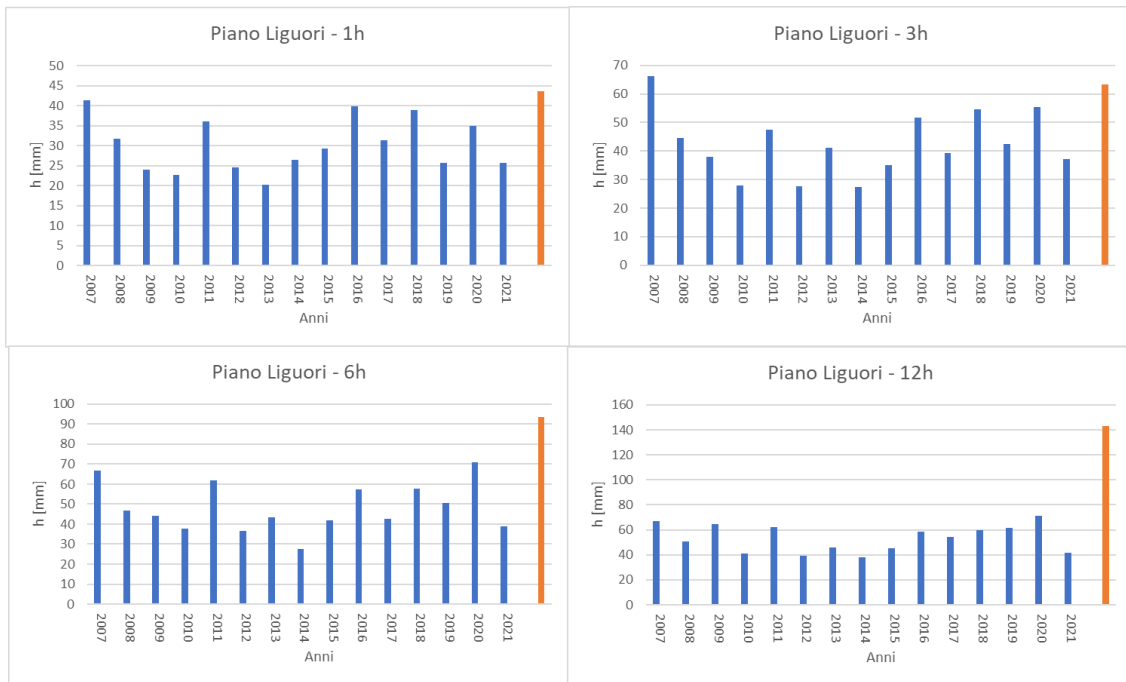


Figura 5 - Istogramma della serie storica dei massimi annuali di diversa durata: Stazione di Piano Liguori.

Note le serie storiche delle stazioni pluviometriche si è provveduto a stimare la curva di possibilità pluviometrica a scala di isola (analisi regionale con riferimento alle sole quattro stazioni). Si è fatto riferimento ad una struttura di tipo tri-parametrica data da:

$$m(h_d) = \frac{I_0 * d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^\beta} \quad (1)$$

dove:

- I_0 è l'intensità di pioggia corrispondente alla durata d pari a zero;
- d è la durata di pioggia;
- d_c rappresenta una durata di pioggia definita caratteristica;
- β è un parametro del modello dato da: $\beta = C - D * z$, essendo z la quota sul livello medio mare dello strumento di misura.

Dall'analisi di regressione condotta sui valori osservati dei massimi annuali delle altezze di pioggia di assegnata durata disponibili per le stazioni presenti sull'Isola di Ischia (forniti dal Centro Funzionale Multirischi della Regione Campania) sono stati ottenuti i seguenti parametri (Tab. 3):

Tabella 3 - Parametri della curva di probabilità pluviometrica tri-parametrica regionale relativa all'isola di Ischia.

I₀ [mm/h]	157.047
dc [h]	0.18
C [-]	0.7648
D [-]	0.0001909

L'espressione della curva di probabilità pluviometrica così ottenuta è stata confrontata (v. Fig. 6) con quella proposta nell'ambito del progetto "Valutazione delle Piene (VAPI)" Campania (ricadendo l'area di interesse nella sottozona A1) e quella fornita dall'Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (ricadendo l'area di interesse nella sottozona C1). I parametri delle due curve sono riportati in Tabella 4.

Tabella 4 - Parametri della curva di probabilità pluviometrica tri-parametrica regionale relativa al progetto VAPI e alla pubblicazione dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale.

Parametri	VAPI - A1	Autorità di Bacino - C1
I₀ [mm/h]	77.08	68.81
dc [h]	0.3661	0.2842
C [-]	0.7995	0.7580
D [-]	-0.000086077	-0.000145

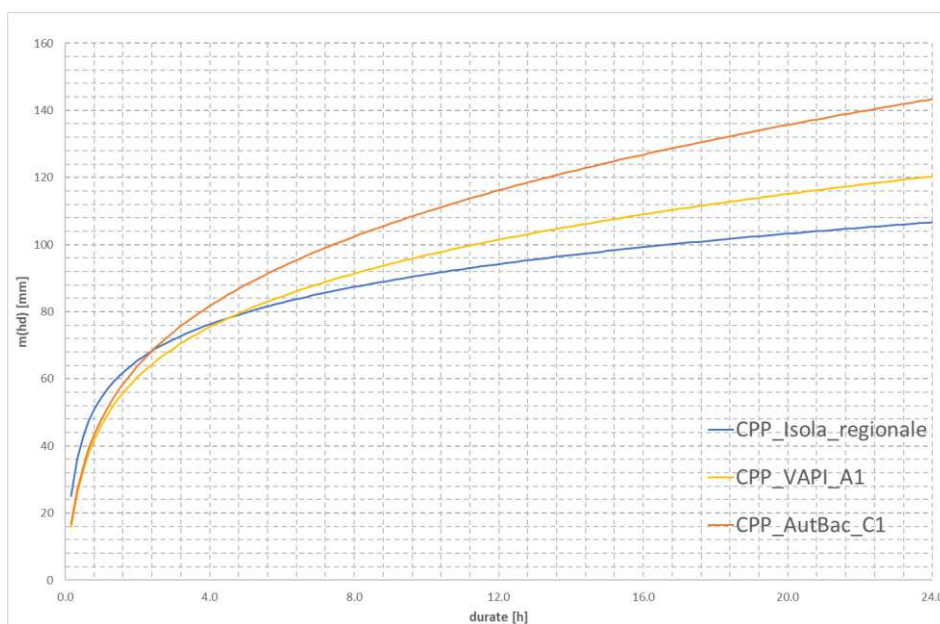


Figura 6 - Confronto tra le curve di probabilità pluviometrica: regionale per la sola isola di Ischia (blu), regionale VAPI (sottozona A1 - gialla) e regionale (sottozona C1) dell'ex Autorità di Bacino Regionale della Campania Centrale (arancione) con riferimento ad una quota di 340 m s.l.m.m..

I massimi per fissata durata (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 12 ore) relativi all'evento del 26 novembre per le quattro stazioni di misura sono stati confrontati sia con la curva regionale qui individuata per la sola isola (Fig. 7), sia con la curva fornita nell'ambito del progetto VAPI (Fig. 8) per diversi valori del periodo di ritorno (T=20, 50, 100, 200, 500 anni).

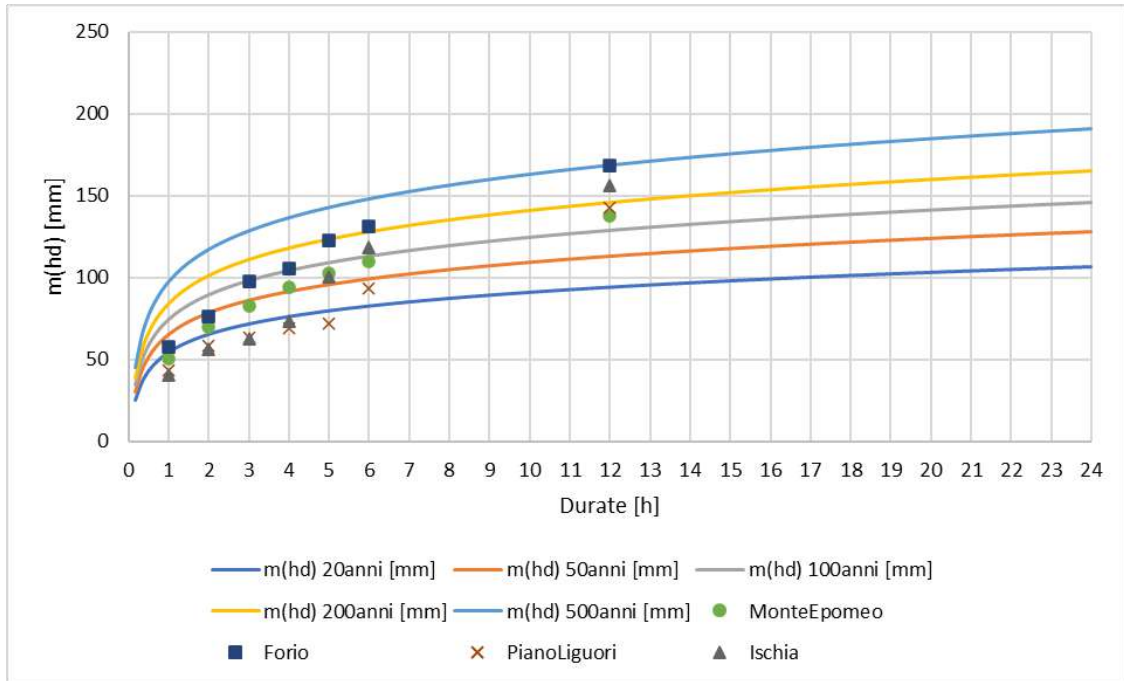


Figura 7 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica regionale per la sola isola di Ischia al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre.

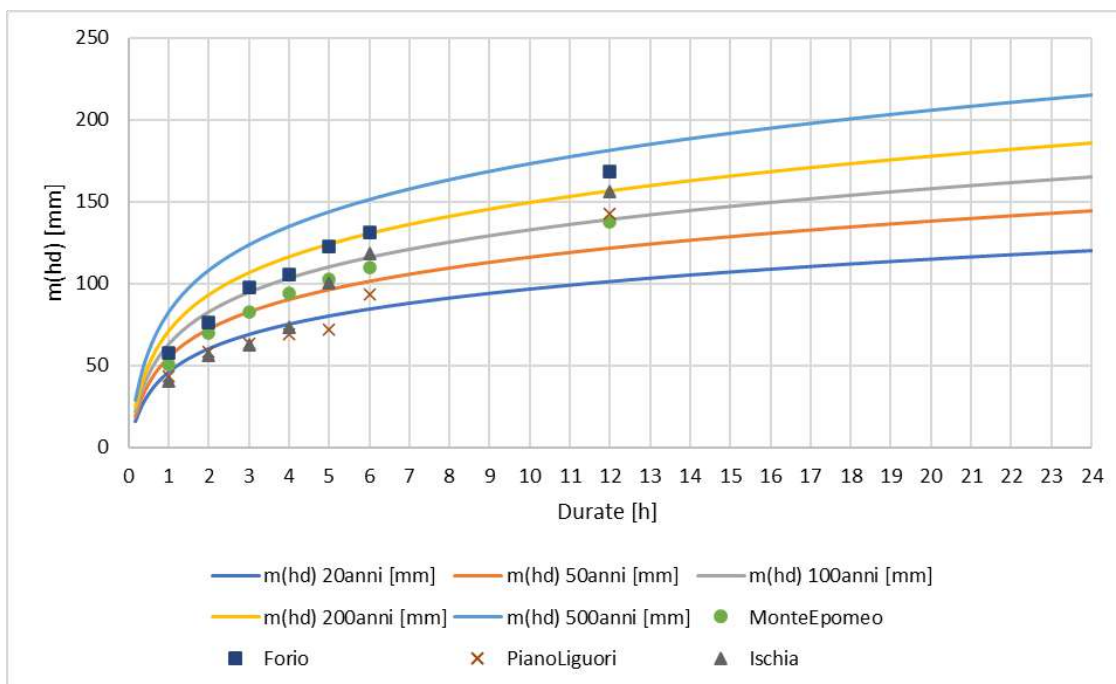


Figura 8 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica regionale VAPI (sottozona 1) al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre.

In aggiunta, per ciascuna delle quattro stazioni pluviometriche si è provveduto a stimare la curva di possibilità pluviometrica locale (riferita alla serie pluviometrica del singolo pluviografo) considerando una struttura di tipo tri-parametrica. I massimi per fissata durata (1, 2, 3, 4, 5, 6 e 12 ore) relativi all'evento del 26 novembre sono stati confrontati sia con la rispettiva curva locale per diversi valori del periodo di ritorno (T=20, 50, 100, 200, 500 anni). Si riportano, dalla Figura 9 alla Figura 12, i confronti, rispettivamente, per le stazioni di: Forio, Ischia, Monte Epomeo e Piano Liguori.

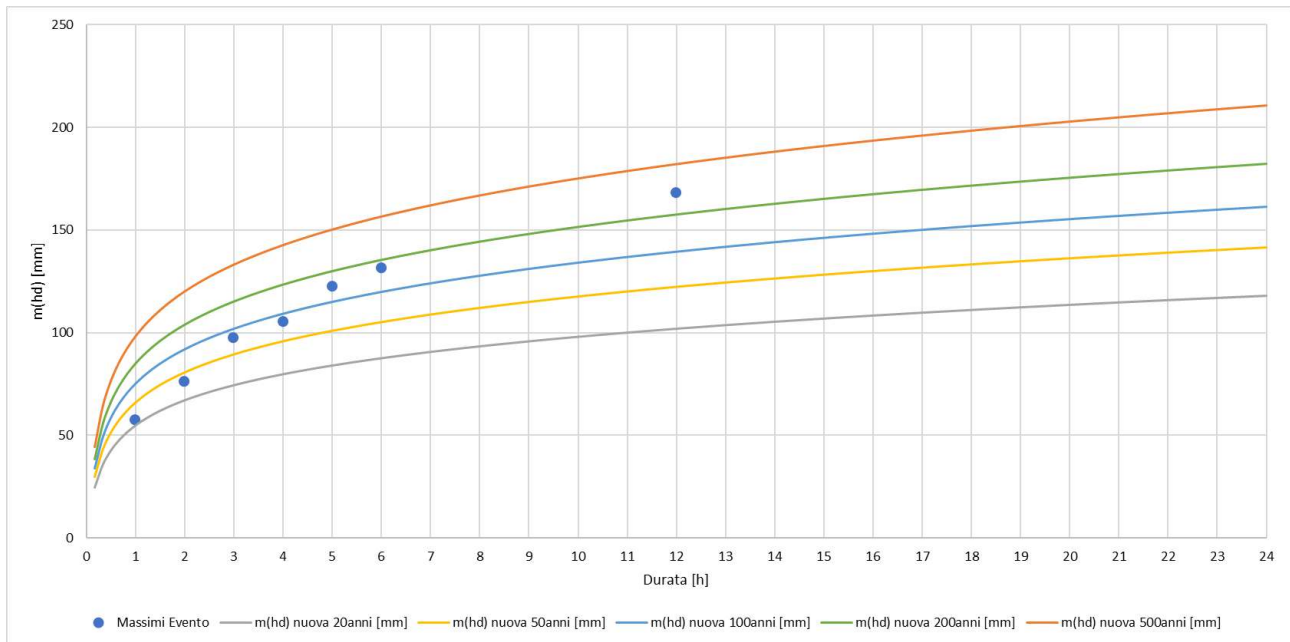


Figura 9 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica locale al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre registrati dal pluviometro di Forio.

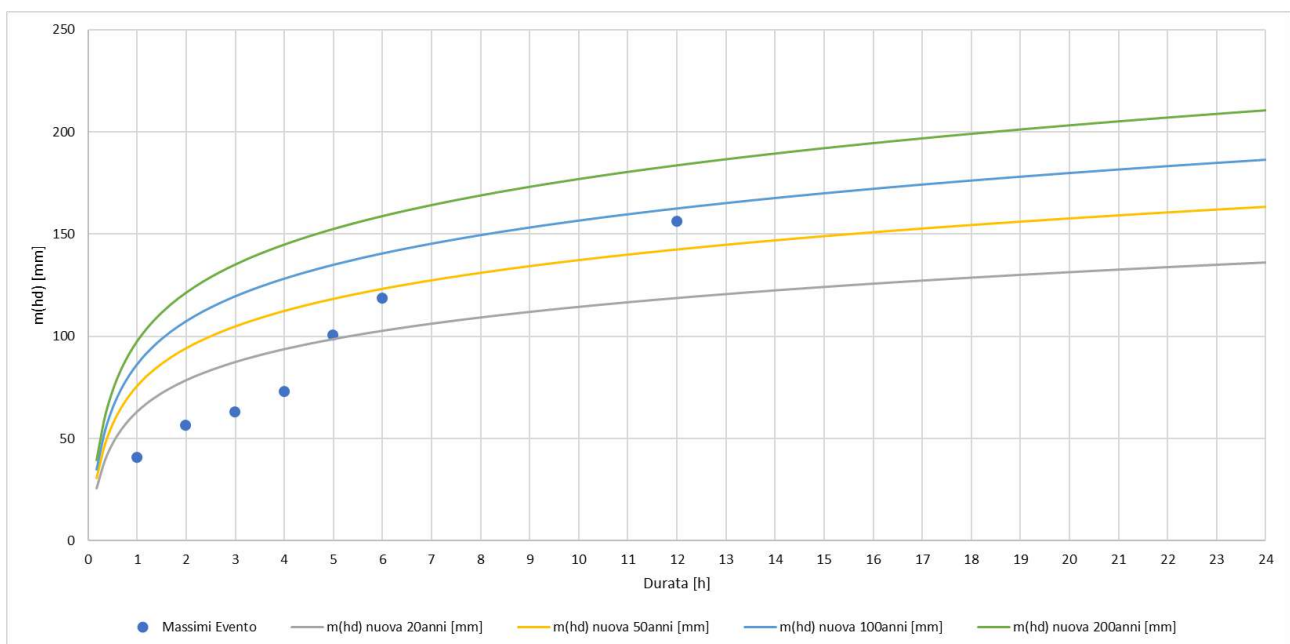


Figura 10 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica locale al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre registrati dal pluviometro di Ischia.

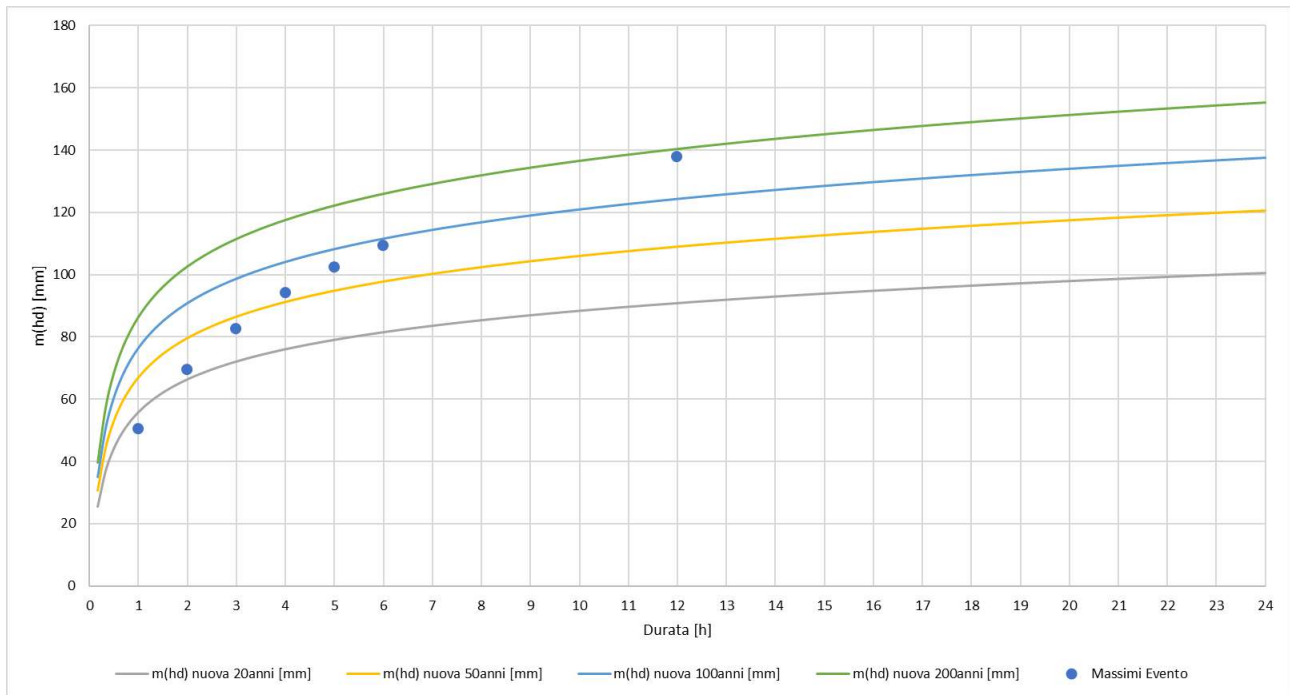


Figura 11 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica locale al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre registrati dal pluviometro di M. Epomeo.

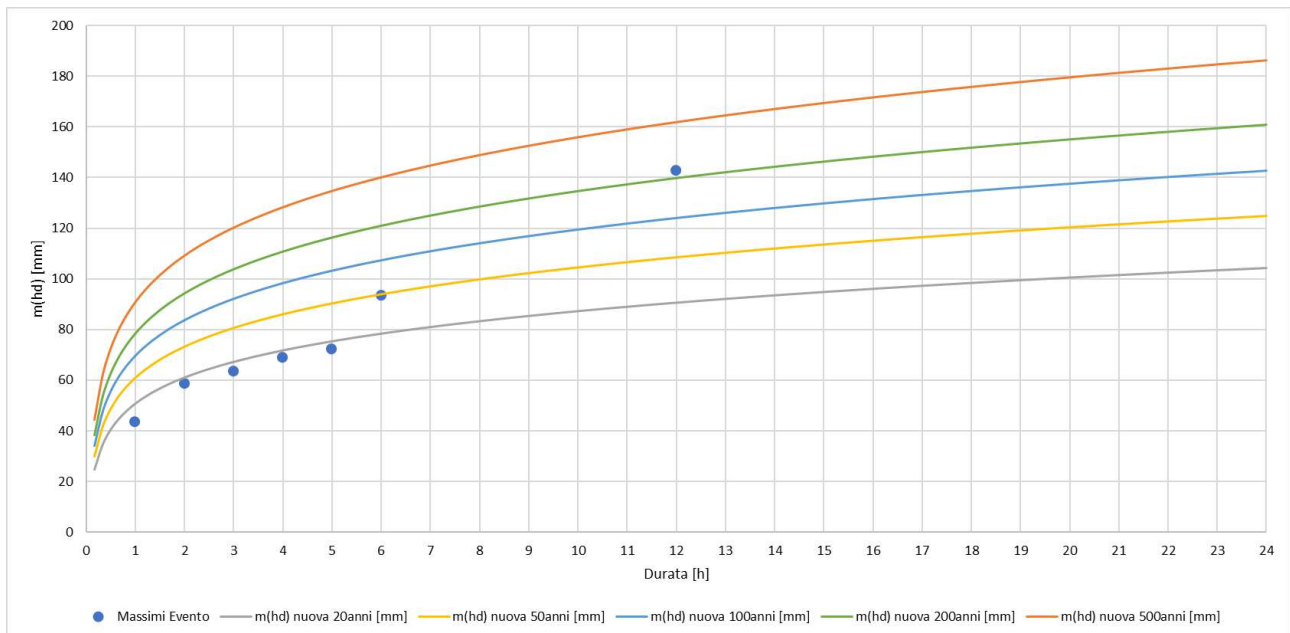


Figura 12 - Confronto tra la curva di probabilità pluviometrica locale al variare del periodo di ritorno e i massimi pluviometrici relativi all'evento del 26 novembre registrati dal pluviometro di Piano Liguori.

Dai confronti sistematici sopra riportati emerge che l'evento meteorico che il 26 novembre 2022 ha colpito l'isola di Ischia, e che ha senz'altro contribuito all'insorgere dei tragici fenomeni di colata rapida e di flusso iper-concentrato, è un evento da classificarsi, verisimilmente, come "extraordinario", soprattutto se si fa riferimento a durate di pioggia che vanno dalle 5 alle 12 ore, cui corrispondono valori di precipitazione massima osservati che, mediamente, sono superati solo ogni 150-200 anni.

Analisi sono attualmente in corso per valutare le massime precipitazioni che si sono realizzate nei periodi antecedenti a quello indagato in questo piccolo rapporto

Riferimenti Bibliografici citati

- Acocella V., Funiciello R. (1999). The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming: the case of the Island of Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geoth. Res.* 88, 109-123.
- Alvioli M., De Matteo A., Castaldo R., Tizzani P., Reichenbach P. (2022). Three-dimensional simulations of rockfalls in Ischia, Southern Italy, and preliminary susceptibility zonation. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 13 (1): 2712–2736.
- Calcaterra D., Di Crescenzo G., Di Martire D., Di Natale M., Gisonni C., Santillo A., Santo A. (2010). Confronto tra modelli di propagazione di flussi iperconcentrati: il caso di Casamicciola Terme (Ischia). *Atti XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010*, 10 pp., Walter Farina, ISBN 978-88-90389-52-8.
- Calcaterra D., Coppin D., de Vita S., Di Vito M.A., Orsi G., Palma B., Parise M. (2007). Slope processes in weathered volcanoclastic deposits within the city of Naples: The Camaldoli Hill case. *Geomorphology* 2007, 87, 132–157.
- Campbell R.H. (1975). Soil slips, debris flows, and rainstorms in the Santa Monica Mountains and vicinity, southern California, US Government Printing Office, vol 851, pag. 51, <https://doi.org/10.3133/>.
- Corominas J. (1996) The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. *Can. Geotech. J.* 33:260–271.
- Cozzolino L., Pianese D. (2004). Soluzione accurata delle shallow water equations. *Atti del I Workshop “Modeci - Modelli Matematici per la simulazione di Catastrofi Idrogeologiche”*. Arcavacata di Rende (CS), 30–31 Marzo 2004; editi a cura di P. Versace, pp.127-138.
- Cruden D.M., Varnes D.J. (1996). Landslides types and processes. In: Turner A.K., Schuster R.L. (eds) *Landslides: Investigation and Mitigation*. Transportation Research Board, Special Report 247, National Research Council, National Academy Press, Washington, pp. 36–75.
- De Vita P., Di Clemente E., Rolandi M. & Celico P. (2007). Engineering geological models of the initial landslides occurred on April 30, 2006, at Mount di Vezi (Ischia Island, Italy). *Italian Journal of Engineering Geology and Environment*, ISSN 1825-6635, 2, pp. 119-141. doi: 10.4408/IJEGE.2007-02.O-08.
- De Vita P., Napolitano E., Godt J.W., Baum R.L. (2013). Deterministic estimation of hydrological thresholds for shallow landslide initiation and slope stability models: case study from the Somma-Vesuvius area of southern Italy. *Landslides*, 1-16, ISSN: 1612-5118. doi: 10.1007/s10346-012-0348-2.
- de Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E. (2006). Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: The Ischia island (Italy) case study. *Engineering Geology* 86: 148–165. doi:10.1016/j.enggeo.2006.02.013.
- Della Seta M., Marotta E., Orsi G. de Vita S., Sansivero F., Fredi P. (2012). Slope instability induced by volcano-tectonics as an additional source of hazard in active volcanic areas: the case of Ischia island (Italy). *Bull Volcanol.*, 74, pages79–106. doi 10.1007/s00445-011-0501-0

- Fusco F., De Vita P., Mirus B.B., Baum R.L. Allocca V., Tufano R., Calcaterra D. (2019). Physically Based Estimation of Rainfall Thresholds Triggering Shallow Landslides in Volcanic Slopes of Southern Italy. *Water*, 11, 1915: 1 – 25. doi:10.3390/w11091915.
- Guadagno F.M., Forte R., Revellino P., Fiorillo F., Focareta M. (2005). Some aspects of the initiation of debris avalanches in the Campania Region: the role of morphological slope discontinuities and the development of failure. *Geomorphology* 66:237–254.
- Guadagno F.M., Mele R. (1992). Earthquake-induced landslides in the island of Ischia (Southern Italy). *Proc. Sixth International Symposium on the Landslides, New Zealand, 10–14 February 1992*.
- Guadagno F.M., Mele R. (1995a). La fragile isola d'Ischia. *Geol. Appl. Idrogeol.* XXX (I), 177–187.
- Guadagno F.M., Mele R. (1995b). I movimenti franosi indotti da terremoti nell'isola d'Ischia. In: Liguori, L. (Ed.), *Cinquant'anni di ricerca e di didattica del Prof. Felice Ippolito*, pp. 127–137.
- Horton R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bull. Geol. Soc. Am.*, 56, 275–370.
- Hungr O., Leroueil S., Picarelli L. (2014). The Varnes classification of landslide types, an update. *Landslides*, 11(2):167–194. <https://doi.org/10.1007/s10346-013-0436-y>.
- Hungr O. (1995). A model for the runout analysis of rapid flow slides, debris flows, and avalanches. *Can. Geotech. J.*, 32(4):610-623.
- Hungr O., Evans S.G., Bovis M.J., Hutchinson J.N. (2001). Review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental and Engineering Geoscience*, 7, 3, 221-238.
- Iavarone V., Barbiero L., Cozzolino L., Pianese D. (2004). Sull'utilizzazione di modelli uni- e bi-dimensionali per la valutazione delle azioni indotte, su opere trasversali, da fenomeni di colata rapida. *Atti delle Giornate di studio su "La Difesa Idraulica del Territorio 2003"*. Trieste, 10-12 settembre 2003; editi a cura di E. Caroni, V. Fiorotto, A. Mancinelli e P. Salandin, pp. 253-266.
- Orsi G., Gallo G., Zanchi A. (1991). Simple shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia. *J. Volcanol Geotherm Res* 47:1–11.
- Palma B., Calcaterra D., Parise M. (2009). Modelli geologici e meccanismi di innesco di frane da scorrimento-colata rapida nei depositi vulcanoclastici della Campania. *Geingegneria Ambientale e Mineraria*, 46 (1), 21-48.
- Pianese D., Barbiero L. (2003). Formulation of a two-dimensional unsteady debris-flow model for the analysis of debris-flow hazards and countermeasures thereof. *Proc. 3rd Intern. Conf. on "Debris-Flow Hazards and Mitigation: Mechanics, Predictions and Assessment"*, Congress Center, Davos (Switzerland), September 10-12, 2003, Vol. 1, pp.705-716.
- Pianese D., Barbiero L. (2004). Discussion of the paper: 'Case Study: Malpasset Dam-Break Simulation using a Two-Dimensional Finite Volume Method', by Alessandro Valiani, Valerio Caleffi, and Andrea Zanni, published on the *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, May 2002, Vol. 130, No. 9, pp. 941-944; ISSN: 0733-9429 (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli Federico II, Pubbl. n.1053).

- Picarelli L., Olivares L., Andreozzi L., Damiano E., Lampitiello S*. (2004). A research on rainfall-induced flowslides in unsaturated soils of pyroclastic origin. In 9th Int. Symp. on Landslides. (Vol. 2, pp. 1497-1503). AA Balkema Publishers.
- Pierson T.C. (2005). Hyperconcentrated flows -transitional processes between water flows and debris flows. In: Jakob M., Hungr O. Eds. Debris flow Hazards and related phenomena. Springer. Chap. 8., 159-202. ISBN: 3-540-20726-0.
- Pierson T.C., Costa J.E. (1987). A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. Geological society of America Review in Engineering Geology, 7, 1-12.
- Rosgen D.L. (1994). A classification of natural rivers. Catena, 22: 169-199.
- Santo A., Di Crescenzo G., Forte G., Papa R., Pirone M., Urciuoli G. (2018). Flow-type landslides in pyroclastic soils on flysch bedrock in southern Italy: the Bosco de' Preti case study. Landslides, 15:63–82. doi 10.1007/s10346-017-0854-3.
- Santo A., Di Crescenzo G., Del Prete S., Di Iorio L. (2012). The Ischia island flash flood of November 2009 (Italy): Phenomenon analysis and flood hazard. Physics and Chemistry of the Earth 49: 3–17. doi:10.1016/j.pce.2011.12.004.
- WP/WLI (1993). Multilingual landslide Glossary. Bi-Tech Publisher, Richmond, British Columbia, Canada, 59.

1. IL CONTESTO FISICO

1.1 GEOLOGIA

Introduzione

L'isola di Ischia (Fig. 1.1.1) è un campo vulcanico formato da una caldera di circa 12-16 km di diametro, caratterizzata dalla risorgenza calderica della sua parte centrale (M. Epomeo). Le rocce più antiche esposte sull'isola risalgono a circa 150.000 anni ed affiorano al di fuori dei bordi della caldera lungo la costa meridionale (Brown et al. 2008, 2014). L'isola d'Ischia rappresenta la porzione emersa di un più vasto campo vulcanico che si estende lungo il versante continentale fino all'area vulcanica dei Campi Flegrei (Sbrana et al., 2018). Questi vulcani fanno parte del Distretto Vulcanico Flegreo (DVP; Orsi et al., 1996), il sistema vulcanico attivo più diffuso dell'area mediterranea. Ischia e Campi Flegrei, i due grandi campi vulcanici del DVP, sono alimentati prevalentemente da magmi alcalini evoluti, mentre il campo vulcanico minore di Procida è caratterizzato da tufi monogenici trachibasaltico-shoshonitici e coni di scorie e lave minori (D'Antonio et al., 2013; *cum biblio*; Brown et al., 2014). Le successioni vulcaniche e sedimentarie affioranti sull'Isola d'Ischia hanno registrato una lunga storia, che va da oltre 150.000 anni fa (Gillot et al., 1982; Vezzoli, 1988) ad oggi. Gli ultimi depositi eruttati (lave dell'Arso e piroclastiti) risalgono al 1301-1302 dC (Rittman & Gottini, 1980).

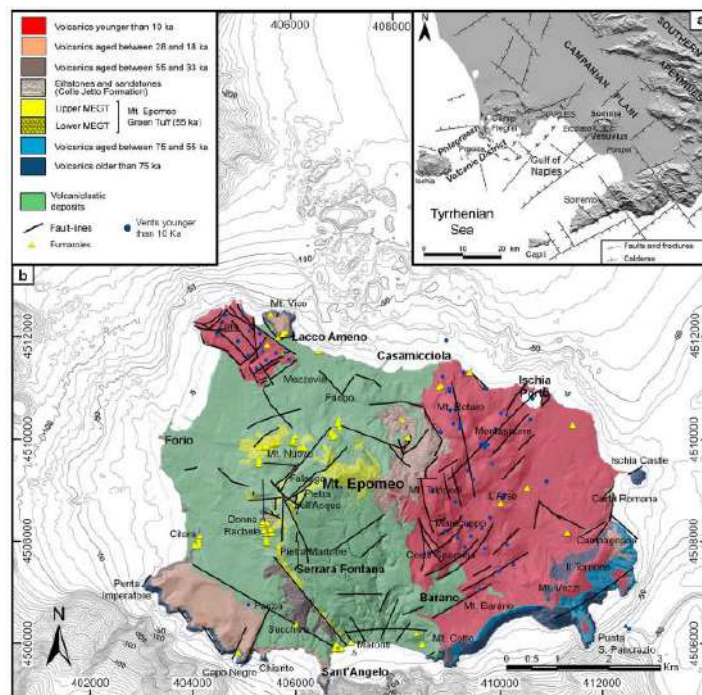


Figura 1.1.1 - a) Carta strutturale dell'area vulcanica napoletana. b) Carta geologica di Ischia con la distribuzione dei prodotti vulcanici di età diverse (modificata da Della Seta et al. 2012 e Brown et al., 2014).

Il vulcanismo dell'Isola di Ischia si sviluppa attraverso la costruzione di un campo vulcanico costituito principalmente da vulcani monogenici (coni di tufo, coni di scorie, coni e bastioni di spatter, duomi lavici e colate laviche) dispersi su un'area di 250 km² (Fig. 1.1.1). I prodotti vulcanici hanno composizioni prevalentemente trachitiche (Vezzoli, 1988).

A partire da 150.000 anni fa, Ischia ha conosciuto un'attività vulcanica discontinua (Gillot et al., 1982; Vezzoli, 1988; Orsi et al., 1996; de Vita et al., 2006, 2010; Fig. 1.1.1). Tra 150.000 e 75.000 anni fa, sono state eruttate lave trachitiche e fonolitiche, duomi di lava e rocce piroclastiche. Tra 75.000 e 60.000 anni fa, le eruzioni esplosive hanno dato luogo a una successione di depositi da caduta, depositi da flusso di blocchi e cenere e ignimbriti (Forcella et al., 1982; Rosi et al., 1988; Vezzoli, 1988; Brown et al., 2008). In questo frangente, e sicuramente prima della messa in posto dei Tufi di Pizzone (61.000 anni fa circa), si registra un accumulo importante, dallo spessore di almeno 50 m, di sedimenti di ambiente marino costiero, rappresentativi della parte bassa del blocco risorgente del M. Epomeo. Tali depositi, ascritti all' Unità di Cava Celario, affiorano prevalentemente lungo il versante settentrionale dell'Epomeo.

La storia successiva è scandita da tre cicli. Il primo ciclo (61.000-33.000 anni fa) è stato caratterizzato da un comportamento magmatico a sistema chiuso e da eruzioni vulcaniche esplosive, inclusa l'eruzione del Tufo Verde del M. Epomeo, che hanno formato una caldera. In questo periodo si sono verificate diverse fasi di collasso della caldera e diverse eruzioni freatomagmatiche (Vezzoli, 1988; Brown et al., 2008; Sbrana et al., 2009).

L'inizio del secondo ciclo (28.000-18.000 anni fa) è stato segnato dall'arrivo di magmi meno arricchiti in Sr radiogenico, che si sono progressivamente mescolati con i residui magmatici più radiogenici e più differenziati del primo ciclo. Questo evento di ricarica ha probabilmente dato inizio alla risorgenza a blocchi nella caldera, con la formazione dell'alto strutturale del M. Epomeo (Civetta et al., 1991). Questo blocco, inclinato a S e frammentato in blocchi più piccoli, è delimitato da sistemi coniugati di faglie a SO del M. Epomeo.

La risorgenza ha influenzato profondamente la morfologia e la geologia del campo vulcanico anche con la formazione di un mantello epiclastico e vulcanico tutto intorno al M. Epomeo. In associazione alla risorgenza calderica si formano cunei sedimentari marini, dello spessore di almeno 150 m, che formano il Sintema di Buceto, comprendente la Formazione di Colle Jetto del tardo Pleistocene superiore (Barra et al., 1992).

Diversi autori (Rittmann, 1930; Sbrana et al., 2009 *cum biblio*; Carlino et al., 2006; Carlino, 2012) collegano la risorgenza del M. Epomeo e l'attività vulcanica a un corpo di magma poco profondo a forma di laccolite. Altri autori spiegano la struttura della risorgiva mediante un aumento della pressione in una camera magmatica superficiale utilizzando un modello a botola (Acocella & Funiciello, 1999) o un semplice modello di taglio (Orsi et al., 1991).

Il terzo ciclo (10.000 anni fa-1302 dC) è stato caratterizzato da numerose eruzioni esplosive ed effusive di piccolo volume, che hanno distribuito i loro prodotti su aree relativamente ristrette dell'isola (cfr. Vezzoli, 1988) ed è stato caratterizzato dall'eruzione di magmi da latitici a fonolitici, con un'ampia gamma di composizioni isotopiche.

Durante l'ultima fase di attività, sollevamenti e subsidenze hanno interessato il campo vulcanico. Sul versante settentrionale dell'isola, i terrazzi marini e i sedimenti fossili del litorale hanno registrato un sollevamento di circa 60 m dopo 5.500 anni; terrazzamenti strutturali interessavano il versante meridionale dell'isola prospiciente il litorale dei Maronti a quote simili, mentre antichi litorali sollevati sono evidenti nell'area di Forio, sul lato occidentale dell'isola, e solchi sono presenti sugli scogli marini di SE, tra Sant'Angelo e Chiaretto.

Dopo l'epoca romana, l'isola ha subito una subsidenza. Dal 1992 la lenta subsidenza dell'isola, con un valore massimo di circa 1 cm/anno, è registrata dalla rete GPS e dai dati DInSAR (Manzo et al., 2006; De Martino et al., 2011): un intenso idrotermalismo (Chiodini et al., 2004) e terremoti vulcanotettonici caratterizzano l'isola (De Novellis et al., 2018).

1.2. GEOMORFOLOGIA

L'isola d'Ischia, comprendente la parte emersa e sommersa, come riportato nella introduzione delle Note Illustrative del Foglio "Isola d'Ischia" 464 edite a cura della Regione Campania (Orsi et al., 2003), rappresenta la porzione emersa di un grande sistema vulcanico, esteso per almeno 300 km² nel quale si sono sviluppate, nel tempo, decine di bocche eruttive, strutture calderiche e strutture risorgenti (Fig. 1.1.1). Durante la lunga storia eruttiva che si è sviluppata da più di 150.000 anni fa l'evoluzione e la crescita del vulcano sono state condizionate profondamente, non solo dalle fasi eruttive, ma anche dalle variazioni eustatiche del livello del mare e da rilevanti processi vulcanotettonici legati al peculiare sistema di alimentazione del vulcano, di tipo laccolitico, che hanno indotto fasi costruttive e distruttive accelerate delle parti emerse e sommerse del sistema vulcanico con una importante interazione tra sedimentazione e vulcanismo.

L'isola d'Ischia vera e propria, in particolare, rappresenta la porzione emersa di un esteso complesso vulcanico appartenente al Distretto Vulcanico Flegreo. Il M. Epomeo, rilievo principale dell'isola, rappresenta l'elemento morfo-strutturale più importante. Assimilabile planimetricamente, dal punto di vista morfologico, ad un blocco monoclinico, altimetricamente si presenta fortemente asimmetrico con il versante settentrionale, degradante verso Casamicciola, più acclive di quello meridionale, degradante verso Sant'Angelo (Fig. 1.2.1). È delimitato alla base da sistemi di faglie con orientazioni prevalenti N-S, NO-SE e E-O, che gli conferiscono una geometria in pianta approssimativamente quadrangolare.

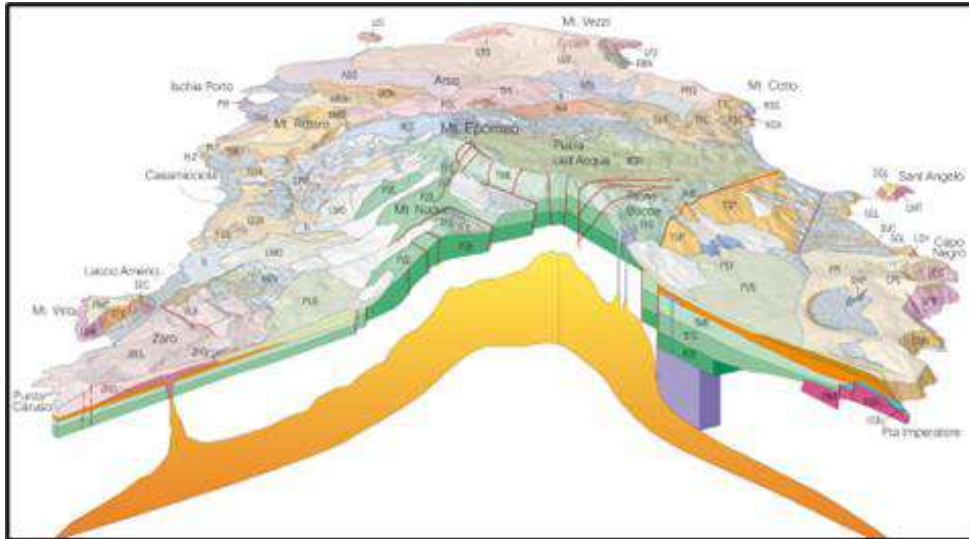


Figura 1.2.2 – Rappresentazione geologico-strutturale schematica dell'isola d'Ischia con indicazione della geometria del *reservoir* magmatico e dei punti di risalita a cui corrispondono morfologie legate ad attività effusiva progressa.

Il reticolo idrografico, mediamente sviluppato e con flusso prevalentemente effimero, presenta un *pattern* parallelo con segmenti particolarmente incisi denominati “cave”, sui cui fianchi significativamente acclivi tendono ad evolvere attraverso fenomeni di instabilità; ciò è anche legato alla spiccata erodibilità dei terreni affioranti, tipicamente detritici, vulcanoclastici e tufacei. Si riconoscono, soprattutto nel settore più elevato del versante, segmenti dei canali di drenaggio con geometria rettilinea potenzialmente controllati da lineamenti vulcano-tettonici (Fig. 1.2.3). L'insieme di questi caratteri rende classificabili i corsi d'acqua nelle categorie Aa+ e A, tipicamente caratterizzati da fenomeni di trasporto di massa con modalità da flusso (Rosgen, 1994). In particolare, è possibile individuare il bacino idrografico di Casamicciola, che si estende a S della confluenza, in località Piazza Bagni, delle Cave di Buceto, Ervaniello (o Fasaniello), Sinigallia e Celario, e quello de “La Rita”, caratterizzato dalla confluenza, nella località omonima (al confine con il Comune di Lacco Ameno), di Cava Del Monaco e Cava La Rita. Si segnala, altresì, la presenza di numerose sorgenti minerali e termominerali, come quelle di Buceto, del Gurgitello, di Ervaniello, che alimentano il bacino di Casamicciola, e delle sorgenti La Rita e Pisciarriello, che alimentano quello de “La Rita”. Notevoli sono, inoltre, le trasformazioni antropiche che hanno convertito molti impluvi in alvei-strada e alvei tombati, con conseguente alterazione del naturale andamento e deflusso dei corsi d'acqua originari nelle zone pianeggianti e subpianeggianti ed, in alcuni casi, anche nelle loro porzioni più acclivi.

Depositi detritici eterometrici, poligenici e polifasici, prodotti da eventi pregressi ed attuali legati alla gravità sono diffusi lungo tutto il fianco settentrionale, sia alla base dei versanti aperti che soprattutto all'apice dei conoidi detritici e nel corpo dei lobi di flusso, anche caratterizzati da blocchi di dimensioni metriche ed immersi in una matrice relativamente più fine, e da blocchi ciclopici isolati

(localizzati soprattutto nel settore occidentale dello stesso e osservabili nell'area di transito della frana principale; Figg. 1.2.3 e 1.2.4).

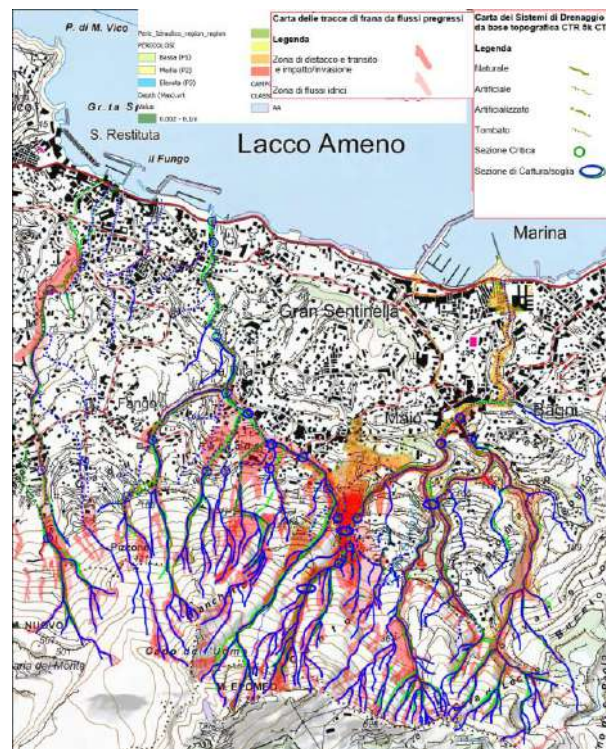


Figura 1.2.3 – Rappresentazione del reticolo idrografico e delle tracce di frana da flusso per l'area del versante settentrionale del M. Epomeo.

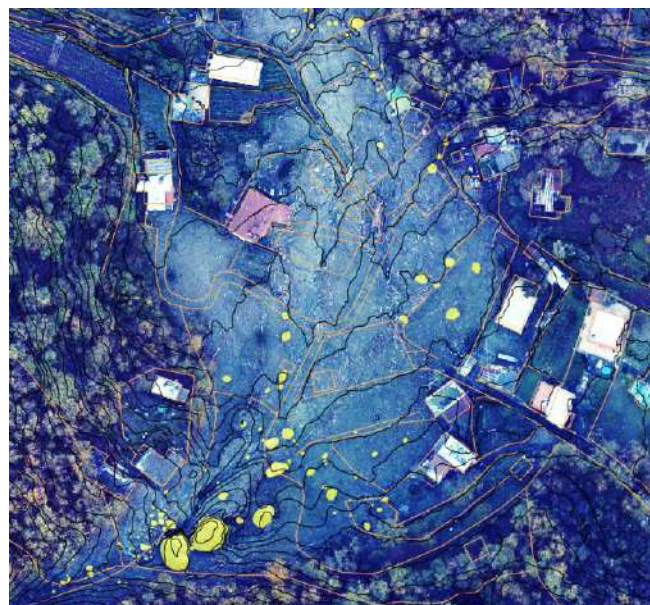


Figura 1.2.4 – Esempio di distribuzione dei blocchi nell'area di transito della frana principale.

Depositi riconducibili a frane antiche sono presenti anche lungo il versante meridionale del rilievo, nella zona di Serrara Fontana. Frane da crollo di roccia, colata e valanga di detrito, e scorrimento sono tra i principali processi a cui è possibile ricondurre detti depositi (Guadagno &

Mele, 1992; Mele & Del Prete, 1998; Del Prete & Mele, 1999; de Vita et al., 2006; Figg. 1.2.5 e 1.2.6). L'innescò di tali eventi è potenzialmente da ricondurre a fenomeni vulcanici/sismici e/o idro-meteorologici, anche se non trascurabile è l'effetto preparatorio dell'*uplift* vulcano-tettonico. Depositi di frana di proporzioni ciclopiche sono stati riconosciuti anche al di sotto del livello del mare, sia nei settori settentrionali dell'isola, che in quelli meridionali e occidentali (Fig. 1.2.5). Date le caratteristiche dimensionali, tali depositi sono riconducibili a eventi di *magnitudo* particolarmente elevata potenzialmente avvenuti da alcune a diverse migliaia di anni fa (Della Seta et al., 2011).

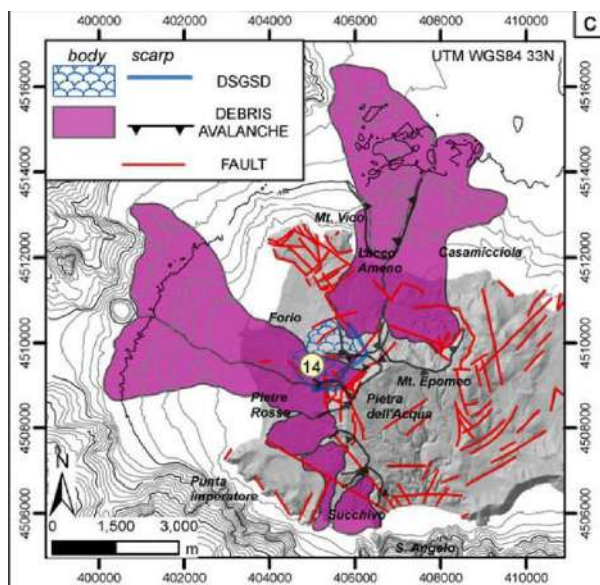


Figura 1.2.5 – Distribuzione delle frane da valanga di detrito e delle deformazioni gravitative profonde di versante (DSGSD in legenda) nell'area del versante settentrionale e occidentale dell'isola d'Ischia (Della Seta et al., 2011).



Figura 1.2.6 – Esempio di blocchi distribuiti lungo il settore occidentale del versante settentrionale del M. Epomeo prodotti da frane da crollo di roccia (Della Seta et al., 2011).

Con riferimento alle aree dei bacini idrografici confluenti verso le sezioni di chiusura di Casamicciola e Lacco Ameno marina, già la Carta geologica ufficiale riporta una serie di corpi di frana e relativi lineamenti di distacco, laddove presente (Fig. 1.2.7).

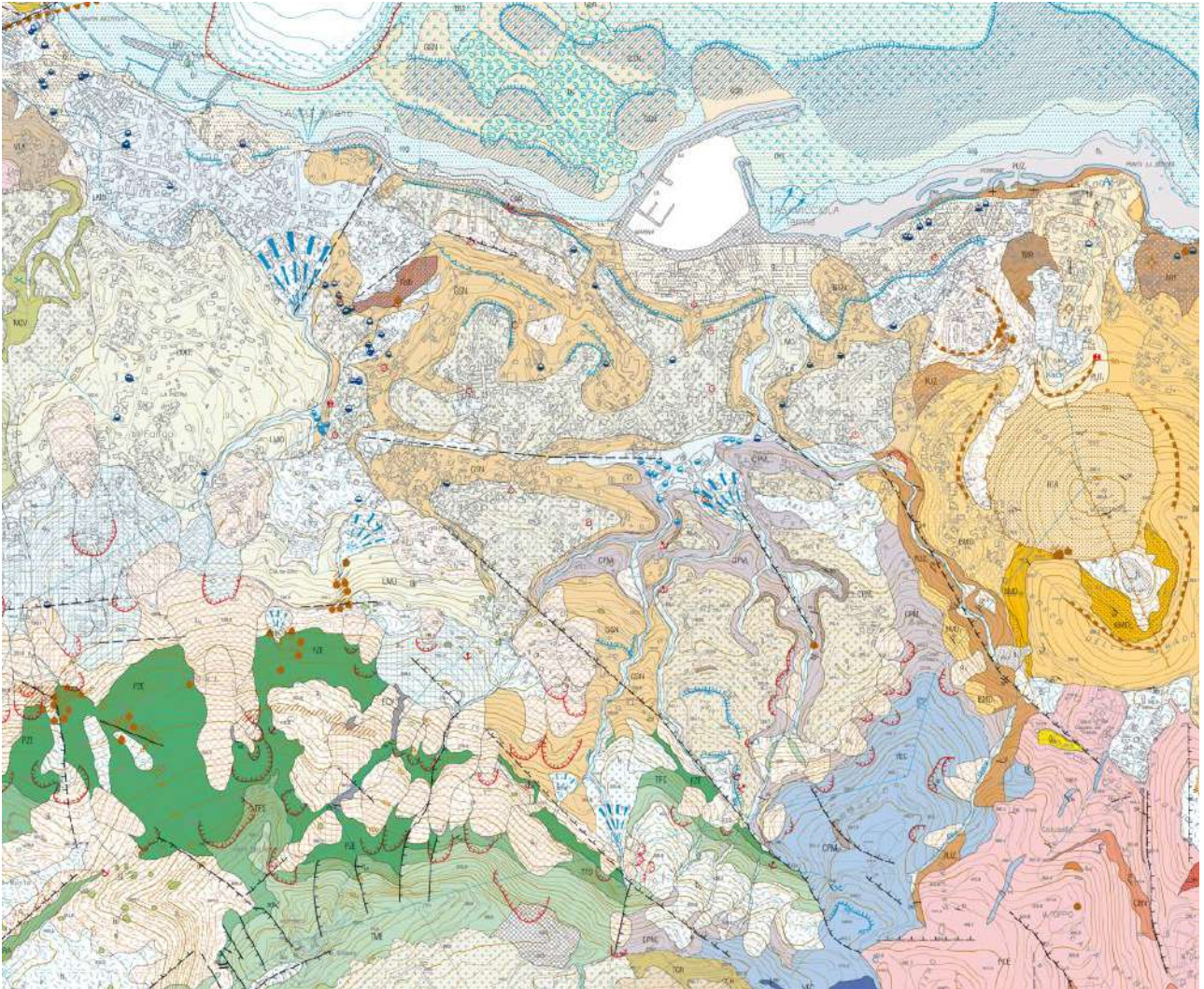


Figura 1.2.7 – Stralcio della Carta geologica Foglio 464 “Isola d’Ischia” rappresentativo delle condizioni del versante settentrionale del M. Epomeo da cui si rileva la presenza di depositi di frana.

Con particolare riferimento alle fenomenologie di flusso detritico-fangoso aventi diversa tipologia, epoca di accadimento, *magnitudo* ed a diverso grado di concentrazione, diversi sono gli studi scientifici effettuati, anche a supporto della pianificazione del rischio idrogeologico, cui si rimanda all’ampia bibliografia riportata in calce al presente documento.

Tenendo conto dei fini applicativi di carattere emergenziale, cui è destinato il presente documento e la presente parte geomorfologica applicativa, si è ritenuto opportuno adottare le procedure contenute nelle recenti Linee Guida per la Cartografia Geomorfologica (Campobasso et al. 2021), elaborata, condivisa ed approvata d’intesa tra AIGeo (Associazione Italiana di Geografia Fisica), ISPRA e Consiglio Nazionale dei Geologi, e già disponibile *on line* sul sito dell’ISPRA come Quaderno 13, fascicolo 1, versione 2.

La nuova cartografia ufficiale condivide la finalità istituzionale del CARG, ma introduce una rappresentazione “ad oggetti”, che prevede la “copertura completa” delle forme denudazionali ed erosionali/distruzionali, oltre ad un’articolazione delle forme in termini gerarchici e multiscalarari.

Tale approccio è stato già adottato durante l’Emergenza Sarno del 1998-2000 dal Presidio Territoriale ed è alla base di molte cartografie geomorfologiche ed inventari-frane adottati da parte delle ex-Autorità di Bacino della Campania e dell’Autorità di Bacino Distrettuale dell’Appennino Meridionale. È stato, inoltre, approvato in Commissione Paritetica il Fascicolo II del Quaderno 13 sopra citato, che, pu se non in vigore, è stato utilizzato ai fini della rappresentazione e della relativa banca-dati semplificata nelle elaborazioni che di seguito si illustrano e che sono a supporto delle modellazioni fisicamente basate, su cui sono state proposte delle nuove metodologie di trattamento spazio-temporali dei modelli cartografici geomorfologici e delle frane, denominate LOOM (*Landform/Landslide Object-Oriented Model*, Valiante et al. 2021; Dramis et al., 2022), già adottati nel Progetto CUR_CIS 2020, finanziato alle sette Università della Campania, la cui Monografia è in fase di pubblicazione *on line*.

Dette cartografie tengono conto di elaborazioni geomorfiche innovative ed originali, opportunamente tarate con rilievi di campo e immagini aerofoto/satellitari di varia epoca.

Al fine di pervenire alle elaborazioni richieste, la Tabella 1.2.1 mostra sinteticamente i “*layers*” informativi elaborati in termini spazio-temporali in ambiente “PostGIS e PostGres” e rappresentati, ai fini di un’eventuale diffusione e pratica utilizzazione, in “PDF XCHANGE Editor”, le fonti/riferimenti utilizzate e le geometrie rappresentate. Il Sistema Informativo elaborato sarà disponibile a seguito di verifica e validazione condivisa dei requisiti e dei contenuti.

Tabella 1.2.1 - Elaborati tecnici, fonti/basi cartografiche ed entità geometriche rappresentate “ad oggetti”.

Layer o Cartelle di Layer	Fonti/Riferimenti	Entità geometriche
◆ Bacino Idrogeomorfologico Cava Celario Montano	DTM 2022 post-evento	Poligono
◆ Drenaggio 25k 1954-5?	25k tavolette IGM	Linee e Simboli (punti/soglie critiche)
◆ Drenaggio 25k IGM 1965	CTR1965	Linee e Simboli (punti/soglie critiche)
◆ Drenaggio 5k CTR 2014?	CTR2004	Linee e Simboli (punti/soglie critiche)
◆ Drenaggio 2Kda LIDAR PCN 2011	Lidar PCN 2011	Linee e Simboli (punti/soglie critiche)
◆ A_Tracce di Frane da Flusso pregresse	Da Lidar PCN 2011	Poligono
◆ Tracce di Frana da Scorrimento pregresse	Da Lidar PCN 2011	Poligono
◆ 0_Tracce delle Frane di Flusso 2022	DTM 2022 post-evento	Poligono
◆ B_Volumi Coperture di versante instabili	Da Lidar PCN 2011	Poligono
◆ D_Zero Order Basin da CTR_2016	Da Lidar PCN 2011	Poligono
◆ C_Hydro-wedge prototipale	Bacino Idro-strutturale Campione	Simbolo
▼ Ischia_A3_10000	Cartella	
◆ Legend	Inserto	Simbolo
◆ Data Source Attribution	Dato	Riferimento
▼ V230415_DBRIF	Banca dati di riferimento	
◆ AB_CDA_AB_CDA_SUP_L	Reticolo DB11	Linee
▼ CTR04_SV_N	Ctr 200/2004	
◆ CTR04_SV_N-Polygon		Poligono
◆ CTR04_SV_N-Polyline		Linee
◆ 0000_CAMPANIA_COSTA_MARE	Costa da db11	Linea
◆ EMSR643_AOI01_GRA_PRODUCT_observedEventA_r1_v1	Evento 2022 da Copernicus	Poligono
◆ CAMPCENTRALE_RISK_FRANA_311220_DEF	Rischio Frana	Poligono
◆ ischia_1965_Sb.tif	CTR1965	Immagine
◆ GEO_10k_Isola_di_Ischia_Regione_u.tif	Carta geologica CARG 10000 Regione	Immagine
▼ R025M_IGM_TAVOLETTE	25k tavolette IGM	Raster
◆ Footprint		Taglio
◆ Image		Raster
◆ Fotogr. 950 - 1974	Ortofoto 1974	Immagine
◆ d04facc.tif	Flow Acc. DTM 4m resample lidar	Elabotazione geomorfica orientata
◆ D01MPCNLIDAR.TIF	Lidar PCN 2011	Immagine
◆ D01MCGRlidar.TIF	DTM 2022 post-evento	Immagine
◆ GGL_SAT	Ortofoto GGL	Immagine

Progressivamente sono stati implementati i dati di elaborazioni automatiche TPI e *Process Domain*. Ai fini di una maggiore leggibilità e comparazione con la situazione post-evento del 2022, i diversi layer e le relative combinazioni topologiche secondo il Metodo “*Object-Oriented LOOM*” (Dramis et al. 2022) per gli eventi *flow-like* incanalati e di versante planare, sono rappresentati sul LIDAR post-evento, con le naturali incongruenze e corrispondenze topografico-geometriche legate all’evoluzione naturale ed antropicamente indotta del territorio.

Di seguito sono mostrati con diversa colorazione i sistemi di drenaggio ricostruiti attraverso elaborazioni “*expert-based*”, opportunamente oggettivati, laddove disponibili i supporti digitali, da elaborazioni “*grid-based*” (Fig. 1.2.8 a, b).

Le legende delle varie figure mostrano con linee continue a diverso colore, corrispondenti alle diverse epoche, gli alvei naturali, con tratteggio singolo i tratti tombati e con tratteggio alternato i cosiddetti “alvei-strada”. Con i cerchi vuoti si individuano i c.d. “punti critici”, mentre con gli ovali

si intendono le “soglie critiche, laddove ipotizzabili probabili”, intendendo per esse aree suscettibili di sostanziali diversificazioni geometriche e quantitative del deflusso, anche a seguito di limitati modificazioni naturali (lobi di colata, occlusioni, sbarramenti per eventi di sponda, ecc.) o antropicamente indotti. Nella Figura 1.2.8a si mostrano i sistemi di drenaggio relativi allo scenario derivato da areofoto e cartografie tra il 1943 e 1954.

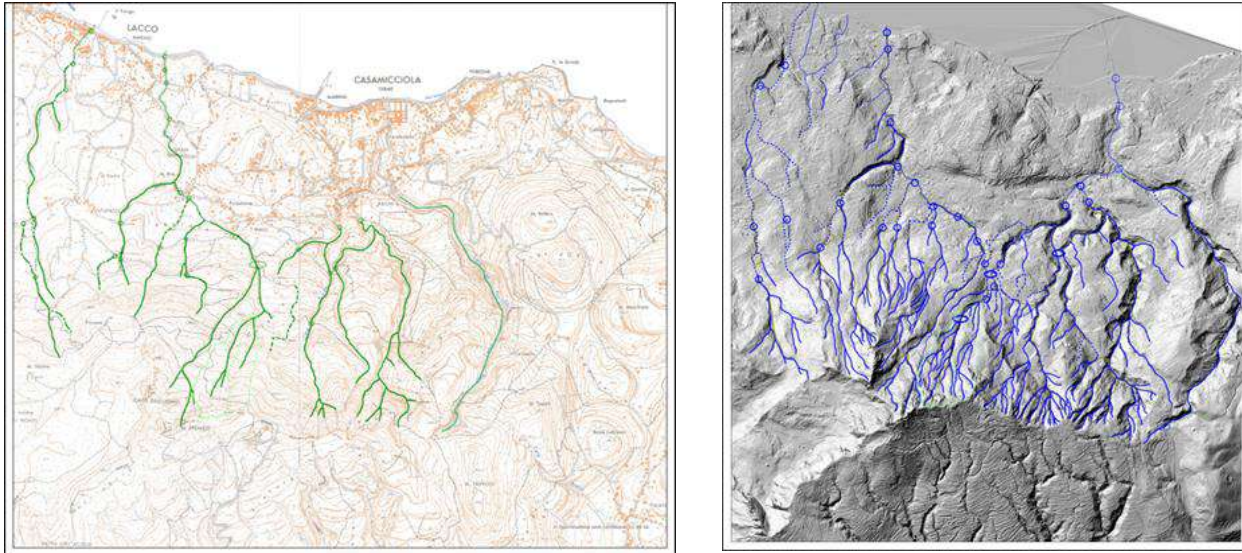


Figura 1.2.8 – Sistemi di drenaggio ricostruiti attraverso elaborazioni expert-based (sx) e grid-based (dx).

Le variazioni di tracciato dei sistemi di drenaggio sinteticamente illustrati nel precedente paragrafo, sono state analizzate con tecniche “*object-oriented*” attraverso la sovrapposizione della sommatoria di eventi “*gravity-driven*”, sia incanalati che lungo versanti planari (Fig. 1.2.9).

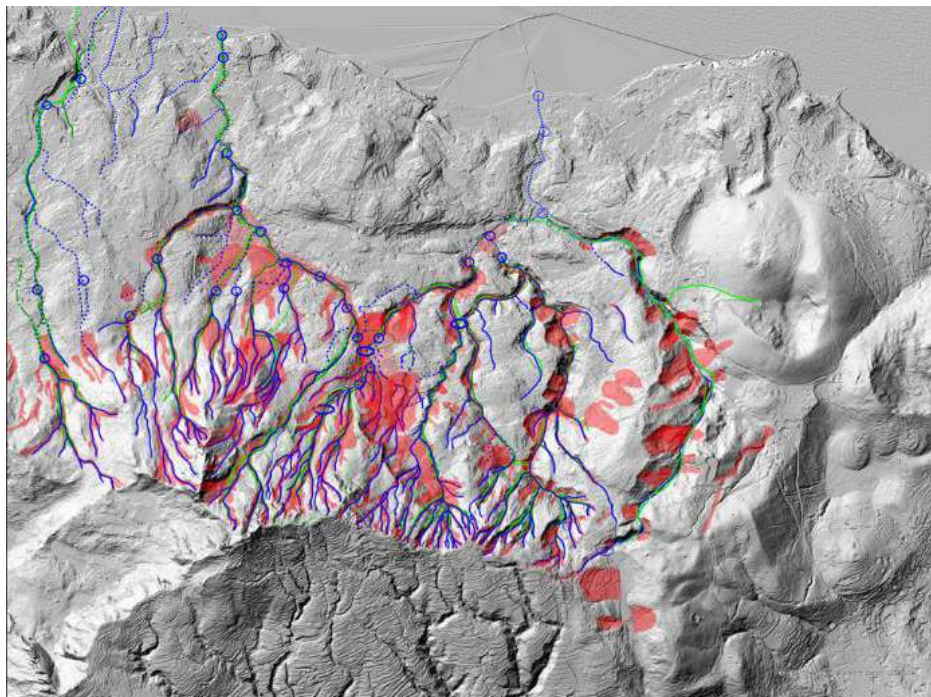


Figura 1.2.9 – Sovrapposizione degli eventi *gravity-driven* con i sistemi di drenaggio.

Nella Figura 1.2.10 si mostra lo scenario della Figura precedente con la sovrapposizione delle tracce degli eventi di flussi a varia concentrazione relativi all'evento 2022, ad eccezione dei deflussi fluviali a forte trasporto solido della parte a valle della frazione Bagni di Casamicciola. Nell'*inset*, in particolare, si mostra un dettaglio dell'area di apice del complesso di lobi di colata e conoide del Celario.

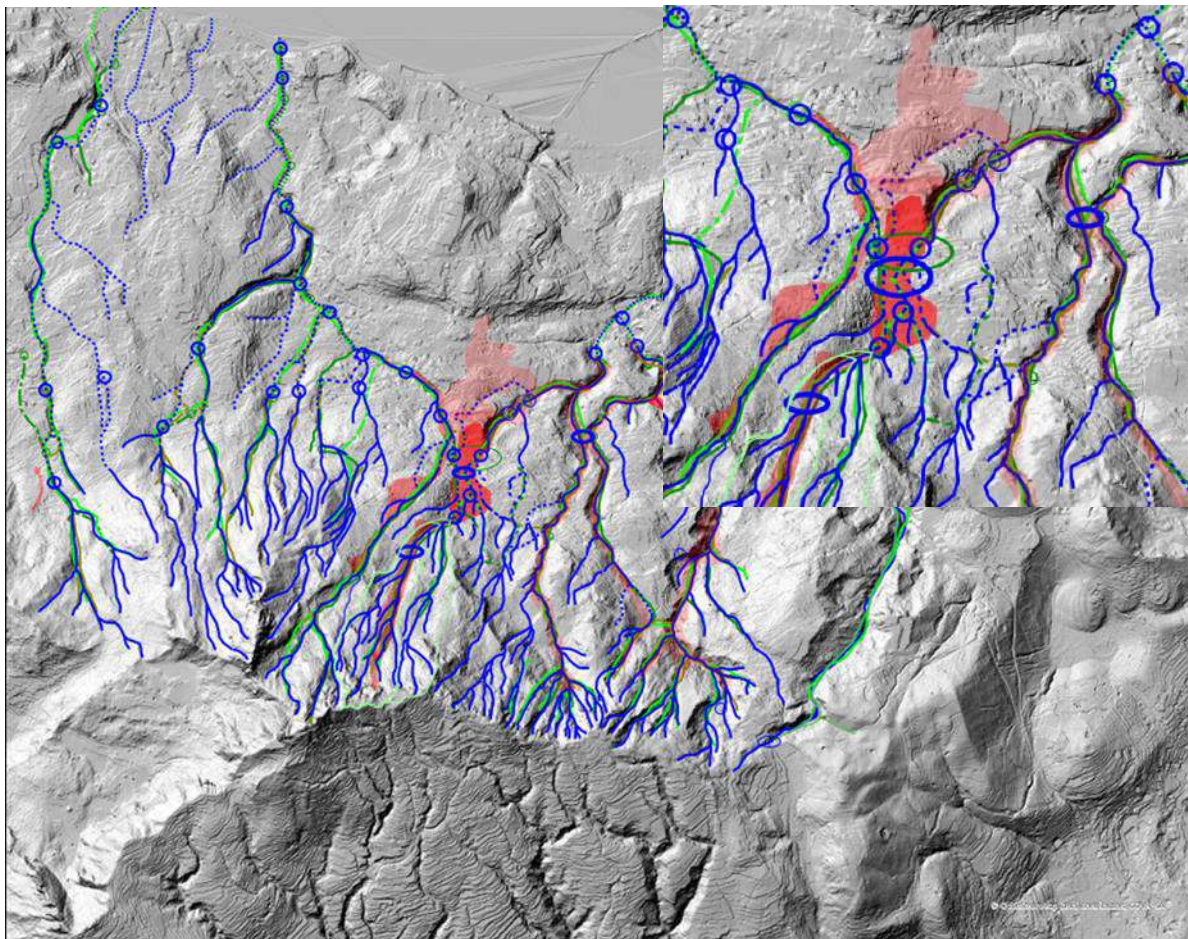


Figura 1.2.10 – a) Sovrapposizione dei sistemi di drenaggio e gli eventi del 2022. b) Ingrandimento riferito all'area della frana principale.

Lo scenario mostrato nella Figura 1.2.11 è stato confrontato con elaborazioni idrogeomorfometriche ritenute significative ed appropriate per la problematica di interesse, nonché con quanto emerso dalle analisi speditive effettuate nelle fasi emergenziali, in particolare la delimitazione da Copernicus del "main event", la definizione delle altezze di suolo eroso o depositate a seguito degli eventi cumulati (erosivi e gravitativi).

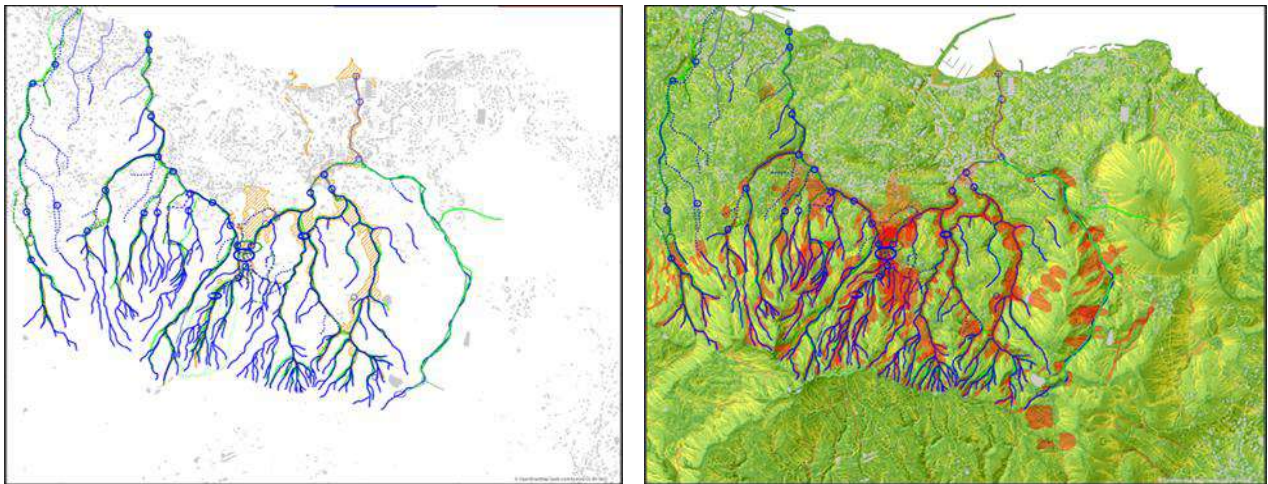


Figura 1.2.11 – Sovrapposizione dei sistemi di drenaggio con la perimetrazione degli eventi del 2022 eseguita da Copernicus (sx) e con gli eventi gravity-driven (dx).

Nelle Figure 1.2.12 e 1.2.13 sono rappresentate le sovrapposizioni grafiche tra tracce di frana pregresse e del 2022 e coperture sciolte di versante (instabili e/o mobilizzabili) e *flow-like paths* 2022.

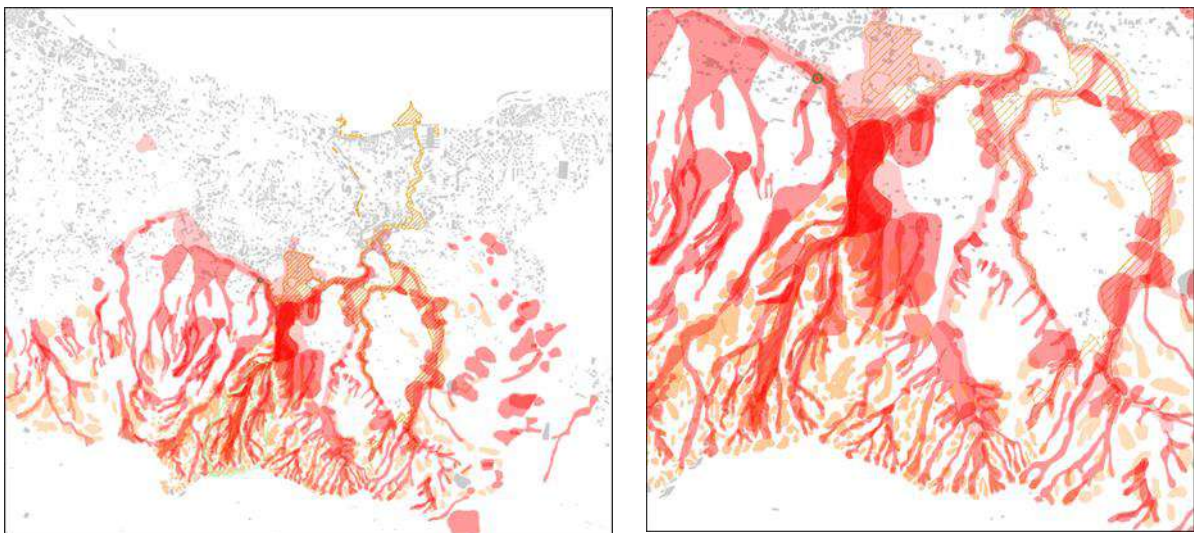


Figura 1.2.12 – Sovrapposizione tra tracce di frane pregresse (rosso, tonalità chiare) e frane del 2022 (rosso) e coperture sciolte di versante (instabili e/o mobilizzabili) e *flow-like paths* 2022 (rigato obliquo). A dx, un ingrandimento.

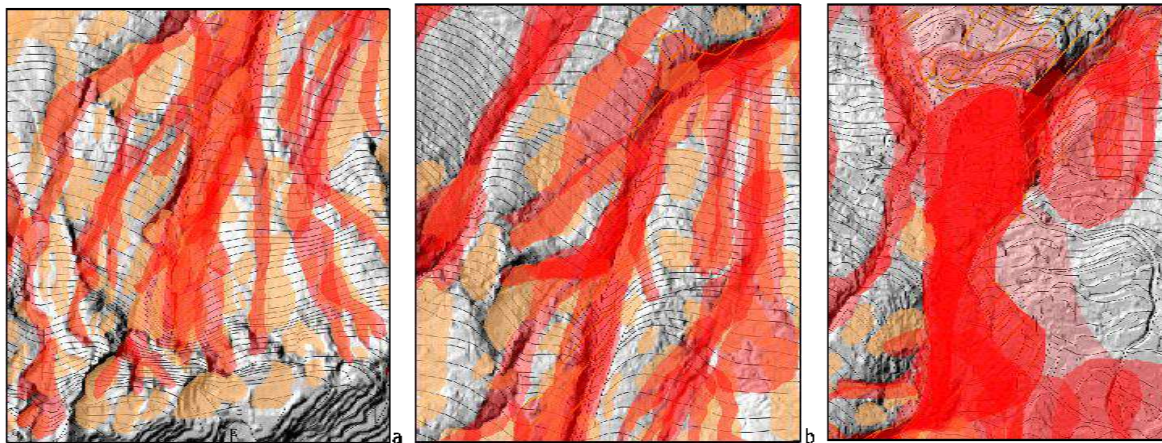


Figura 1.2.13 – Ingrandimenti della Figura 1.2.12.

Come ulteriore possibile contributo alle modellazioni previsionali, si rappresenta che il Modello Idro-strutturale degli *Hydro-wedge* ed il Modello delle 5F (*falling, filling, fracturing, failing and flowing*) elaborato dal prof. D. Guida in Cascini et al. (2008) per l'evoluzione delle testate di frana delle piroclastiti campane potrebbe essere preso a riferimento per aspetti applicativi e progettuali.

Nella Figura 1.2.14, infine, si mostra l'applicazione del Modello LOOM (Valiante et al., 2021) per la testata della Cava Celario.

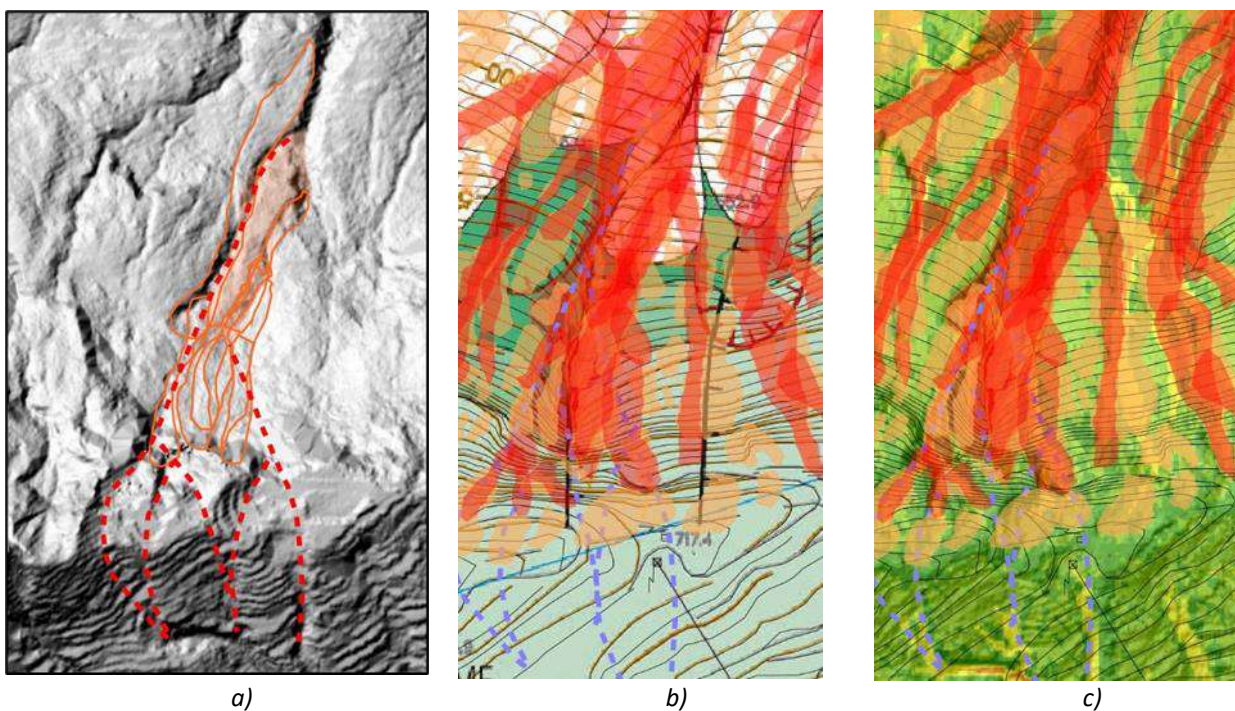


Figura 1.2.14 – Applicazione del Modello LOOM (Valiante et al., 2021) su LIDAR pre-evento 2022 (sx), sulla base geologica CARG (centro) e con elaborazioni idro-geomorfometriche (flow accumulation e domini di processo - dx).

1.3 IDROGEOLOGIA

In questo paragrafo, sulla base della cartografia geologica (Regione Campania-ISPRA, 2011), letteratura idrogeologica (Celico et al., 1999; Piscopo et al., 2000; Bucci et al., 2011; Piscopo et al., 2020a, b; Fabbrocino et al., 2022) e di nuove sezioni idrostratigrafiche, sono sintetizzate le conoscenze idrogeologiche e idrogeochimiche delle acque sotterranee del versante settentrionale del M. Epomeo coinvolto nell'evento franoso del 26 novembre 2022.

1.3.1 Caratteristiche idrogeologiche delle formazioni del substrato

Celico et al. (1999) e Piscopo et al. (2020a) descrivono l'horst del M. Epomeo (altitudine circa 790 m s.l.m.) come uno dei settori di maggiore interesse idrogeologico e termo-minerale dell'isola d'Ischia.

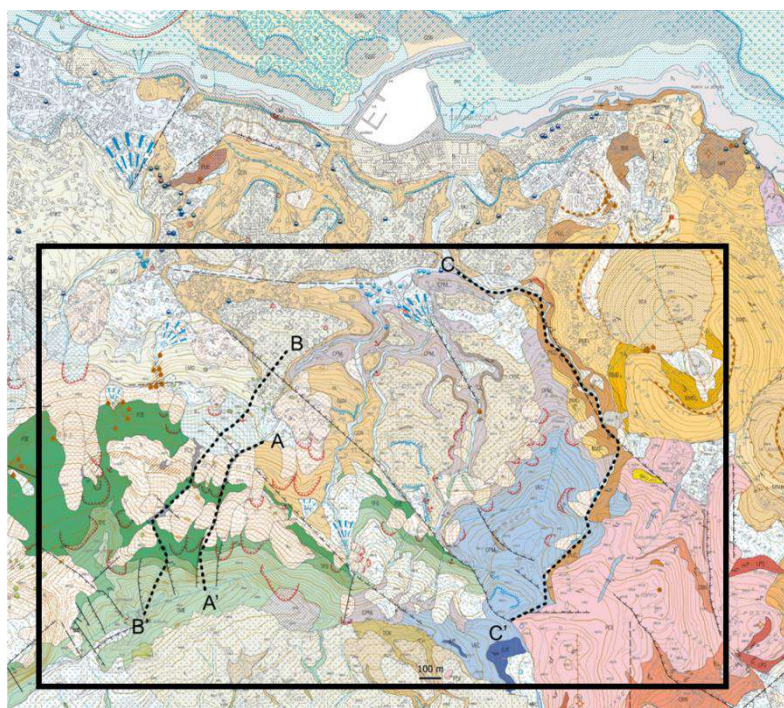


Figura 1.3.1 – Stralcio della Carta Geologica Isola di Ischia, in scala 1:10.000 (Regione Campania-ISPRA, 2011): in evidenza, il settore settentrionale del M. Epomeo. Le tracce A-A', B-B' e C-C' delle sezioni idrostratigrafiche riportate in Figura 1.3.2 coincidono con quelle delle sezioni geologiche riportate nel Capitolo 5.

Dal punto di vista idrogeologico (Figg. 1.3.1 e 1.3.2) l'horst del M. Epomeo è costituito da tufi massivi, fortemente saldati, tufi cineritici, ricchi di pomici, fiamme e scorie, di colore grigio-verdastro, verde-giallastro e verde, di sedimentazione sottomarina e idrotermalizzata, appartenenti al sistema del Rifugio di San Nicola (Fig. 1.3.3d) e rappresentati, dal basso verso l'alto stratigrafico, da: Tufo del Pizzone (PZE), Tufo dei Frassitelli (TMS), Tufo Verde del Monte Epomeo (TME); la permeabilità relativa di tali depositi tufacei è complessivamente media, per porosità, e localmente per fratturazione. I tufi del Pizzone poggiano stratigraficamente sui depositi epiclastici marini

fossiliferi dell'unità di Cava Celario (ECV1, ECV2 e ECV3, in Figura 1.3.2), siltosi e marnosi, con alternanze di areniti e piroclastiti, localmente fratturati e idrotermalizzati, costituenti la base della successione di tufi del blocco risorgente del M. Epomeo (Fig. 1.3.3d); la permeabilità relativa di tali depositi epiclastici è complessivamente bassa, prevalentemente per porosità. Al tetto della successione tufacea del M. Epomeo sono presenti (Figg. 1.3.1 e 1.3.2) altri depositi epiclastici, argillosi, siltosi e sabbiosi, di colore giallastro, verdastro e grigio, di ambiente marino, appartenenti al sintema del Buceto e rappresentati, dal basso verso l'alto stratigrafico, dalle unità di Campomanno (CPM), Colle Jetto (CJT), Cava Leccio (VEC); la permeabilità relativa dei depositi epiclastici è complessivamente bassa, prevalentemente per porosità.

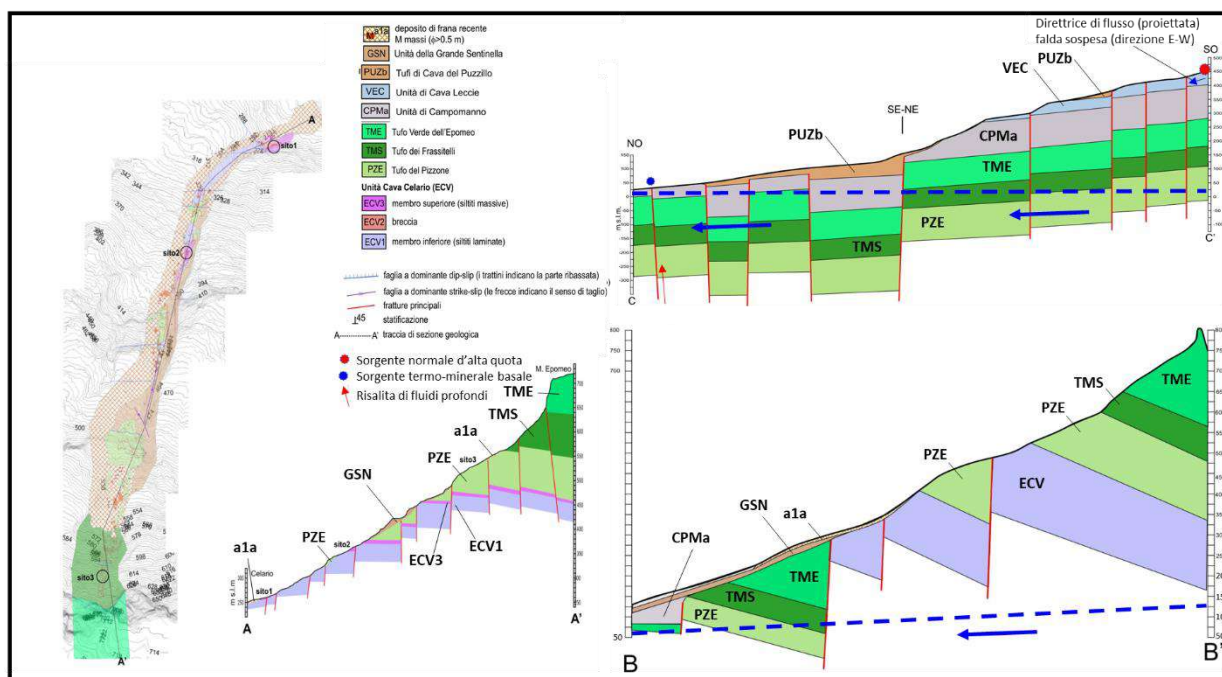


Figura 1.3.2 – Sezioni idrostratigrafiche elaborate sulla base delle sezioni geologiche riportate nel Capitolo 5. La sezione A-A' è stata elaborata sulla base dei nuovi dati di campo rilevati lungo il Vallone Celario. Le sezioni B-B' e C-C' sono state elaborate sulla base delle informazioni contenute nello stralcio del Carta Geologica 1:10.000 (Regione Campania-ISPRA, 2011).

L'intera successione tufaceo-epiclastica è dislocata da numerose faglie e strutture vulcano-tettoniche, ad andamento prevalentemente NW-SE, E-W e NE-SW, che rappresentano i limiti del blocco risorgente del M. Epomeo.

Tale assetto idrostratigrafico favorisce la formazione di una falda di base, profonda (Fig. 1.3.4), all'interno del blocco tufaceo del M. Epomeo, alimentata dalle precipitazioni locali e, subordinatamente, dalle acque di intrusione marina e dai fluidi caldi geotermali. Infatti, Celico et al. (1999) e Piscopo et al. (2020a) riconoscono, per tale settore, una circolazione idrica sotterranea basale, autonoma ed a quota più alta (un "alto idrogeologico") rispetto alle aree marginali e costiere circostanti. La falda, localmente confinata alla base dai depositi epiclastici marini dell'unità di Cava Celario (ECV1, ECV2 e ECV3, in Fig. 1.3.2) a bassa permeabilità, ha un deflusso radiale e divergente

rispetto alla zona centrale del M. Epomeo, ed orientato verso il perimetro costiero, con carichi potenziali variabili da 40 a 120 m s.l.m. (Fig. 1.3.3b) ed elevati gradienti idraulici, fino a 5.5%.

Le faglie marginali del M. Epomeo, con andamento E-W, essendo caratterizzate anche da processi di alterazione idrotermale, costituiscono delle barriere semipermeabili al flusso di base delle acque sotterranee, anche se, localmente, favoriscono la risalita verticale di fluidi profondi, caldi e mineralizzati (vapore acqueo e gas), che alimentano le numerose sorgenti basali termo-minerali (Figg. 1.3.2 e 1.3.3).

Nell'area periferica del settore settentrionale M. Epomeo la falda di base si raccorda, altresì, con la circolazione idrica sotterranea relativamente più superficiale presente nelle formazioni piroclastiche, laviche, detritiche ed epiclastiche (es. Unità della Grande Sentinella) presenti, in affioramento e nel sottosuolo, lungo la fascia costiera del Comune di Casamicciola Terme.

Sulla base dei dati piezometrici (Fig. 1.3.3b) disponibili in letteratura (Piscopo et al., 2020a) è stato possibile ricostruire la Carta della soggiacenza della falda di base del settore del M. Epomeo (Fig. 1.3.4). Dal modello si evince che, a partire dal settore centrale del M. Epomeo fino alla zona costiera, a valle delle sorgenti termo-minerali di piazza Bagni, per le condizioni morfologiche e di acclività del versante, la soggiacenza è maggiore di 30 m (Fig. 1.3.4). In prossimità delle stesse sorgenti e lungo la fascia costiera la soggiacenza tende via via a diminuire, fino a valori compresi tra 0, in corrispondenza delle scaturigini e della linea di costa, e 5 m. Gli stessi valori di soggiacenza, ricavati per differenza tra il DEM e la quota assoluta della falda misurata nei pozzi e alle sorgenti (Fig. 1.3.3), sono cautelativi, poiché, laddove si riscontrano condizioni di confinamento/semiconfinamento della falda di base da parte dei depositi, epiclastici argilloso-siltosi poco permeabili del Sistema del Buceto (CPM, CJT e VEC), la profondità della zona satura dell'acquifero aumenta lungo la verticale. Viceversa, nelle zone di versante, laddove sono presenti falde sospese (non rappresentate in Figura 1.3.4), circolanti nei depositi recenti e di copertura (cfr. par. 1.3.2), la soggiacenza è da considerarsi mediamente bassa (minore di 10 m).

La cumulata di pioggia totale annua, per il periodo 2000-2017, è mediamente pari a 860 mm (Piscopo et al., 2000a), mentre l'evapotraspirazione reale annua varia tra 388 e 691 mm. I valori di infiltrazione efficace medio-annui (Fig. 1.3.5), stimati sulla base del bilancio idrologico, variano per il settore N del M. Epomeo da 0 mm, per le aree urbanizzate, a 500 mm, per le zone sommitali. Misure di portata in alveo, effettuate nel mese di marzo 2018, in occasione di episodi pluviometrici intensi, in un bacino con alta densità di drenaggio del settore meridionale del M. Epomeo (Fig. 1.3.5), hanno consentito di stimare un valore del *runoff* pari al 10% delle precipitazioni cumulate durante l'evento. Infine, prove di pompaggio su pozzi attestati nell'acquifero basale hanno consentito di stimare per il settore settentrionale del M. Epomeo valori di trasmissività dell'acquifero tufaceo variabili tra $7,5 \times 10^{-4}$ e $2,5 \times 10^{-3}$ m²/s (Fig. 1.3.6).

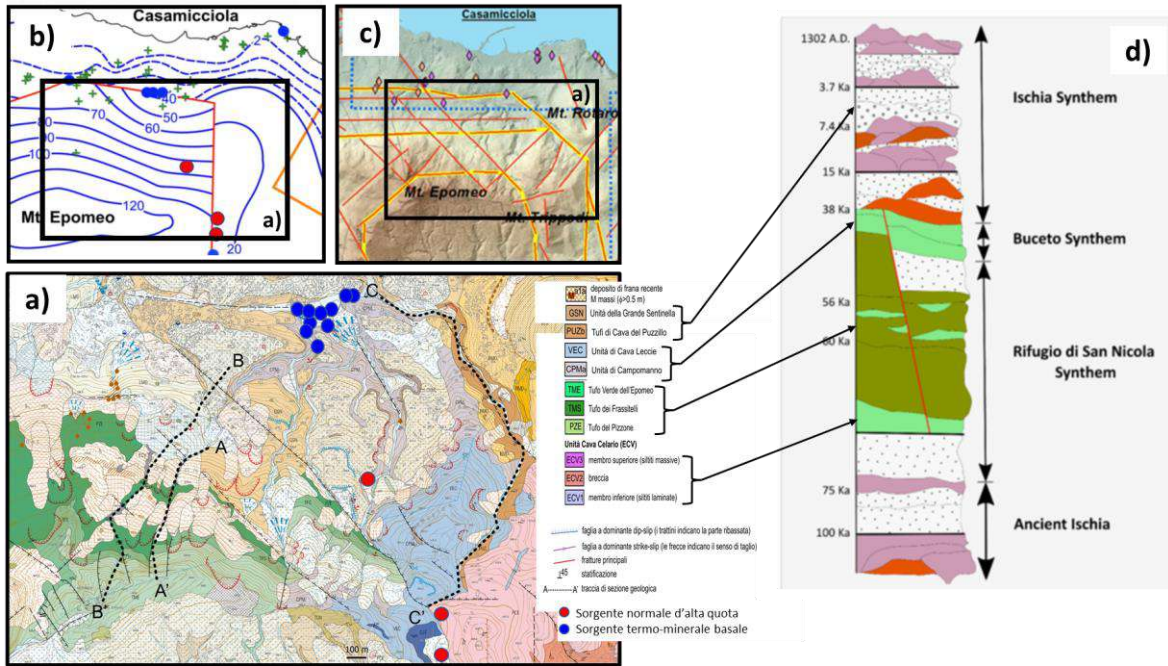


Figura 1.3.3 – a) Stralcio della Carta Geologica in scala 1:10.000 (Regione Campania-ISPRA, 2011) con l'ubicazione di alcune sorgenti termo-minerali basali (colore blu) e sorgenti normali di alta quota (colore rosso). b) Modello di flusso idrico sotterraneo del settore settentrionale del M. Epomeo (Piscopo et al., 2020a, integrato). Il simbolo + (colore verde) indica i pozzi rilevati; c) Lineamenti strutturali (colore giallo e rosso) dell'horst del M. Epomeo (Fabbrocino et al., 2022, modificato). d) Colonna stratigrafica semplificata dell'isola d'Ischia (Piscopo et al., 2020b).

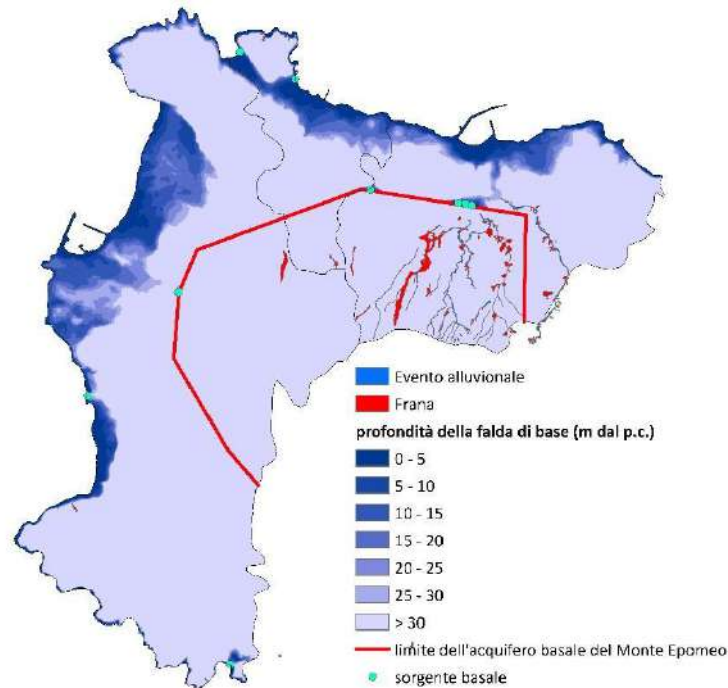


Figura 1.3.4 – Carta della soggiacenza della falda di base (valori in m dal p.c.) del settore centrale, settentrionale, orientale e sud-orientale del Monte Epomeo, derivata dalla carta a curve isopiezometriche (condizioni statiche) riportata in Piscopo et al. (2020a).

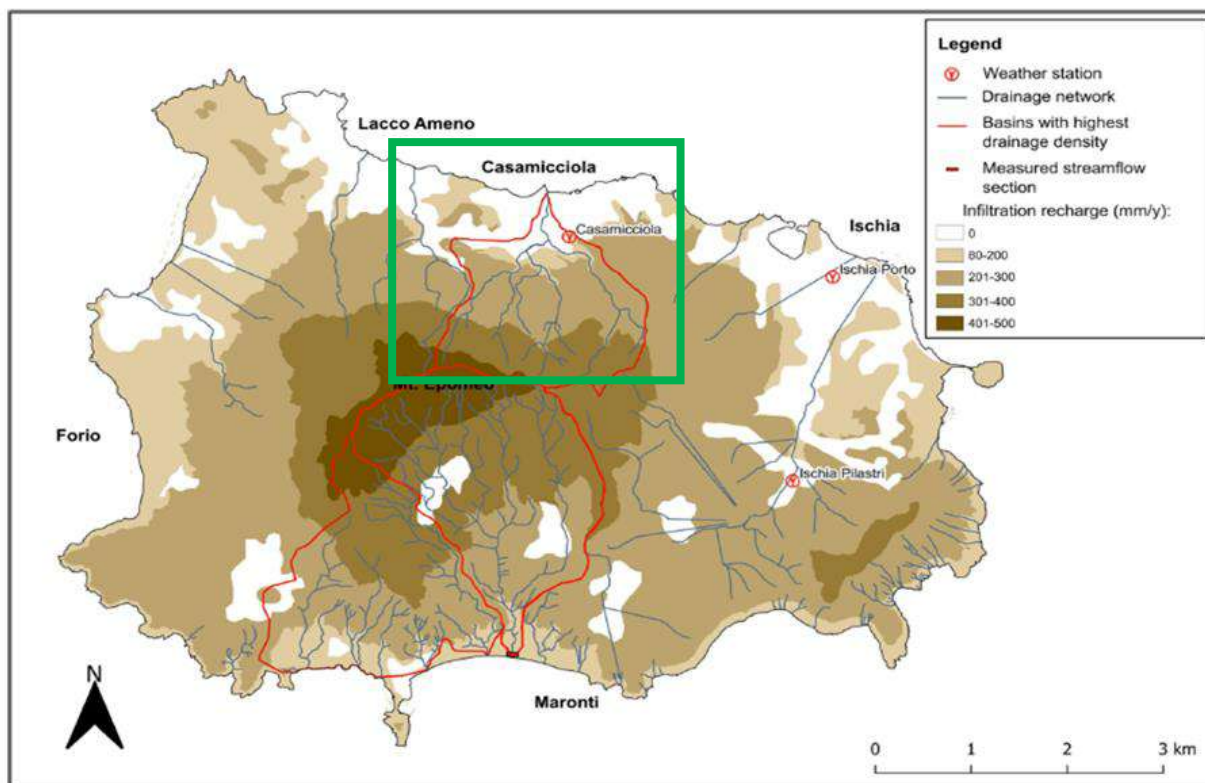


Figura 1.3.5 – Carta dell’infiltrazione efficace (periodo 2000-2017) stimata sulla base del bilancio idrologico medio annuo (Piscopo et al., 2020a).

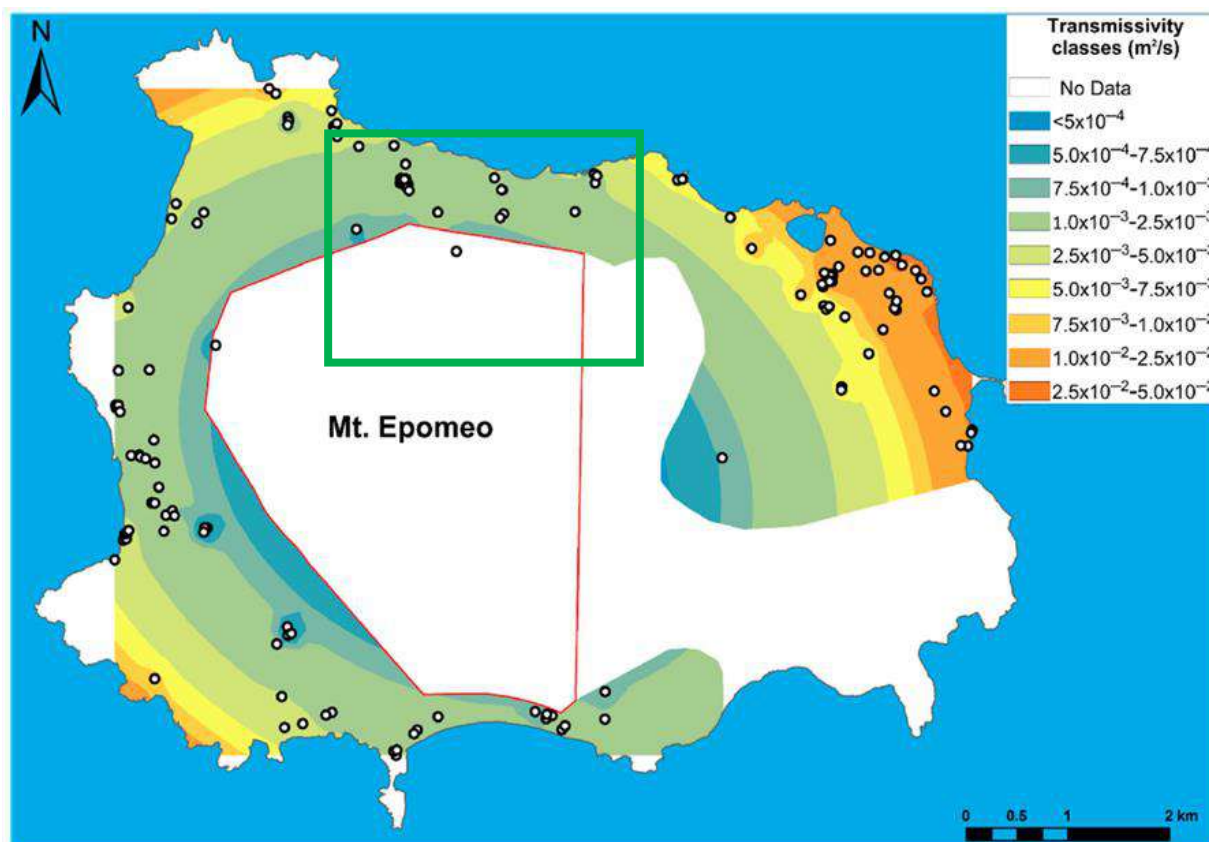


Figura 1.3.6 – Carta della trasmissività dell’acquifero per i diversi settori acquiferi dell’isola d’Ischia (Piscopo et al., 2020a).

1.3.2 Caratteristiche idrogeologiche dei depositi recenti e di copertura

Nel settore settentrionale del M. Epomeo e lungo la fascia pedemontana, al di sopra dei depositi epiclastici delle unità di Cava Leccio, Colle Jetto e Campomanno (Sintema del Buceto) e della successione tufacea (Sintema del Rifugio di San Nicola), sono presenti depositi recenti e di copertura, appartenenti al Sintema dell'Isola d'Ischia (Fig. 1.3.3d) e rappresentati, dal basso verso l'alto stratigrafico, prevalentemente da: depositi piroclastici e lavici dei tufi di Cava del Puzzillo (PUZ); depositi epiclastici in matrice sabbiosa dell'unità della Grande Sentinella (GSN); depositi di origine mista e depositi di colate detritiche (i_c e i_b); lave trachitiche del Monte Tabor (TBR); depositi piroclastici, lave e brecce piroclastiche del Complesso eruttivo del Rotaro Auctt. (BMD e RTA); depositi da caduta, pomicei, scoriacei e cineritici, delle piroclastiti del Cretaio (PCE).

Questi depositi (es. i_c e PCE), caratterizzati da una permeabilità relativa medio-alta, per porosità e fratturazione, sono localmente sede di una circolazione idrica sotterranea di alta quota. Infatti, nella Carta geologica dell'Isola d'Ischia (Regione Campania-ISPRA, 2011), in Celico et al. (1999), Piscopo et al. (2020a) e Bucci et al. (2011) è riportata la presenza di tre sorgenti di alta quota (Fig. 1.3.3a), alimentate da falde sospese e caratterizzate da acque a temperatura e chimismo normale.

Sono, invece, assenti in letteratura i dati idrogeologici e idrostratigrafici, nonché le informazioni sul regime idrologico (es. contenuto d'acqua) e sulla circolazione idrica sotterranea che si può instaurare, seppure occasionalmente, nelle altre formazioni piroclastiche, nei depositi di copertura o coltri pedogenizzate (suoli) coinvolti nell'evento franoso del 26 novembre 2022, nonché sui processi di infiltrazione/percolazione all'interno dello stesso blocco tufaceo sommitale (TME, in Fig. 1.3.7) del M. Epomeo.

Le pochissime informazioni sulla circolazione idrica al momento disponibili derivano da osservazioni di campo, effettuate in corrispondenza della zona di distacco di una delle principali frane che ha interessato il vallone Cava Celario (Fig. 1.3.7), dove si nota la presenza di tracce di erosione di acque di ruscellamento superficiale alla base del costone di Tufo Verde (TME) del M. Epomeo, probabilmente provenienti dallo stesso costone tufaceo.

1.3.3 Sorgenti basali, di alta quota e risorse termo-minerali

Nella zona di piazza Bagni e del vallone La Rita nel Comune di Casamicciola Terme (Fig. 1.3.8) sono presenti numerose sorgenti basali (in totale circa 22, in Figg. 1.3.1 e 1.3.8) aventi temperature delle acque fino a 62 °C e una salinità (TDS) fino a 4.42 g/L (Celico et al., 1999; Piscopo et al., 2020a).

La genesi di dette sorgenti, localizzate a quote comprese tra i 30 e 55 m s.l.m. (Fig. 1.3.2), è riconducibile al locale affioramento della falda di base in corrispondenza di taluni lineamenti strutturali con andamento E-W, caratterizzati da alterazioni idrotermali, e al tamponamento laterale

della falda da parte dei depositi epiclastici poco permeabili del Sistema del Buceto (Unità CPM, CJT e VEC), posti al di sopra del substrato tufaceo. Le acque delle stesse sorgenti basali sono, per gran parte, captate per uso idrotermale, mediante pozzi o opere di captazione a gravità (es. bottini di presa, cunicoli drenanti).

I pochi dati disponibili in letteratura indicano portate sorgive complessivamente fino a 10-15 L/s. Non sono disponibili, invece, dati sul regime idrologico, sebbene si tratti di sorgenti per lo più a deflusso perenne, in condizioni idrologiche naturali non disturbate dai pompaggi.

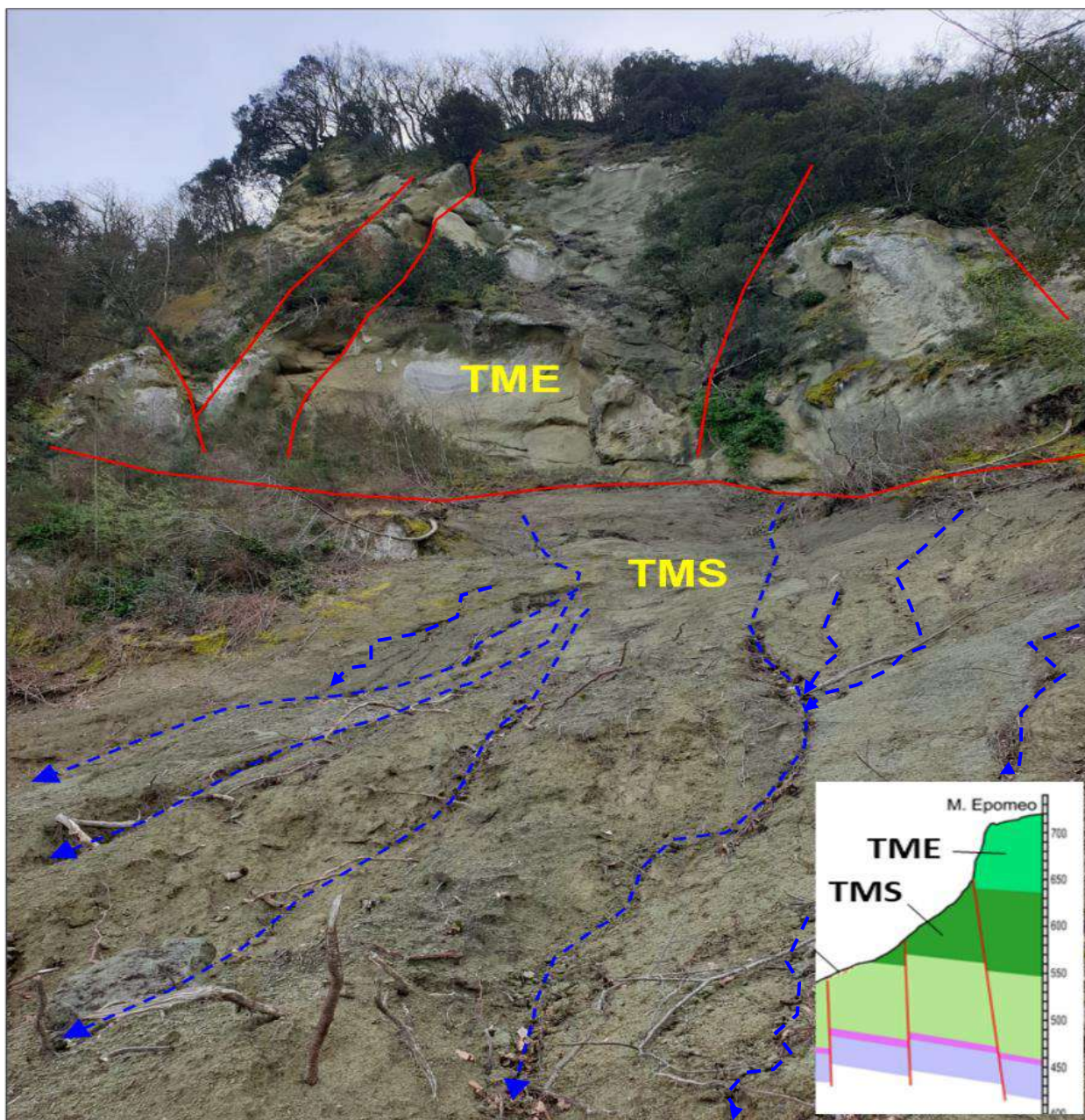


Figura 1.3.7 – Zona di distacco di una delle principali frane superficiali del 26 novembre 2022, lungo il vallone di Cava Celario. Si osserva la presenza di tracce di erosione (linee tratteggiate blu) delle acque di ruscellamento superficiale probabilmente provenienti anche dal costone di Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). Le linee rosse indicano alcune principali fratture e probabili lineamenti strutturali.

Nel settore settentrionale del M. Epomeo sono presenti tre sorgenti di alta quota (Fig. 1.3.8). Le prime due, ubicate in località Fonte del Buceto, nella zona SW del M. Toppo (Fig. 1.3.1), tra i Comuni di Casamicciola Terme e Barano d'Ischia, scaturiscono ad una quota variabile tra 450 e 452 m s.l.m., e ricadono, entrambe, nel bacino idrografico che drena le acque verso Ischia Porto. La genesi di tali sorgenti è legata alla presenza di locali variazioni verticali della permeabilità all'interno delle piroclastiti del Cretaio (PCE) e al tamponamento, alla base e laterale, della circolazione idrica sotterranea da parte dei depositi epiclastici meno permeabili dell'unità di Cava Leccie e Colle Jetto (VEC e CJT). I pochissimi dati di letteratura (Celico et al., 1999; Bucci et al., 2011; Piscopo et al., 2020a) indicano una temperatura delle acque di 13 °C, un TDS pari a 0,76 g/L e una portata sorgiva inferiore ad 1 L/s, sebbene fonti storiche confermerebbero un regime idrologico perenne, essendo state captate nel 1590 dall'antico acquedotto del Buceto (noto anche come acquedotto dei Pilastri) ed utilizzate per alimentare la popolazione dell'isola d'Ischia fino alla fine del XVIII secolo (Di Meglio, 2007).

La terza sorgente, non captata, è posta a quota di circa 240 m s.l.m. (Fig. 1.3.3a) e ricade nel bacino idrografico di Cava Fasaniello. La genesi di tale sorgente è legata alla presenza di una falda sospesa circolante all'interno dei depositi di origine mista (i_c), tamponata lateralmente e alla base dai depositi epiclastici siltosi ed in matrice argillosa a bassa permeabilità dell'unità di Campomanno (CPM). Non sono disponibili, in letteratura, dati sulla portata e sul regime sorgivo e ciò fa propendere per un regime stagionale della sorgente.

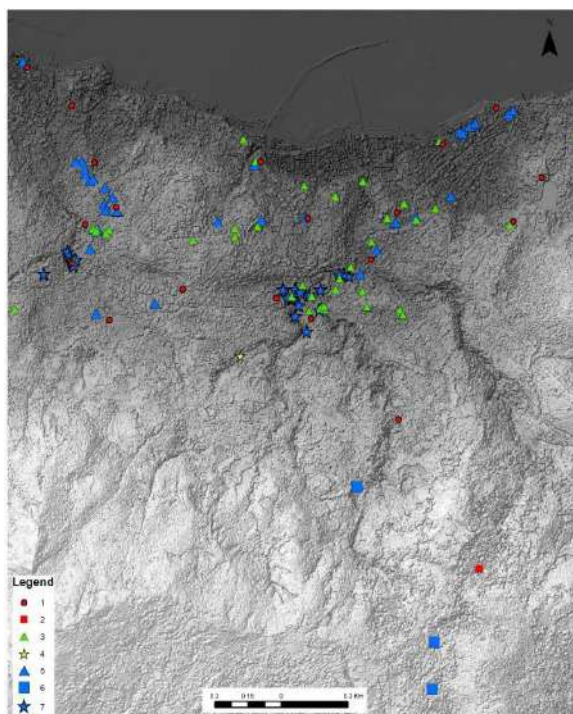


Figura 1.3.8 – Carta inventario delle sorgenti basali, di alta quota e delle risorse termo-minerali (pozzi e concessioni) dell'area di Casamicciola Terme. Legenda: 1) pozzi campionati in Celico et al. (1999); 2) sorgenti di alta quota rilevate in Celico et al. (1999); 3) concessioni termo-minerali (Provincia di Napoli, 2004); 4) sorgenti basali rilevate in Fabbrocino et al. (2022); 5) pozzi termo-minerali riportati sulla Carta Geologica in scala 1:10.000 (Isola di

Ischia); 6) sorgenti di alta quota riportate sulla Carta Geologica in scala 1:10.000 (Isola di Ischia); 7) sorgenti basali termo-minerali riportate sulla Carta Geologica in scala 1:10.000 (Isola di Ischia).

L'area di Casamicciola Terme è uno dei settori di maggiore interesse termo-minerale dell'isola d'Ischia (Fig. 1.3.8), per la presenza di numerose strutture e stabilimenti termali che utilizzano le acque sotterranee, calde e mineralizzate, per scopi terapeutici. La presenza di acque sotterranee aventi peculiari caratteristiche idrotermali ha consentito di sviluppare, a partire dall'Ottocento, un fiorente turismo termale, facendo diventare l'isola d'Ischia una dei principali centri termali d'Europa.

Studi condotti in passato sulle acque termo-minerali dell'isola d'Ischia (Allocca & Celico, 2004; Allocca et al., 2008) hanno consentito di censire, nel 2004, per il solo Comune di Casamicciola Terme, circa 40 stabilimenti termali (Fig. 8) che, sulla base di concessioni regionali, utilizzavano tramite pozzi le acque di falda e di sorgenti, per le attività e cure termali, soprattutto durante la stagione turistica, concentrata nel periodo aprile-novembre.

Inoltre, gli studi sulla composizione chimico-fisica delle acque termo-minerali del settore del M. Epomeo (Celico et al., 1999; Di Napoli et al., 2009; Piscopo et al., 2020a, b) evidenziano un chimismo fortemente influenzato dalla natura vulcanica dell'isola e dall'interazione tra acque di infiltrazione di origine meteorica, acque di ingressione marina e fluidi geotermali in risalita lungo le zone di faglia.

Procedendo da monte verso valle, in senso idrogeologico, si osserva un aumento generale del grado di mineralizzazione delle acque sotterranee. Per le sorgenti di alta quota la *facies* è bicarbonato-calcica, mentre per le acque della falda basale la *facies* è bicarbonato-alkalina, per i settori più interni, mentre tende verso la *facies* solfato-clorurato-alkalina, lungo la fascia costiera (Fig. 1.3.9). Le acque sotterranee hanno temperature (Fig. 1.3.10) fino a 80-90 °C, in prossimità delle faglie (es. zona di piazza Bagni), mentre la temperatura diminuisce, fino a valori di 20-40°C, man mano che ci si avvicina alla linea di costa. Viceversa, la conducibilità elettrica (Fig. 1.3.11) tende ad aumentare verso la fascia costiera, dove raggiunge valori fino a 20.000-50.000 µS/cm, a causa di una maggiore interazione con acque fredde di ingressione marina.

Tale composizione idrochimica è fortemente influenzata, nello spazio e nel tempo, dalla distribuzione dei pozzi e delle concessioni (Fig. 1.3.8), dall'entità dei prelievi e dalla locale risposta al pompaggio (Celico et al., 1999; Piscopo et al., 2020a, b). Pertanto, ai fini di una corretta salvaguardia e gestione della risorsa, nonché conservazione delle proprietà termo-minerali delle acque e del relativo valore economico, per Casamicciola Terme, come per l'intera isola d'Ischia, il monitoraggio quali-quantitativo, in continuo e da remoto, delle acque sotterranee è uno strumento indispensabile per gli Enti gestori e le Autorità locali di controllo del territorio, oltre che un'opportunità per le Istituzioni regionali e nazionali per integrare gli attuali sistemi di monitoraggio, previsione e prevenzione del rischio vulcanico, sismico e idrogeologico dell'isola.

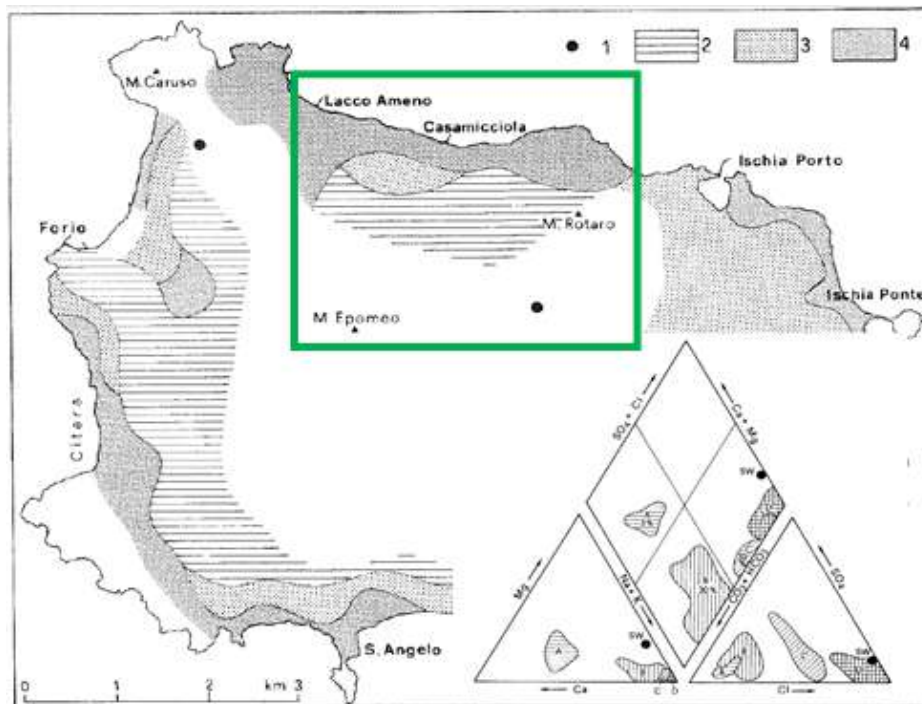


Figura 1.3.9 – Carta della facies idrochimica delle acque termo-minerali del settore (riquadro verde) del M. Epomeo (Celico et al., 1999). Legenda: 1) Acque bicarbonato-calciche (punto nero); 2) Acque bicarbonato-alkaline; 3) Acque di transizione; 4) Acque solfato-clorurato-alkaline. All'interno è riportato il diagramma di classificazione di Piper.

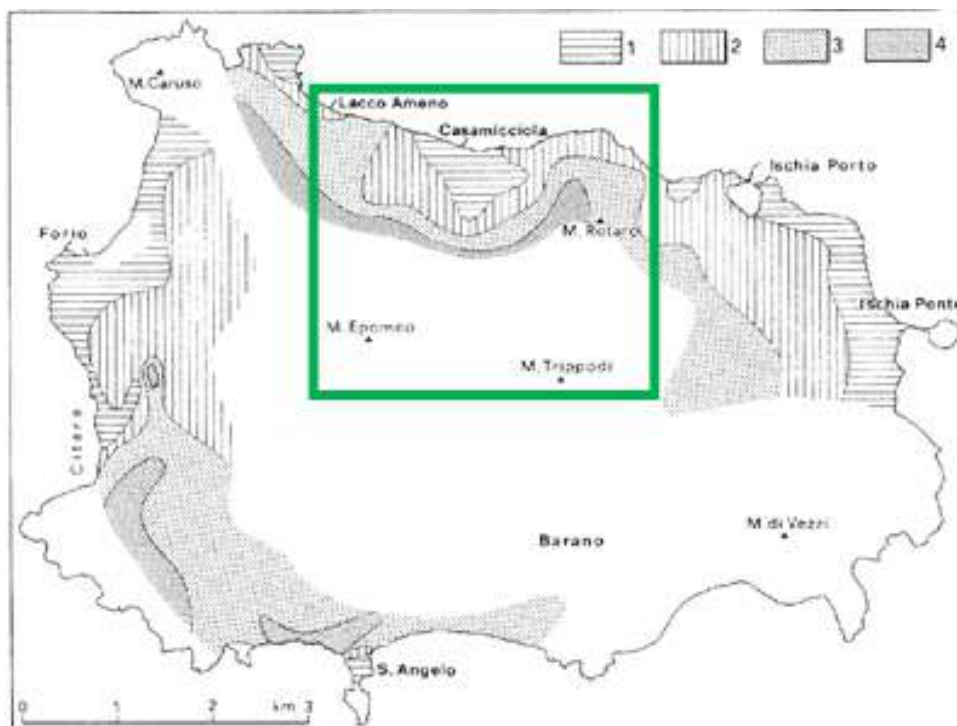


Figura 1.3.10 – Carta della temperatura (T) delle acque termo-minerali del settore (riquadro verde) del M. Epomeo (Celico et al., 1999). Legenda: 1) T compresa tra 20 e 40 °C; 2) T compresa tra 40 e 60 °C; 3) T compresa tra 60 e 80 °C; 4) T compresa tra 80 e 90 °C.

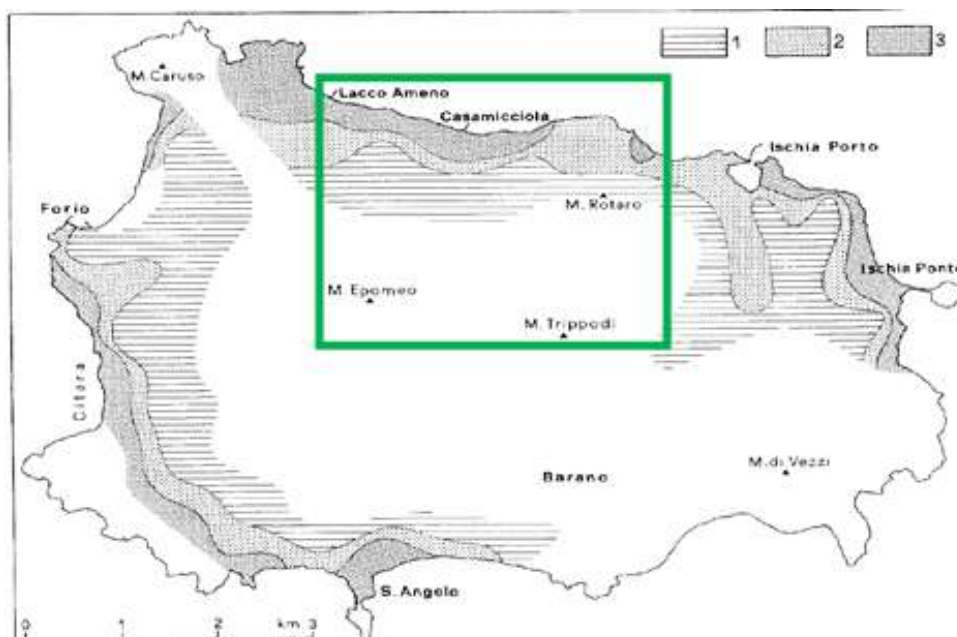


Figura 1.3.11 – Carta della conducibilità elettrica (CE) delle acque termo-minerali del settore (riquadro verde) del M. Epomeo (Celico et al., 1999). Legenda: 1) CE compresa tra 5.000 e 10.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 2) CE compresa tra 10.000 e 20.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$; 3) CE compresa tra 20.000 e 50.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

1.4 GEOTECNICA

1.4.1 Inquadramento territoriale

La caratterizzazione geotecnica dei terreni dell'area di studio si basa essenzialmente sugli studi condotti presso il DICEA-UNINA sin dal 2020 nell'ambito del progetto interdisciplinare di ricerca MASLIDE (*Multi-level Approach for the Study of Landslides Induced by Earthquakes*), finanziato dall'Università di Napoli Federico II e condotto fin dall'inizio con il supporto del Dipartimento di Protezione Civile e del Commissariato di Governo. L'obiettivo è stato l'analisi e la mappatura della pericolosità geotecnica per fenomeni franosi (essenzialmente da scorrimento) e di liquefazione indotti da terremoti, con riferimento ai territori dei tre Comuni colpiti dal terremoto del 2017 (Casamicciola, Lacco Ameno, Forio) e sottoposti a studi di Microzonazione Sismica (MS). Malgrado il progetto sia stato finalizzato a valutazioni multi-scala di stabilità in condizioni sismiche, di cui si riferirà in un apposito rapporto riassuntivo, l'esperienza sviluppata in tale ambito costituisce in ogni caso una base conoscitiva di riferimento per la caratterizzazione dei depositi suscettibili di meccanismi di instabilità innescabili da eventi idro-meteorici quali quello del 26.11.2022.

Il *database* sul sottosuolo messo a punto per gli studi di MS dal *Centro per la Microzonazione Sismica e sue Applicazioni* per conto del Commissario di Governo è stato integrato da ulteriori dati topografici, geo-morfologici, geognostici, geofisici, geotecnici, satellitari e inclinometrici,

successivamente raccolti anche con le campagne d'indagine programmate nel progetto, concertate e coordinate con quelle sviluppate in parallelo dalla Regione Campania ai fini del Piano di Ricostruzione. Il tutto è stato implementato su un sistema informativo territoriale reso disponibile al DPC già nella fase emergenziale, che è stato continuamente aggiornato e arricchito di nuovi dati nell'ambito degli studi in corso.

Negli studi di MS la legenda della Carta geologica regionale (CARG) è stata semplificata secondo la codifica standard della Commissione Tecnica per la Microzonazione Sismica (2020), al fine di produrre la Carta geo-litologica riportata in Figura 1.4.1 per i tre Comuni colpiti dal terremoto.

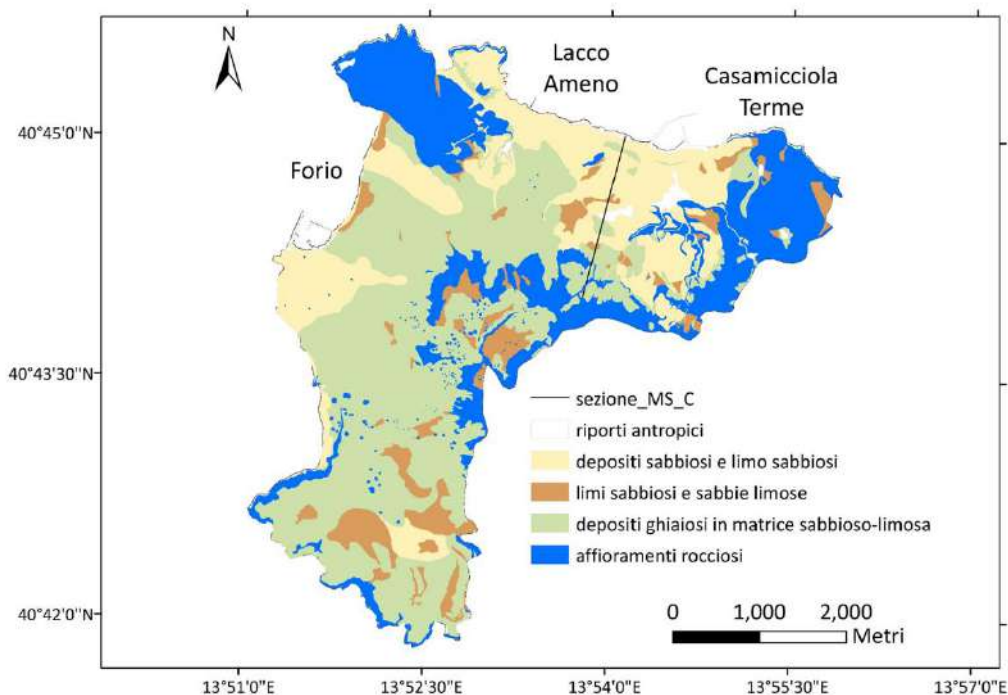


Figura 1.4.1 – Carta geo-litologica del settore NW dell'isola di Ischia (modificata da Toscano et al. 2019).

La legenda semplificata accorpa l'estrema eterogeneità dei depositi dell'area in cinque macro-unità lito-stratigrafiche, secondo le quali sono stati suddivisi i dati raccolti da indagini in sito e da prove di laboratorio disponibili nell'area di studio, nonché quelle eseguite *ad hoc* per gli studi di MS e successivamente. Per i dettagli circa la conversione della legenda dei litotipi si rimanda al lavoro di Mancini et al. (2021).

Le indagini disponibili hanno consentito di ricostruire diverse sezioni stratigrafiche, rappresentative dei differenti assetti riconosciuti nei tre Comuni colpiti dal sisma, tra cui quella mostrata in Figura 1.4.2, tracciata lungo la massima pendenza del versante dell'Epomeo in direzione NS (cfr. Fig. 1.4.1) attraverso la zona epicentrale del terremoto del 2017.

La sezione, comparabile a quelle tracciabili lungo alcuni degli alvei oggetto di studio, evidenzia la notevole acclività delle falde del M. Epomeo, ricoperte da esigui spessori di terreni prevalentemente

ghiaiosi, che, nella porzione più superficiale, sono il prodotto di una successione di eventi franosi pregressi di varia tipologia (scorrimenti, colate o valanghe detritiche). La granulometria varia da ghiaia in matrice sabbio-limoso nella zona sommitale (GM-fd), per diventare via via prevalentemente sabbiosa verso valle (SM-fd o SM-cd), con interposizione di depositi colluviali più fini (MLec). Le formazioni rocciose del substrato (SFGRS, SFCO, SFLP) sono caratterizzate da giaciture a reggipoggio e dalla presenza di numerose faglie ad alto angolo, che, ai piedi del versante, formano un *graben* profondo, riempito di terreni sabbiosi deformabili. La particolare morfologia sepolta di quest'area e il contrasto d'impedenza sismica tra substrato e terreni di copertura hanno contribuito a determinare una significativa amplificazione della risposta sismica locale, evidenziata dalla concentrazione del danno osservato in quest'area a seguito del terremoto del 2017.

La variabilità stratigrafica del territorio dei tre Comuni è evidenziata dalla Carta di microzonazione di primo livello mostrata in Figura 1.4.3a, in cui sono perimetrate le aree omogenee in prospettiva sismica (MOPS). Queste vanno associate alle corrispondenti colonne stratigrafiche, con i relativi intervalli di variazione della velocità delle onde di taglio, V_s , ottenute interpretando le numerose indagini geofisiche in foro e di superficie eseguite nelle stesse aree (Fig. 1.4.3b).

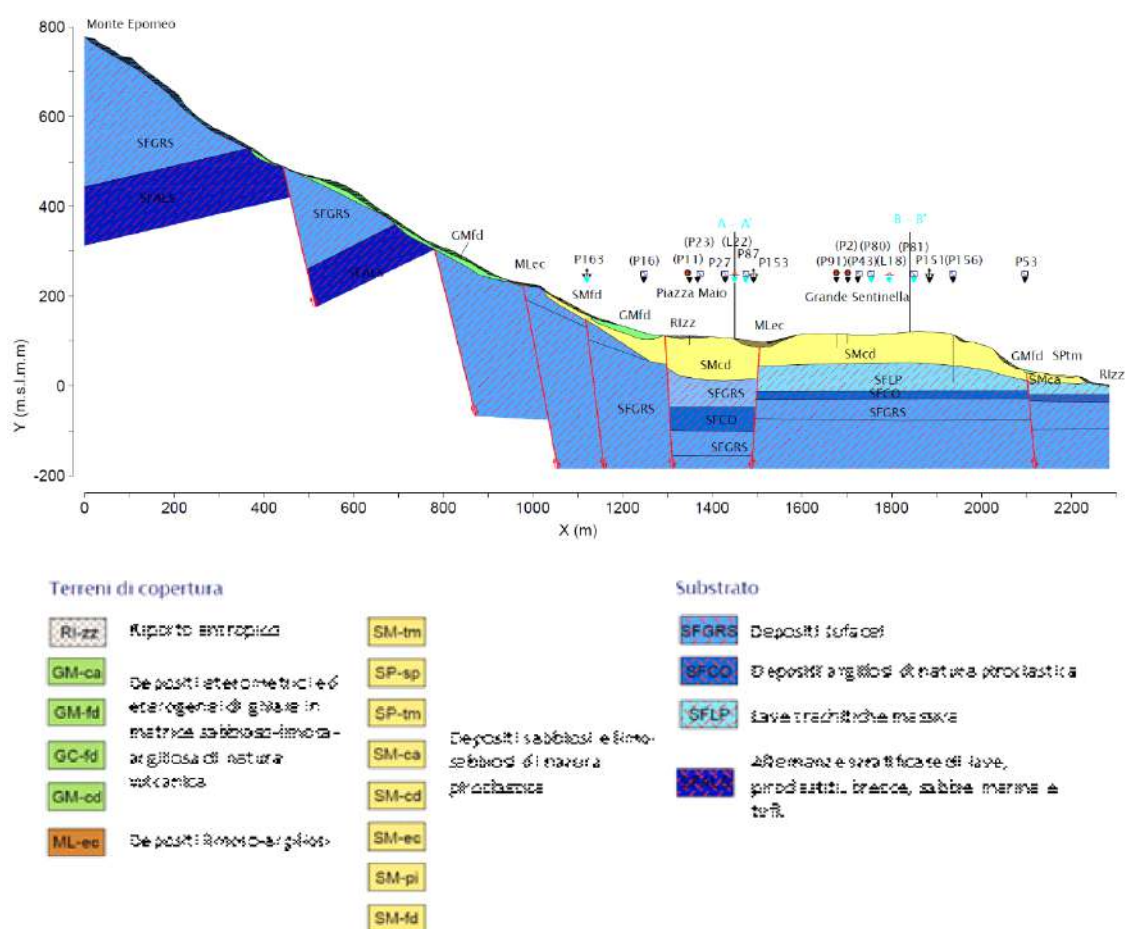


Figura 1.4.2 – Sezione stratigrafica NS attraverso Casamicciola Terme (Toscano et al., 2019).

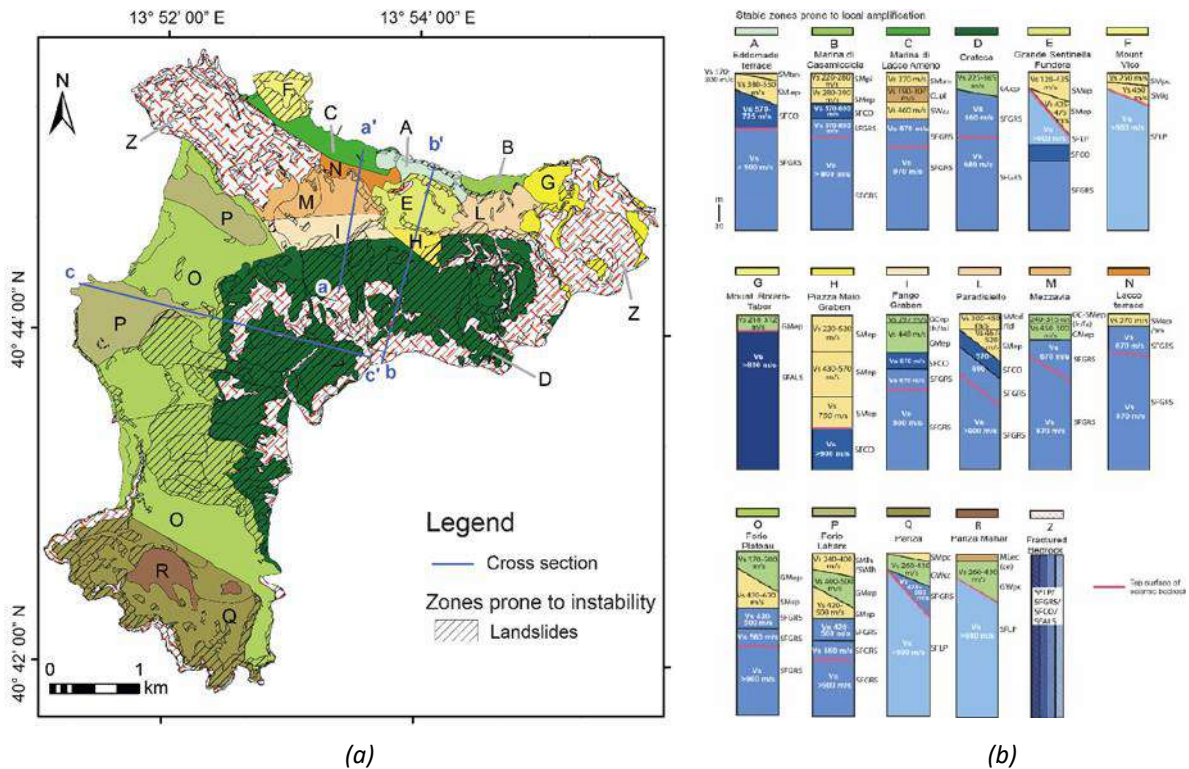
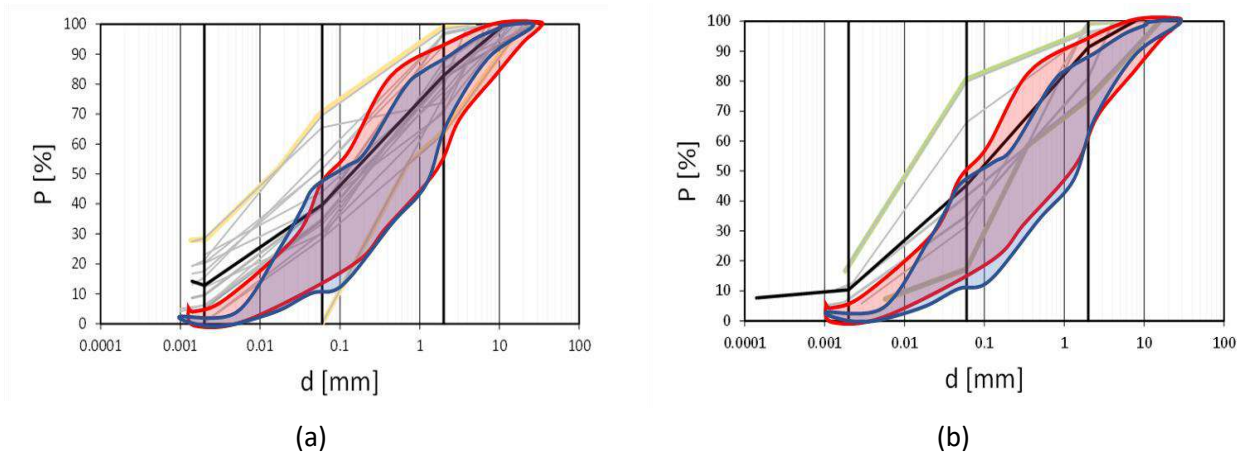


Figura 1.4.3 – (a) Carta delle MOPS e (b) colonne stratigrafiche tipo (Mancini et al., 2021).

La Carta di MS di primo livello evidenzia altresì che, considerando l'involuppo delle perimetrazioni del Piano di Assetto Idrogeologico e dell'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia, il 48% dell'area dei tre Comuni (tratteggiata in Figura 1.4.3.a) è classificata come 'instabile' e quindi considerata 'Zona di Attenzione'.



- Terreno superficiale (~1m) M.te Lattari (NA) (da Forte et al., 2019)
- Terreno superficiale (~1m) Campo prove di Monteforte Irpino (AV) (da Pirone et al., 2015)

Figura 1.4.4 – Fusi granulometrici di depositi sabbiosi (sx) e ghiaiosi (dx) di natura vulcanica presenti nell'Isola, confrontati con quelli dei terreni vulcanici della coltre superficiale dei Monti Lattari (NA) e di Monteforte Irpino (AV)

I dati delle analisi granulometriche raccolte sull'intero territorio, raggruppati sulla base dell'ubicazione dei siti di prelievo dei campioni nell'ambito dei depositi prevalentemente sabbiosi e ghiaiosi così come classificati nella Carta geo-litologica, evidenziano un'elevata variabilità e mostrano fusi granulometrici e curve medie piuttosto simili, indipendentemente dalla classificazione geo-litologica (Fig. 1.4.4a-b). I fusi risultano tra l'altro confrontabili con quelli caratteristici delle formazioni coinvolte in colate rapide lungo i versanti dei Monti Lattari e di Monteforte Irpino, in passato approfonditamente studiate presso il DICEA.

Da 20 di prove di taglio diretto e 4 prove triassiali eseguite su campioni prelevati negli stessi siti è stato possibile determinare (in prima approssimazione ipotizzando coesione nulla e prescindendo dall'effettivo grado di saturazione dei provini), gli angoli di resistenza al taglio delle due macroformazioni (Fig. 1.4.5). I valori risultano leggermente maggiori per le formazioni più grossolane, e comunque confrontabili con l'intervallo dei valori (36.2°-38.4°) misurati sulle sopraccitate analoghe formazioni nel territorio campano.

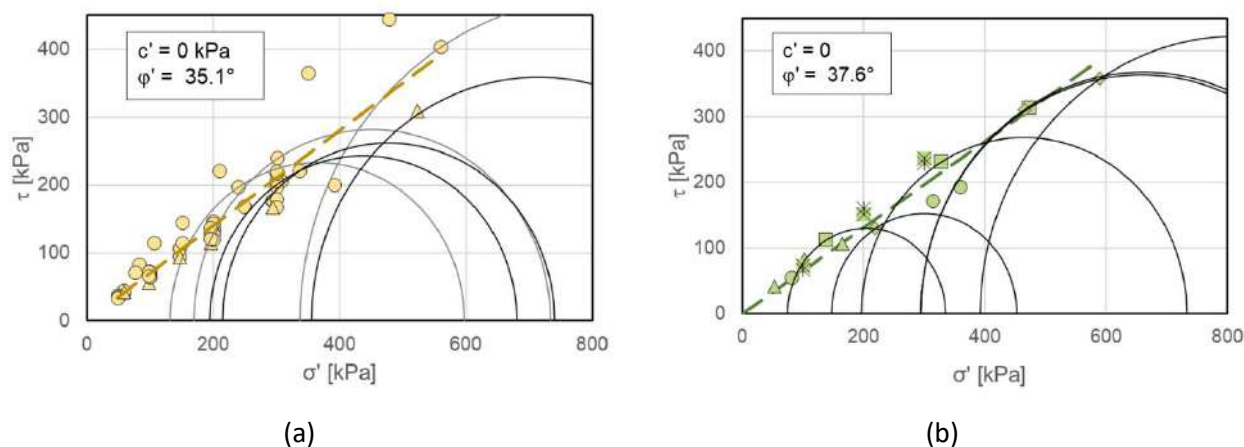


Figura 1.4.5 – Involupi di rottura medi da prove triassiali e di taglio diretto distinti per (a) terreni sabbiosi e sabbio-limosi e (b) terreni ghiaiosi in matrice sabbiosa e sabbio-limoso.

1.4.2 Caratteri geotecnici principali dei terreni dell'area di studio

La mappa delle MOPS in Figura 1.4.3 mostra che nell'area oggetto di studio, che circonda il Comune di Casamiciola, le pendici del monte Epomeo sono caratterizzate da spessori esigui di ghiaia a matrice argillosa-sabbiosa poggianti su substrato tufaceo fratturato (MOPS D), mentre, procedendo verso la fascia costiera, si rinvengono spessori più o meno significativi di sabbie e sabbie limose di diversa origine (MOPS A, B, E, H e L).

Nella Figura 1.4.6 sono riportate le ubicazioni delle diverse indagini reperite nell'area, distinte con simboli diversi per tipologia e con colori diversi per provenienza, a seconda se eseguite per il Piano Regolatore (PRG), la microzonazione sismica (MS3), la ricostruzione (RC) e nell'ambito del progetto MASLIDE.

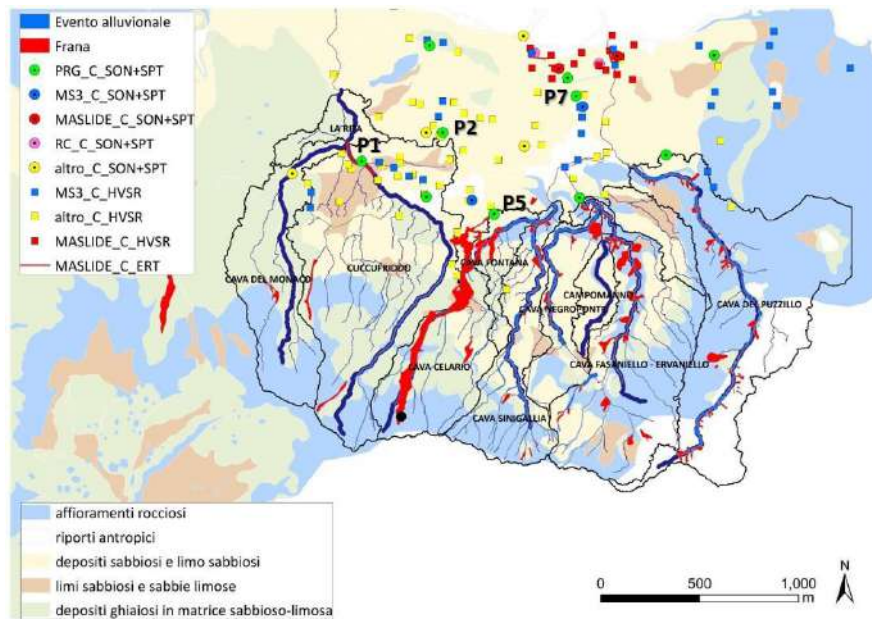


Figura 1.4.6 – Ubicazione delle indagini disponibili nell'area oggetto di studio.

Tutte le indagini in foro ricadono nei depositi sabbiosi epiclastici, e i campioni analizzati sono caratterizzati da una significativa variabilità granulometrica, come evidenziato dalle curve mostrate in Figura 1.4.7, confrontate con il fuso dei campioni prelevati nell'immediato post-evento in prossimità della zona apicale di cava Celario (cerchio nero in Figura 1.4.6) e raccolti tra l'accumulo al piede del versante e diversi siti di stoccaggio temporanei (Parcheggio Rarone, Pio Monte) fino alla costa.

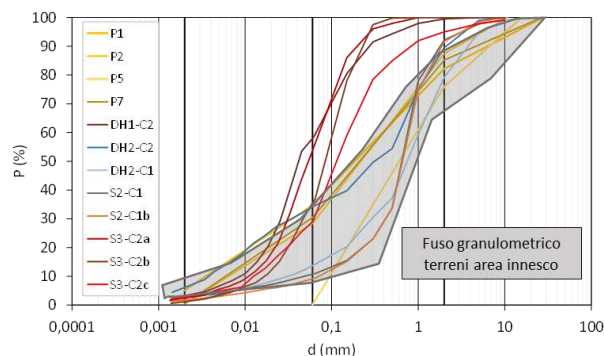


Figura 1.4.7 – Granulometrie dei campioni prelevati nei depositi sabbio-limosi nell'area del Comune di Casamicciola.

Il confronto conferma che i terreni giacenti lungo le pendici del M. Epomeo sono maggiormente assortiti e grossolani, presentando percentuali di ghiaia comprese tra il 15 e il 35%. Procedendo verso valle e in prossimità della costa, i terreni diventano via via più fini, con granulometrie francamente sabbiose e sabbioso-limose, anche se comunque caratterizzati da plasticità nulla.

Le uniche quattro prove di taglio diretto disponibili nel *database* raccolto nell'area oggetto di studio sono state eseguite nei siti P1 ÷ P7, con procedure di prova non sempre note e talvolta

eseguite su provini a contenuto d'acqua naturale diverso da quello di saturazione; si noti che i campioni, pur se prelevati in zone diverse, hanno distribuzioni granulometriche ricadenti nel fuso di riferimento. I risultati sono sintetizzati in Figura 1.4.8a in termini di un unico involucro di resistenza a rottura, corrispondente ad un angolo di attrito di 27.2° e una coesione di 16 kPa. Va osservato che, essendo state le prove di taglio diretto condotte in condizioni di contenuto naturale d'acqua ($S_r = 80\%-93\%$), i parametri di resistenza devono essere intesi come rappresentativi del comportamento in termini di tensioni totali. D'altra parte, l'angolo d'attrito è significativamente inferiore rispetto a quello critico in tensioni efficaci dei terreni confrontabili sopracitati ($35^\circ-38^\circ$) e la coesione, dell'ordine di una quindicina di kPa, è da ritenere come apparente, e pertanto indicativa della permanenza di una suzione non nulla nei campioni sottoposti a prova. Tale valore di coesione è compatibile con i valori di suzione misurati in sito in questi terreni, che non supera la decina di kPa.

Nella Figura 1.4.8b si riportano invece i risultati di due prove di taglio semplice monotono a drenaggio impedito eseguite su un campione, prelevato dal sondaggio DH2 ubicato nella zona costiera, caratterizzato da distribuzione granulometrica ricadente nel fuso di riferimento. L'angolo di attrito di stato critico assume un valore ($\phi'_{cv} = 34^\circ$) in linea con quelli misurati sui sopracitati terreni vulcanici dei Monti Lattari e di Monteforte Irpino.

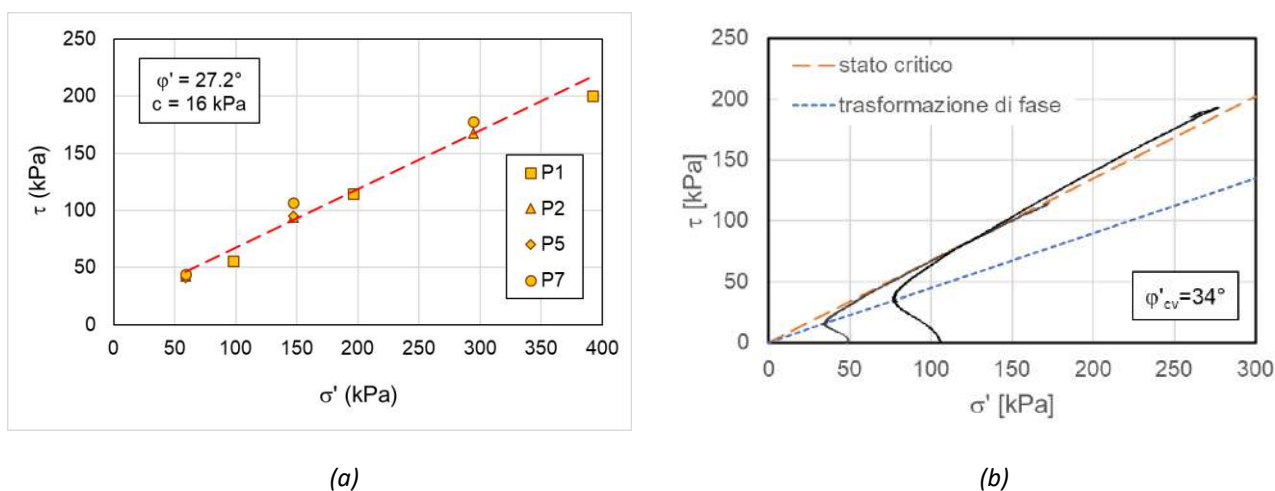


Figura 1.4.8 – Involuppi di rottura delle prove di taglio diretto (a) e di taglio semplice (b) nell'area di studio.

1.5 CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DELLE AREE DI STUDIO

1.5.1 Introduzione

In questo paragrafo è effettuata la caratterizzazione fisica dell'isola di Ischia nei riguardi delle massime piogge che possono realizzarsi in intervalli di tempo di durata non superiore alle 24 ore, e che possono determinare, oltre che movimenti gravitativi di versante, anche il ruscellamento di

acque in grado di generare portate non tollerabili dai collettori terminali delle reti fognarie a servizio dei vari Comuni dell'isola.

1.5.2 Area di studio

In questa fase delle attività, l'area oggetto di studio è stata, specificatamente, quella del territorio comunale di Casamicciola Terme e di piccole porzioni dei territori comunali di Forio d'Ischia e di Lacco Ameno (v. Figg. 1.5.1. e 1.5.2). In particolare, le aree qui prese sono posizionate nella parte più settentrionale dell'isola d'Ischia.

Le aree qui prese a specifico riferimento per le valutazioni idrologiche presentano una conformazione in gran parte collinare. Man mano che si risale verso l'entroterra, allontanandosi dalla costa, la densità demografica diminuisce e, con essa, il grado di antropizzazione e di impermeabilizzazione del territorio, azzerandosi, o quasi, in prossimità del M. Epomeo. Le zone più a monte, fino a quota 250-300 m s.l.m.m., si presentano, viceversa, abbondantemente rinverdate, per cui, nel caso di precipitazioni non molto intense e di durata non molto elevata, tendono a trattenere parte delle precipitazioni, cosa che, viceversa, non accade in casi quali quelli verificatisi nella notte dello scorso 26 novembre 2022, caratterizzata da piogge di durata ragguardevole (dell'ordine delle 6 ore) e di intensità media tale da risultare superabili, mediamente, ogni 100-200 anni.

L'obiettivo finale che ci si è proposti di conseguire nella presente fase delle attività è stato, da un lato, quello di individuare le espressioni delle curve di probabilità pluviometrica relative all'intera isola di Ischia (e, in particolare, ai vari sottobacini individuati all'interno del territorio comunale di Casamicciola, e di una parte limitata dei Comuni di Forio d'Ischia e Lacco Ameno); dall'altro, una valutazione, a partire da specifici modelli di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena, delle portate massime che potrebbero pervenire ai tratti tombati a servizio delle zone più urbanizzate di Casamicciola Terme e di Lacco Ameno, in modo da poterle poi utilizzare per una verifica idraulica dei tratti tombati che costituiscono la parte storica e principale della rete di drenaggio urbano dei Comuni di Casamicciola Terme (Fig. 1.5.3) e di Lacco Ameno (Fig. 1.5.4).

In Figura 1.5.5 è riportata l'intera area oggetto di studio.



Figura 1.5.1 - Inquadramento satellitare dell'isola di Ischia e dei diversi Comuni.

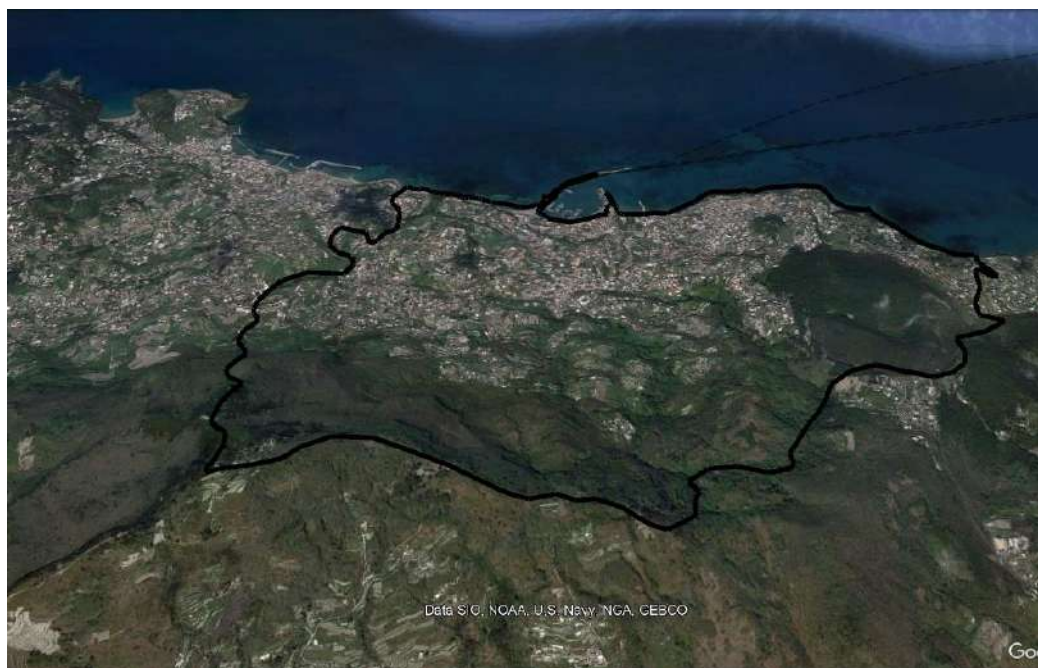


Figura 1.5.2 - Inquadramento satellitare (Google Earth) dell'area presa a riferimento nelle analisi idrologiche.

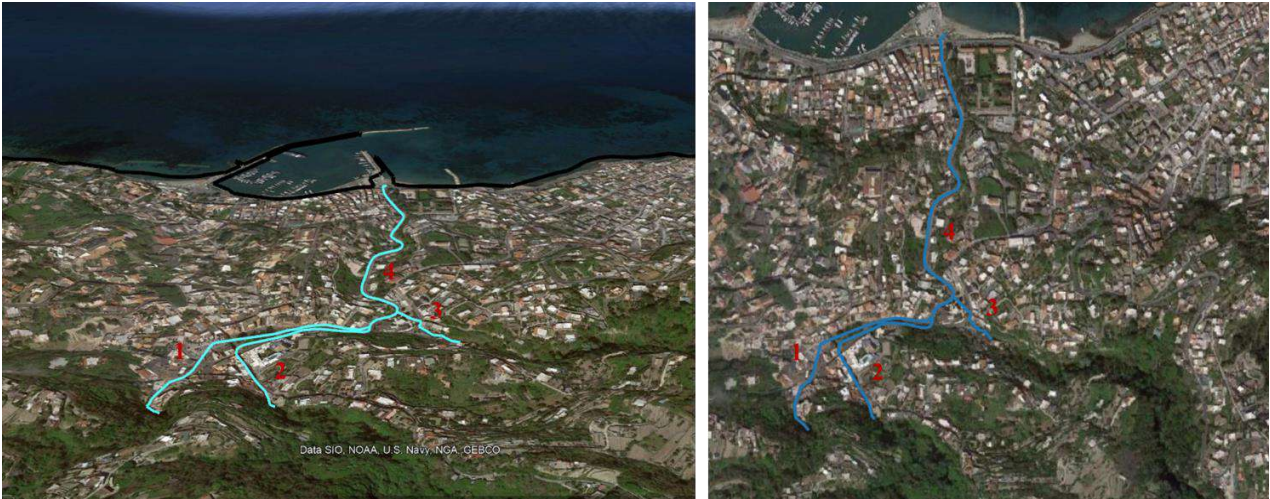


Figura 1.5.3 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del Comune di Casamicciola Terme



Figura 1.5.4 - Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava, al confine tra i Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

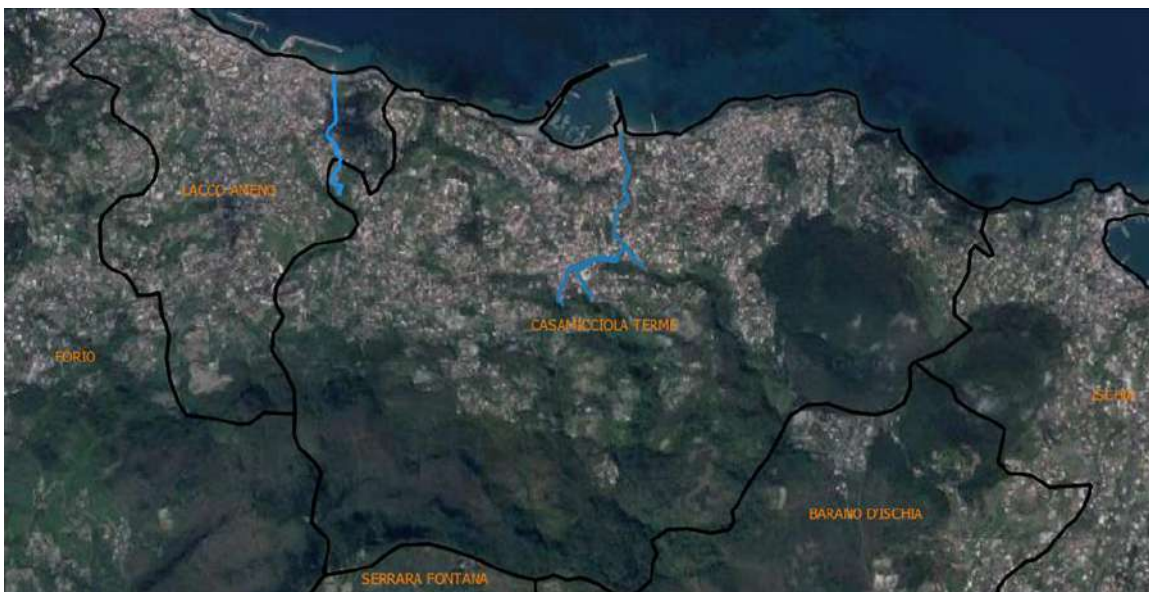


Figura 1.5.5 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio.

1.5.3 Bacini individuati e relativi reticoli idrografici

L'analisi idrologica è finalizzata alla valutazione della massima portata in ingresso nei collettori fognari. Per poter fare ciò, il primo *step* è stata l'individuazione dei bacini idrografici serviti da quel tratto di rete di drenaggio. Per determinare le aree di bacino sono state tracciate le linee spartiacque. Il tracciamento di queste linee ha reso necessaria l'individuazione dei "punti di incertezza idraulica", costituiti da punti "sella" e punti alti.

I punti "sella" (strade e fiumi), costituiscono uno sbarramento per il ruscellamento delle acque e possono essere considerati come punti di incertezza idraulica, lo stesso vale per i punti alti (cima di una montagna). Per "chiudere" le singole linee spartiacque, a partire dai punti di incertezza idraulica, sono state tracciate linee perpendicolari in ogni punto alle curve di livello perché in assenza di strade, fiumi e punti sella, la generica goccia d'acqua ruscella nella direzione di massima pendenza. Le linee spartiacque delimitano le aree dei bacini idrografici. In particolare, per lo studio condotto è stato necessario ricavare i bacini la cui acqua viene ad essere convogliata dai quattro tratti tombati di monte: Via Nizzola, Via Ombrasco, tratto che si immette in Via Vittorio Emanuele e, infine, Via Cava.

Dunque, con l'ausilio del software *QGIS* e sfruttando un *Digital Elevation Model (DEM)* con risoluzione spaziale di 1m x 1m, è stato dapprima individuato il reticolo idrografico (Fig. 1.5.6) e, successivamente, sono stati tracciati i bacini idrografici (Fig. 1.5.7) scegliendo, come sezione di chiusura del bacino, la sezione di imbocco del tratto tombato.



Figura 1.5.6 - Reticolo idrografico.



Figura 1.5.7 - Reticolo idrografico e relativi bacini idrografici.

Nella Figura 1.5.8 sono riportati i bacini idrografici presi a riferimento, con i relativi identificativi.

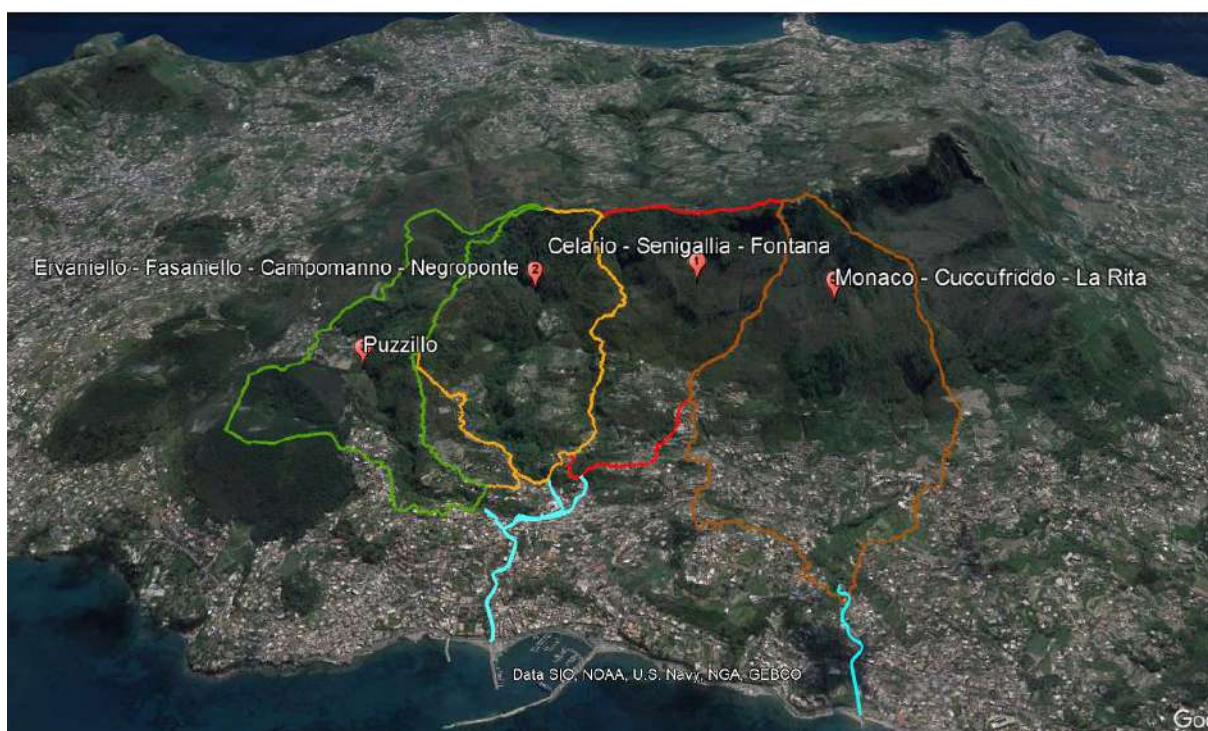


Figura 1.5.8 - Bacini idrografici con relativo identificativo.

Dunque, riassumendo, i sottobacini presi in esame nell'ambito del presente Piano sono:

- Bacino 1: comprende cava Celario, Senigallia, e Fontana e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 1 (Via Nizzola);
- Bacino 2: comprende cava Ervaniello, Fasaniello, Campomanno, e Negrofonte e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 2 (Via Ombrasco);
- Bacino 3: comprende cava Puzzillo e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 3 (strada che si immette in Via Vittorio Emanuele);
- Bacino 4: comprende cava del Monaco, Cuccufriddo e La Rita e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 4 (Via Cava).

Nella Tabella 1.5.1 sono riportate le principali caratteristiche dei quattro bacini considerati.

Tabella 1.5.1 – Caratteristiche fisiografiche dei bacini idrografici.

ID	Sezione chiusura	Area [ha]	Pendenza media [%]	Quota media [m s.l.m.m.]
1	Via Nizzola	72.6	65	377
2	Via Ombrasco	99.4	53	294
3	Immissione Via Vittorio Emanuele	83.9	48	268
5	Via Cava	135.6	51	271

1.5.4 Caratterizzazione dei bacini rispetto alle possibilità di infiltrazione

Trattandosi di bacini di estensione alquanto inferiore da quella minima (pari a circa 80 Km²) per cui sono state effettuate le calibrazioni dei parametri riportati nello Studio "Valutazione delle Piene in Campania" (Rossi e Villani, 1994), di norma prese a riferimento per la valutazione delle massime portate di piena che possono affluire a una preassegnata sezione di un corso d'acqua, nel caso in esame, per la valutazione delle modalità con cui la pioggia affluente al suolo viene in parte intercettata dalle alberature, va in parte ad infiltrarsi e solo in parte tende a ruscellare superficialmente, per poi dare origine a flussi incanalati in arrivo alle sezioni di interesse (in questo caso, quelle di imbocco dei principali tratti tombati presenti nella zona urbanizzata di Casamicciola e di Lacco Ameno), si è optato per l'utilizzazione del ben noto metodo definito CN-SCS (Curve Number – Soil Conservation Service), in base al quale il volume di acqua per unità di superficie V che può ruscellare superficialmente allorquando vi affluisce un pioggia di altezza P è data dall'espressione

$$V = \frac{(P-0.2S)^2}{P+0.8S} \quad (1)$$

Nella quale S rappresenta il volume massimo immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione dopo l'inizio della precipitazione, dato da:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (2)$$

dove CN è il cosiddetto *Curve Number*, che è un parametro, caratterizzante le porzioni permeabili del sottobacino, in grado di assumere valori compresi tra 0 e 100, e che è pari a 0 per un suolo completamente permeabile, mentre è pari a 100 per un suolo completamente impermeabile. Per valutare il CN è necessario conoscere il gruppo idrologico di ciascun suolo facente parte del bacino in esame. Per l'individuazione del valore più consono da assegnare al parametro CN , il *Soil Conservation Service* ha stilato la Tabella 1.5.2, nella quale si riporta, per ogni tipo di suolo, il gruppo idrologico associato.

Tabella 1.5.2 - Gruppi idrologici (SCS).

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.

Una volta valutato il gruppo idrologico di appartenenza dei suoli del bacino, con l'ausilio della Tabella 1.5.3 è possibile ricavare il CN per ogni singolo suolo.

Tabella 1.5.3 - Valori del CN (SCS).

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500-1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000-1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500-2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000-5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000-10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

In particolare, i quattro bacini sono stati caratterizzati da attraverso i seguenti valori del CN (III), vale a dire del valore del parametro CN consigliato per calcoli a vantaggio di sicurezza (ottenibili considerando una *Antecedent Moisture Condition* (AMC) di tipo tre, ovvero condizioni di suolo molto umide). Nella Tabella 1.5.4 sono riportati i valori di CN(III) considerati per i quattro bacini.

Tabella 1.5.4 - Valori utilizzati del Curve Number, CN.

ID	CN(III)
1	88
2	87
3	85
5	88

1.6 CARATTERIZZAZIONE IDRAULICA DEI COLLETTORI TERMINALI DELLE RETI FOGNARIE A SERVIZIO DEL COMUNE DI CASAMICCIOLA TERME E DI PARTE DEL COMUNE DI LACCO AMENO

1.6.1 Generalità

Nei tratti più vallivi, le acque provenienti dalle diverse cave che solcano il territorio comunale di Casamicciola, di parte di Forio d'Ischia e di Lacco Ameno vanno a confluire in alcuni tratti d'alveo, oramai tombati, all'interno dei quali trovano altresì recapito anche i collettori fognari a servizio delle zone più urbanizzate (v. Fig. 1.6.1).

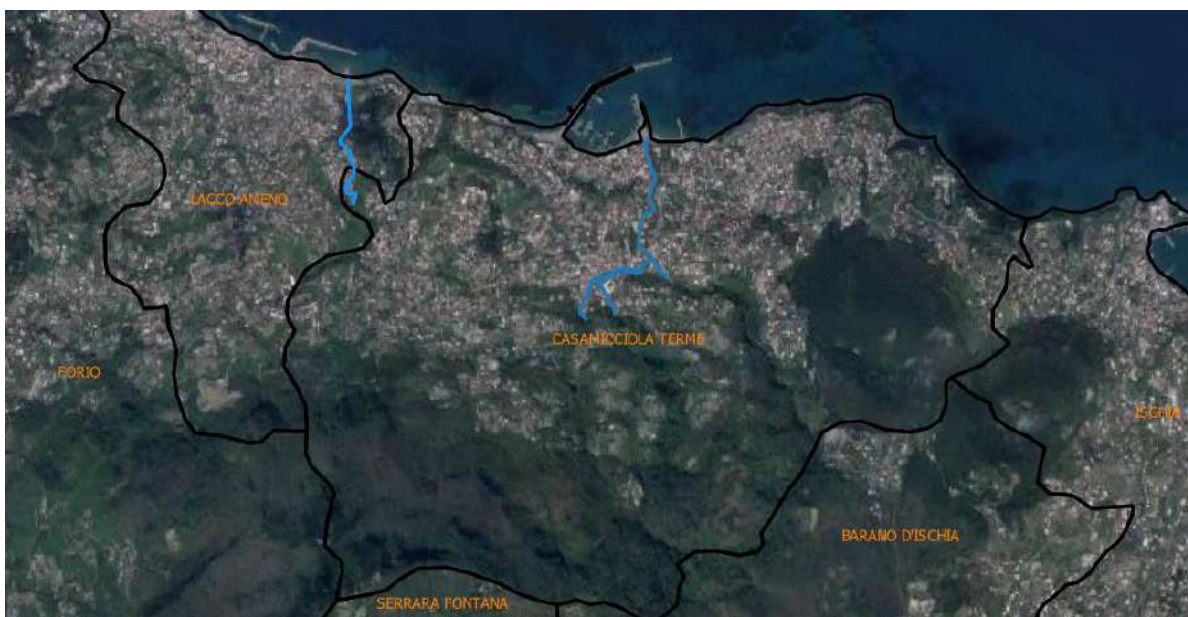


Figura 1.6.1 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio.

1.6.2 Area di studio

1.6.2.1 Inquadramento

I tratti tombati oggetto di studio sono ubicati, rispettivamente, all'interno del Comune di Casamicciola Terme, nella sua zona più valliva, e all'interno del territorio comunale di Lacco Ameno, a valle delle Terme La Rita (Figg. 1.6.2 e 1.6.3).

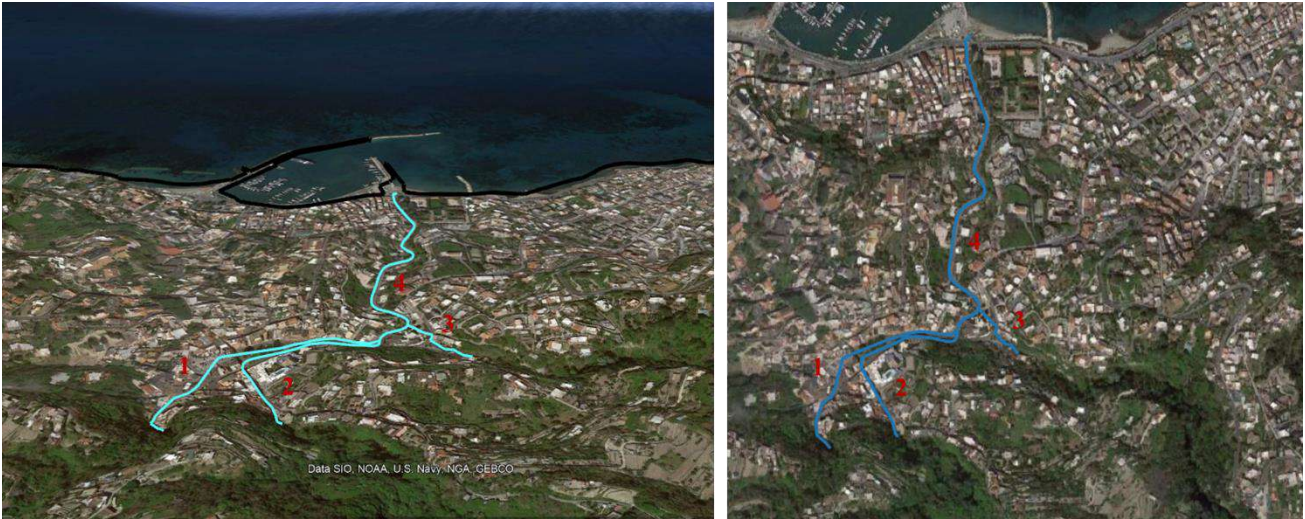


Figura 1.6.2 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del Comune di Casamicciola Terme

Nel tempo, in conseguenza della progressiva e spesso disordinata antropizzazione dei luoghi, non solo si è provveduto al tombamento di alcuni tratti d'alveo ma, addirittura, questi tratti si sono andati via via ramificando verso monte, fino a costituire una vera e propria rete, costituita da tratti principali che, a loro volta, confluiscono dapprima tra di loro e poi all'interno del tratto tombato di Via Pio Monte della Misericordia.

Tale "rete" di collettori è costituita, principalmente, da quattro tratti:

- tratto 1, che interessa Via Nizzola per poi proseguire lungo Piazza Bagni;
- tratto 2, che interessa Via Ombrasco per poi proseguire lungo Via Giuseppe Garibaldi (Piazza Bagni);
- tratto 3, che interessa parte di Corso Vittorio Emanuele per poi congiungersi con gli altri due tratti all'inizio di Via Monte della Misericordia;
- tratto 4, derivante dalla confluenza dei primi tre tratti, che interessa tutta Via Monte della Misericordia fino al mare.

Oltre questa porzione di rete, che interessa l'area di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, lo studio ha riguardato anche il tratto tombato lungo Via Cava (Fig. 1.6.2), al confine tra i Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.



Figura 1.5.3- Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava al confine tra i Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

1.6.3 Studio idraulico

Lo studio idraulico condotto in questa fase delle attività è finalizzato a valutare il corretto funzionamento del sistema di drenaggio oggetto di studio, ovvero i tratti tombati che costituiscono i recapiti terminali della varie *cave* che defluiscono all'interno del territorio comunale di Casamicciola Terme e in parte dei territori comunali di Forio d'Ischia e di Lacco Ameno.

1.6.4 Schematizzazione rete di drenaggio urbano

La schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa la zona di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia è riportata nella successiva Fig. 1.6.4.

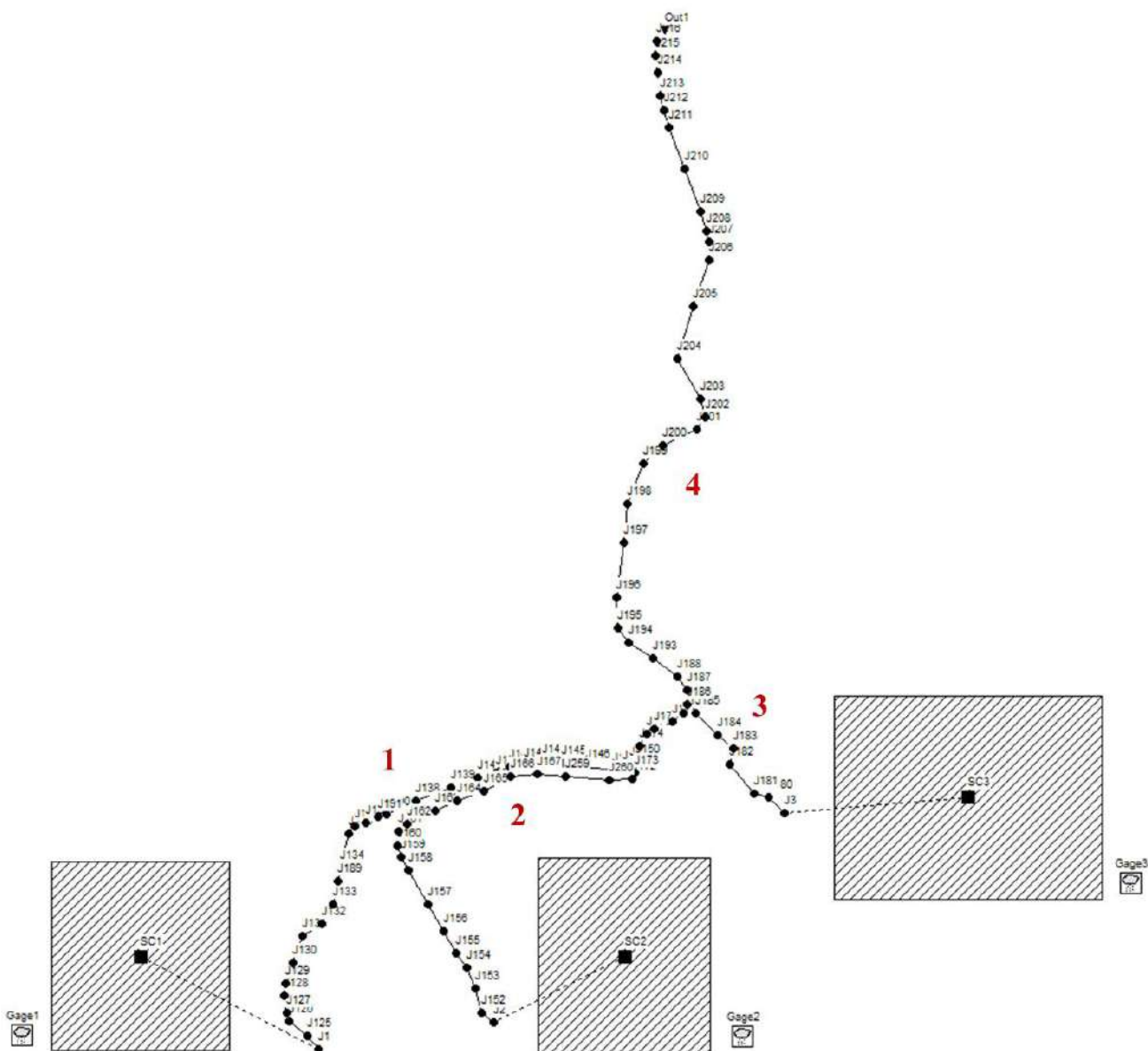


Figura 1.6.4 - Schematizzazione dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbano che interessa Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia con identificativo di nodi e collettori principali.

A sua volta, la schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa Via Cava è riportata nella Figura 1.6.5.

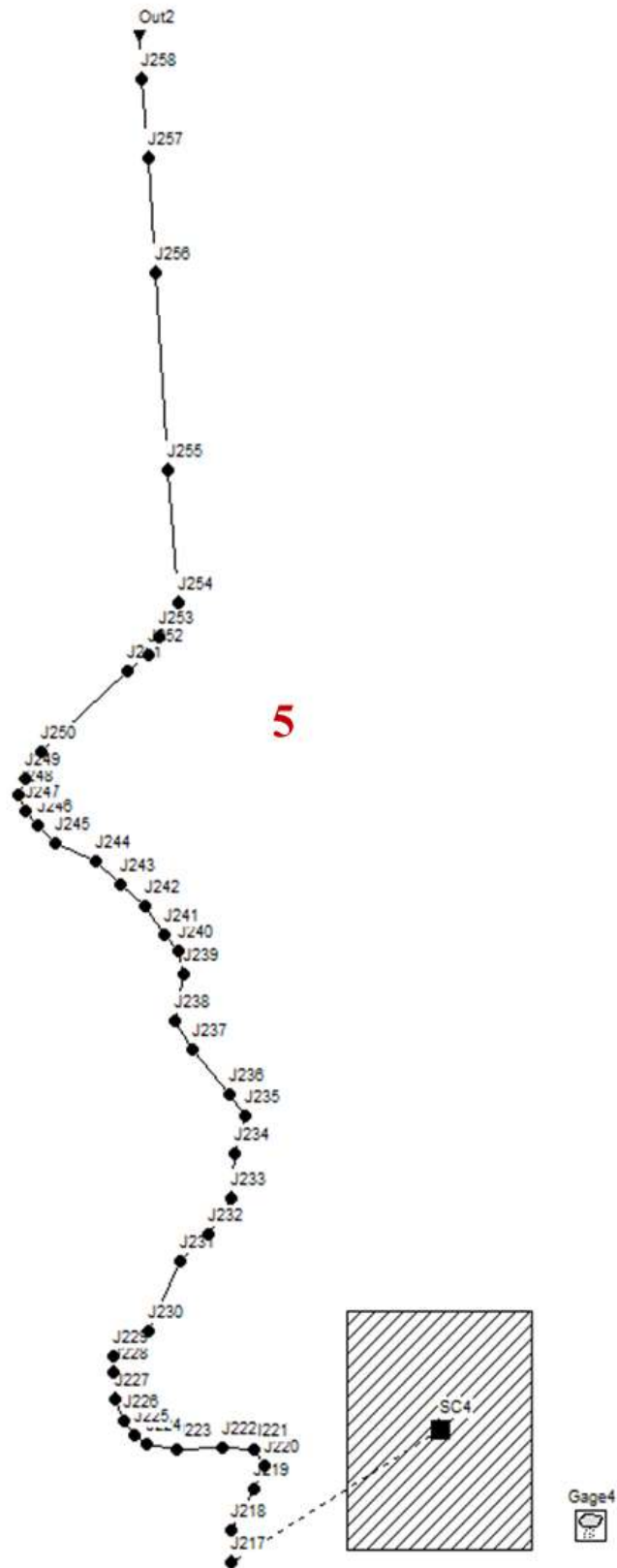


Figura 1.6.5 - Schematizzazione del tratto tombato costituente la rete di drenaggio urbano in Via Cava con identificativo dei nodi.

Nelle seguenti Figure sono rappresentate le sezioni longitudinali schematiche (determinate in base al DTM 1 x 1 m disponibile a valle dell'evento del 26/11/2022) rispettivamente delle condotte 1-4, ovvero Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 1.6.6), 2-4 ovvero Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 1.6.7), 3-4 ovvero immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 1.6.8), 5 ovvero Via Cava (Fig. 1.6.9).

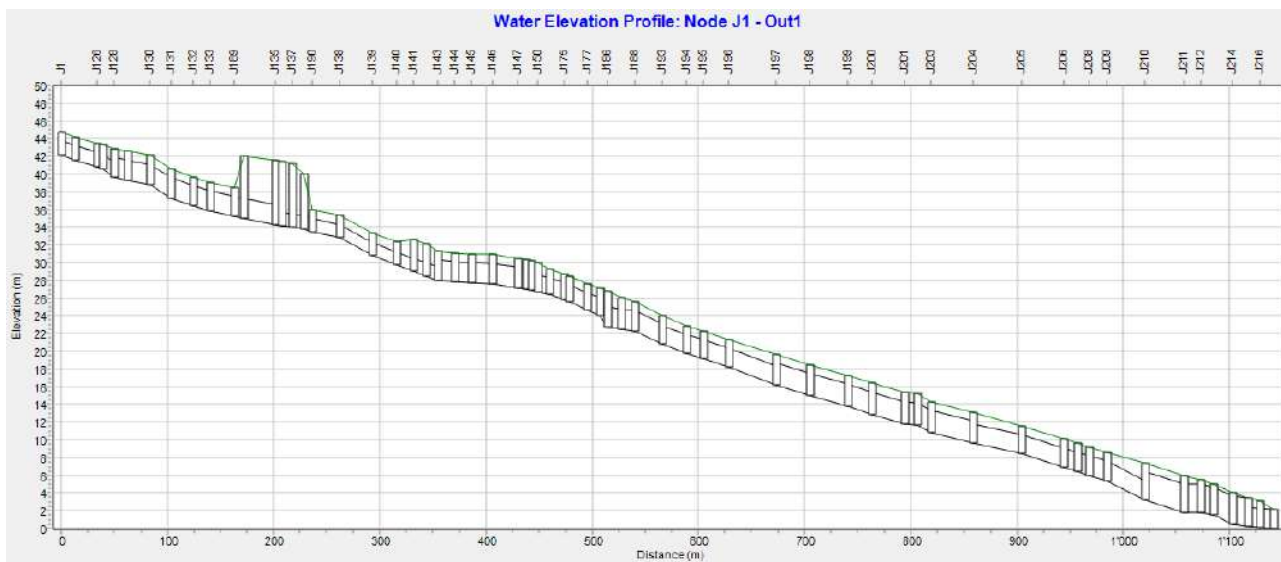


Figura 1.6.6 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4, ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

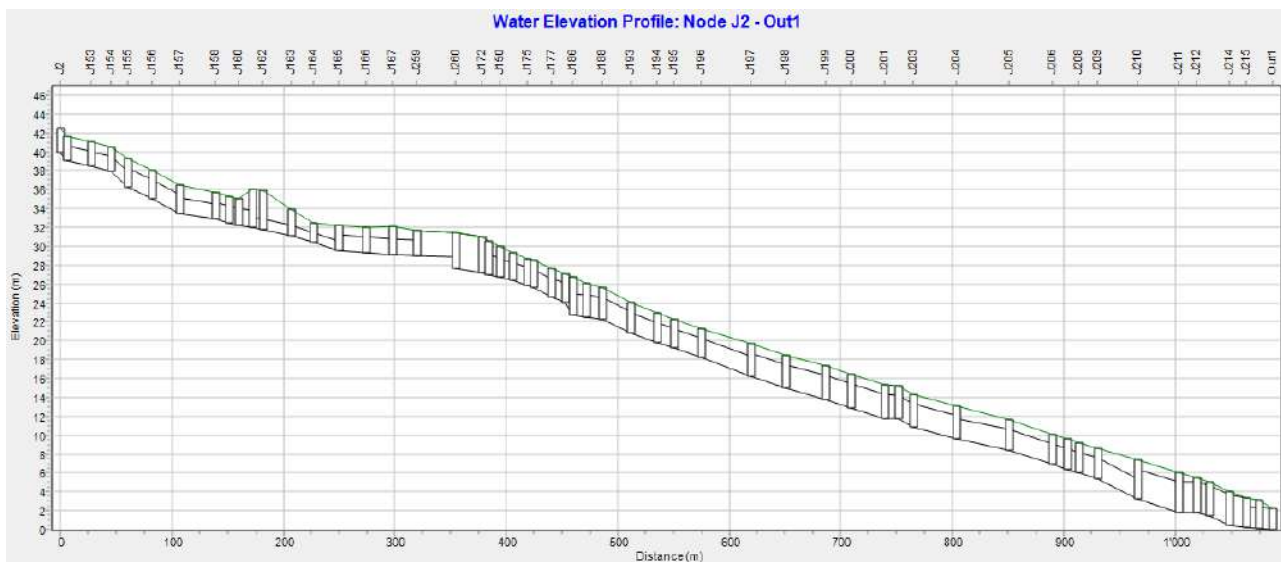


Figura 1.6.7 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4, ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

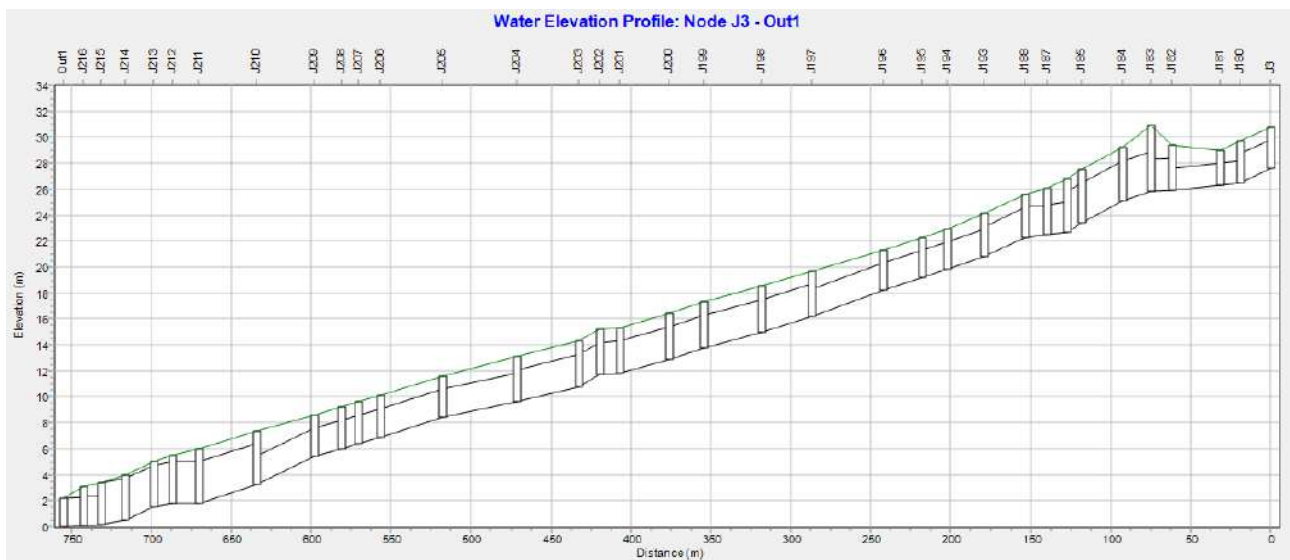


Figura 1.6.8 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4, ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

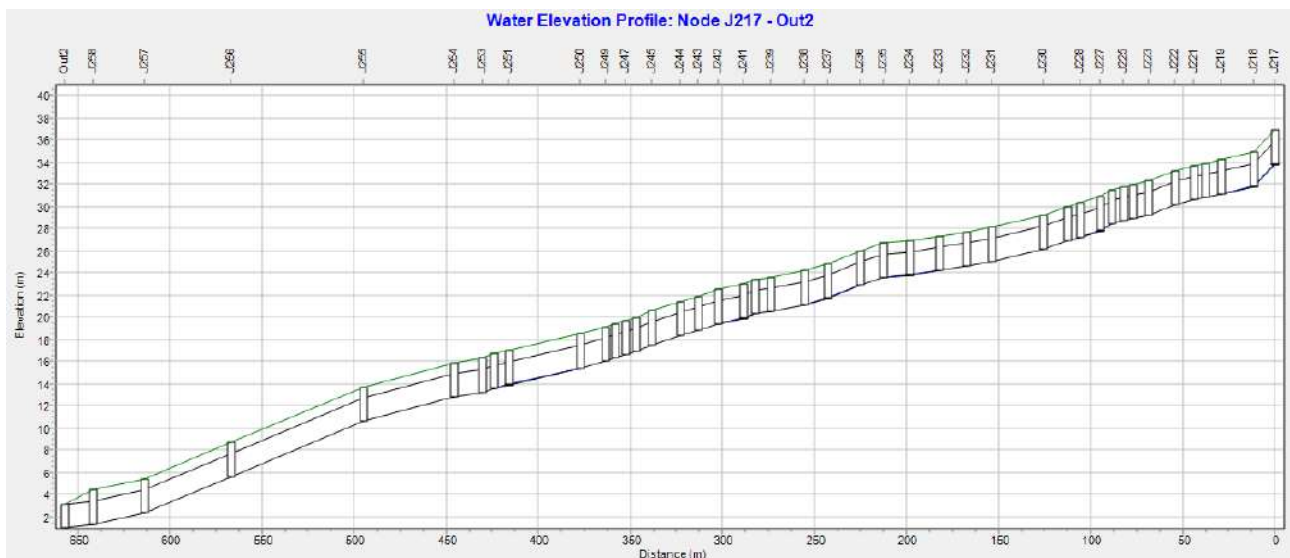


Figura 1.6.9 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

Nella Tabella 1.6.1 sono riportati, per ognuno dei tratti (compresi tra due nodi) costituenti i cinque collettori principali, le caratteristiche in termini di speco e lunghezza. Nella Tabella 1.6.2 sono invece riportate le caratteristiche di ciascuno dei nodi considerati.

Tabella 1.6.1 - Caratteristiche dei tratti di condotta schematizzati.

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C130	J1	J125	RECT_CLOSED	2.8	1.7	13.132
C131	J125	J126	RECT_CLOSED	2.8	1.7	20.747
C132	J126	J127	RECT_CLOSED	2.8	1.7	4.953
C133	J127	J128	RECT_CLOSED	2.8	1.7	10.573
C134	J128	J129	RECT_CLOSED	2.8	2.3	13.22
C135	J129	J130	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C136	J130	J131	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C137	J131	J132	RECT_CLOSED	3.55	2.3	20.246
C138	J132	J133	RECT_CLOSED	3.55	2.3	16.681
C140	J134	J135	RECT_CLOSED	3.55	2.3	29.731
C141	J135	J136	RECT_CLOSED	2.2	1.5	6.059
C142	J136	J137	RECT_CLOSED	2.2	1.5	9.874
C144	J138	J139	RECT_CLOSED	2.2	1.5	30.411
C145	J133	J189	RECT_CLOSED	3.55	2.3	22.613
C146	J189	J134	RECT_CLOSED	3.55	2.3	8.518
C148	J190	J138	RECT_CLOSED	2.2	1.5	26.208
C149	J137	J191	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11.022
C150	J191	J190	RECT_CLOSED	2.2	1.5	8.143
C151	J139	J140	RECT_CLOSED	2.2	1.5	23.201
C152	J140	J141	RECT_CLOSED	2.2	1.5	15.769
C153	J141	J142	RECT_CLOSED	2.2	1.5	12
C154	J142	J143	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11
C155	J143	J144	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.641
C156	J144	J145	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.971
C157	J145	J146	RECT_CLOSED	3.55	2.3	19.354
C158	J146	J147	RECT_CLOSED	3.55	2.3	24.119
C159	J147	J148	RECT_CLOSED	3.55	2.3	7.74
C160	J148	J149	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.031
C161	J149	J150	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.806
C162	J2	J152	RECT_CLOSED	2.5	1.6	5.617
C163	J152	J153	RECT_CLOSED	2.5	1.6	21.673
C164	J153	J154	RECT_CLOSED	2.5	1.6	18.465
C165	J154	J155	RECT_CLOSED	2.5	1.6	14.745
C166	J155	J156	RECT_CLOSED	2.8	2	22.118
C167	J156	J157	RECT_CLOSED	2.8	2	24.326
C168	J157	J158	RECT_CLOSED	2.8	1.6	32.336
C169	J158	J159	RECT_CLOSED	2.4	1.8	11.595
C170	J159	J160	RECT_CLOSED	2.4	1.8	9.23
C171	J160	J161	RECT_CLOSED	2.4	1.8	12.403
C172	J161	J162	RECT_CLOSED	3.3	1.1	8.771

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C173	J162	J163	RECT_CLOSED	3.3	1.1	26.075
C174	J163	J164	RECT_CLOSED	3.3	1.1	19.689
C175	J164	J165	RECT_CLOSED	3.3	1.1	22.249
C176	J165	J166	RECT_CLOSED	3	1.7	25.32
C177	J166	J167	RECT_CLOSED	3	1.7	22.822
C183	J172	J173	RECT_CLOSED	3.3	2.1	6.187
C184	J173	J150	RECT_CLOSED	3.3	2.1	10.03
C187	J150	J174	RECT_CLOSED	2.8	1.9	11.58
C188	J174	J175	RECT_CLOSED	2.8	1.9	13.235
C189	J175	J176	RECT_CLOSED	2.8	1.9	5.235
C190	J176	J177	RECT_CLOSED	2.8	1.9	16.819
C191	J177	J178	RECT_CLOSED	3	2	11.945
C192	J178	J186	RECT_CLOSED	3	2	6.928
C193	J3	J180	RECT_CLOSED	3.7	2.2	19.064
C194	J180	J181	RECT_CLOSED	2.8	1.7	12.224
C195	J181	J182	RECT_CLOSED	2.8	1.7	30.631
C196	J182	J183	RECT_CLOSED	2.6	2.5	13.095
C197	J183	J184	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	17.303
C198	J184	J185	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	25.833
C199	J185	J186	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	9.403
C200	J186	J187	RECT_CLOSED	3	2.3	12.386
C201	J187	J188	RECT_CLOSED	3	2.3	13.475
C202	J188	J193	RECT_CLOSED	3	2.3	25.916
C203	J193	J194	RECT_CLOSED	3	2.1	23.13
C204	J194	J195	RECT_CLOSED	3	2.1	15.333
C205	J195	J196	RECT_CLOSED	3	2.1	24.364
C206	J196	J197	RECT_CLOSED	3	2.1	44.646
C207	J197	J198	RECT_CLOSED	3	2.5	31.718
C208	J198	J199	RECT_CLOSED	3	2.5	35.698
C209	J199	J200	RECT_CLOSED	3	2.5	22.194
C210	J200	J201	RECT_CLOSED	3	2.5	30.623
C211	J201	J202	RECT_CLOSED	3	2.5	12.294
C212	J202	J203	RECT_CLOSED	3	2.5	13.061
C213	J203	J204	RECT_CLOSED	3	2.5	39.223
C214	J204	J205	RECT_CLOSED	3	2.2	46.53
C215	J205	J206	RECT_CLOSED	3	2.2	38.867
C216	J206	J207	RECT_CLOSED	3	2.2	13.446
C217	J207	J208	RECT_CLOSED	3	2.2	10.501
C218	J208	J209	RECT_CLOSED	3	2.2	17.132
C219	J209	J210	RECT_CLOSED	3	2.2	35.843
C220	J210	J211	RECT_CLOSED	4.9	3.2	36.52
C221	J211	J212	RECT_CLOSED	4.9	3.2	15.977
C222	J212	J213	RECT_CLOSED	4.9	3.2	11.808
C223	J213	J214	RECT_CLOSED	4.9	3.2	17.897

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C224	J214	J215	RECT_CLOSED	4.9	3.2	14.907
C225	J215	J216	RECT_CLOSED	3	2.2	11.17
C227	J216	Out1	RECT_CLOSED	3	2.2	12.729
C228	J217	J218	RECT_CLOSED	2.1	2.1	11.57
C229	J218	J219	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.303
C230	J219	J220	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.734
C231	J220	J221	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.595
C232	J221	J222	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10
C233	J222	J223	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.342
C234	J223	J224	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.561
C235	J224	J225	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.058
C236	J225	J226	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.337
C237	J226	J227	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.554
C238	J227	J228	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.707
C239	J228	J229	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.782
C240	J229	J230	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.946
C241	J230	J231	RECT_CLOSED	2.1	2.1	28.567
C242	J231	J232	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.521
C243	J232	J233	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.628
C244	J233	J234	RECT_CLOSED	2.1	2.1	16.021
C245	J234	J235	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.589
C246	J235	J236	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.248
C247	J236	J237	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.631
C248	J237	J238	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.591
C249	J238	J239	RECT_CLOSED	2.1	2.1	18.358
C250	J239	J240	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.95
C251	J240	J241	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.099
C252	J241	J242	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.432
C253	J242	J243	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.871
C254	J243	J244	RECT_CLOSED	2.1	2.1	9.816
C255	J244	J245	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.812
C256	J245	J246	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.546
C257	J246	J247	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.333
C258	J247	J248	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.015
C259	J248	J249	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.031
C260	J249	J250	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.668
C261	J250	J251	RECT_CLOSED	2.1	2.1	39.222
C262	J251	J252	RECT_CLOSED	2.1	2.1	7.558
C263	J252	J253	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.526
C264	J253	J254	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.247
C265	J254	J255	RECT_CLOSED	2.1	2.1	49.472
C266	J255	J256	RECT_CLOSED	4.4	2.1	72
C267	J256	J257	RECT_CLOSED	4.4	2.1	46.479
C268	J257	J258	RECT_CLOSED	4.9	2.1	28.256

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C269	J258	Out2	RECT_CLOSED	4.9	2.1	15.41
C270	J167	J259	RECT_CLOSED	3	1.7	22.38
C271	J259	J260	RECT_OPEN	3	2.65	35
C272	J260	J172	RECT_OPEN	3.8	3.85	23

Tabella 1.6.2 - Caratteristiche dei nodi schematizzati in SWMM: ID, *Invert Elevation* e *Max Depth* di ogni nodo.

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J1	42.1	2.7
J2	39.9	2.6
J3	27.6	3.2
J125	41.5	2.7
J126	40.8	2.7
J127	40.6	2.7
J128	39.6	3.3
J129	39.3	3.3
J130	38.8	3.3
J131	37.3	3.3
J132	36.4	3.3
J133	35.8	3.3
J134	35	7
J135	34.3	7.2
J136	34.2	7.2
J137	34	7.2
J138	32.8	2.5
J139	30.8	2.5
J140	29.75	2.65
J141	29	3.6
J142	28.5	3.6
J143	28	3.3
J144	27.8	3.3
J145	27.7	3.3
J146	27.6	3.3
J147	27.2	3.3
J148	27	3.3
J149	26.9	3.3
J150	26.7	3.3
J152	39	2.6
J153	38.5	2.6
J154	37.9	2.6
J155	36.3	3
J156	35	3
J157	33.5	3

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J158	32.9	2.8
J159	32.4	2.8
J160	32.2	2.8
J161	32	4
J162	31.8	4.1
J163	31.1	2.8
J164	30.4	2.1
J165	29.5	2.7
J166	29.3	2.7
J167	29.1	3
J172	27.15	3.85
J173	27	3.6
J174	26.4	2.9
J175	25.8	2.9
J176	25.6	2.9
J177	24.6	3
J178	24.1	3
J180	26.5	3.2
J181	26.3	2.7
J182	25.9	3.5
J183	25.8	5.1
J184	25.1	4.1
J185	23.4	4.1
J186	22.7	4.1
J187	22.5	3.6
J188	22.3	3.3
J189	35.2	3.3
J190	33.5	2.5
J191	33.8	6.2
J193	20.8	3.3
J194	19.8	3.1
J195	19.2	3.1
J196	18.2	3.1
J197	16.2	3.5
J198	15	3.5
J199	13.8	3.5
J200	12.9	3.5
J201	11.8	3.5
J202	11.7	3.5
J203	10.8	3.5
J204	9.6	3.5
J205	8.4	3.2
J206	6.9	3.2
J207	6.4	3.2

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J208	6	3.2
J209	5.4	3.2
J210	3.2	4.2
J211	1.8	4.2
J212	1.8	3.7
J213	1.5	3.5
J214	0.5	3.5
J215	0.2	3.2
J216	0.1	3
J217	33.8	3.1
J218	31.8	3.1
J219	31.1	3.1
J220	30.8	3.1
J221	30.6	3.1
J222	30.1	3.1
J223	29.2	3.1
J224	28.9	3.1
J225	28.7	3.1
J226	28.4	3.1
J227	27.8	3.1
J228	27.2	3.1
J229	26.9	3.1
J230	26.1	3.1
J231	25	3.1
J232	24.6	3.1
J233	24.2	3.1
J234	23.8	3.1
J235	23.6	3.1
J236	22.9	3.1
J237	21.7	3.1
J238	21.1	3.1
J239	20.5	3.1
J240	20.3	3.1
J241	19.9	3.1
J242	19.4	3.1
J243	18.8	3.1
J244	18.3	3.1
J245	17.5	3.1
J246	16.9	3.1
J247	16.6	3.1
J248	16.3	3.1
J249	16	3.1
J250	15.4	3.1
J251	13.9	3.1

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J252	13.6	3.1
J253	13.2	3.1
J254	12.8	3.1
J255	10.6	3.1
J256	5.6	3.1
J257	2.3	3.1
J258	1.3	3.1
J259	29	2.65
J260	27.65	3.85

1.7 USO DEL SUOLO E COSTRUITO

1.7.1 Copertura vegetale

Nel presente paragrafo viene illustrata la carta delle tipologie forestali (Fig. 1.7.1) su cui è stata sovrainposta la Carta dei dissesti cartografati sul versante settentrionale del M. Epomeo a seguito degli eventi franosi del 26 novembre 2022.

Le tipologie forestali sono state sviluppate a partire dalla classificazione Corine Land Cover 2018 IV livello e rielaborate mediante dettagliate ricognizioni in campo e verifiche di immagini satellitari di Google Earth, ortofoto e fotogrammi storici (IGMI) disponibili. Il versante settentrionale del M. Epomeo è un mosaico variegato e frastagliato di coperture forestali, solo parzialmente rappresentato da boschi autoctoni. Infatti, su ampie superfici l'uomo ha sostituito i boschi autoctoni con il castagno perché ritenuto più utile come fonte di approvvigionamento di legno e di prodotti non legnosi forestali.

In dettaglio, la copertura forestale autoctona si conserva nelle aree più acclivi, sulle rupi dell'Epomeo e nelle forre, localmente chiamate cave. In questi contesti morfologici il leccio (*Quercus ilex*) è la quercia sempreverde che tende a prevalere nel consorzio di alberi a cui quasi sempre si associano, e localmente prevalgono, carpino nero (*Ostrya carpinifolia*) e orniello (*Fraxinus ornus*) su versante, a cui si aggiungono sporadicamente pioppo nero (*Populus nigra*) e pioppo tremulo (*Populus tremula*) nelle forre, ma anche localmente specie arboree aliene (*Robinia pseudoacacia*, *Ailanthus altissima*) o fruttiferi sfuggiti alla coltivazione (per es. *Ficus carica*). I lembi residui del querceto xerofilo mediterraneo a roverella (*Quercus pubescens*) sono spesso immersi nella matrice di altre tipologie forestali e la loro modesta estensione non consente di rappresentarli e annoverarli nelle tipologie forestali presentate nella cartografia.

Di seguito alcune considerazioni di carattere generale che emergono dalla rappresentazione spaziale delle tipologie forestali individuate:

- il querceto xerofilo a roverella è stato sostituito da altri usi del suolo, in particolare agricolo, che nel corso dei decenni ha portato alla perdita della copertura forestale nella sua fascia bioclimatica di elezione idonea anche per la coltivazione della vite;
- il ceduo di castagno di origine antropica occupa un'ampia fascia altimetrica in cui ha sostituito le originarie cenosi forestali del querceto xerofilo e dell'orno-ostrieto; è la copertura forestale che maggiormente condiziona l'idrologia dei versanti;
- i boschi di castagno si presentano con fisionomie che spaziano dal gestito (cedui tagliati secondo un ciclo di rotazione detto turno) al non gestito (cedui invecchiati il cui taglio è stato interrotto da lungo tempo); per la stabilità dei versanti i cedui di castagno non gestiti sono quelli che potrebbero destare maggiori preoccupazioni perché collocati nella fascia

altimetrica superiore, dove la profondità del suolo è molto esigua e il substrato tufaceo è impenetrabile per le radici;

- il leccio edifica diverse tipologie forestali a forte criticità gestionale, perché fortemente correlate con la stabilità dei versanti. Nelle sue ubicazioni su pareti di rupi e su versanti acclivi di forra si sono manifestati fenomeni di instabilità diffusa. In queste ubicazioni l'azione di rinforzo delle radici del leccio è limitata dalla natura dei substrati non penetrabili dalle radici e dal carico di biomassa epigea sproporzionato rispetto a quella ipogea.

La sovrapposizione della Carta dei dissesti con quella delle tipologie forestali mostra che la frana del Celario ha sradicato inizialmente pochissime piante di leccio e forse di carpino nero ubicate su parete, su rupe e su cengia. Trascinate verso il basso, queste piante hanno coinvolto il bosco più compatto e a composizione più variegata del versante acclive ubicato alla base della rupe del Celario. In questo segmento altitudinale alquanto stretto, gli alberi mostrano apparati radicali molto superficiali che non hanno instaurato nessuna relazione fisica e meccanica con il substrato tufaceo compatto. La loro vulnerabilità biomeccanica ha determinato trascinamento verso valle e l'effetto valanghivo si è propagato verso il basso con gli esiti disastrosi documentati.

Frane di minore entità si sovrappongono con il bosco misto di forra a prevalenza di leccio nelle cave Fasaniello, Puzillo, Campomanno, Sinigallia, Negrofonte e del Monaco. In particolare, l'instabilità manifestatasi nelle parti più alte dei versanti ricoperti da lecceta, dovute alle circostanze sopra indicate, sono indicative di una formazione vegetale sicuramente autoctona e quindi in sintonia con il bioclimate locale, ma distonica con il substrato pedologico e geologico in cui gli alberi sono cresciuti. In questi substrati vulcanici gli apparati radicali del leccio e delle specie consociate tendono a perdere nel tempo il fittone a favore di radici laterali sub-superficiali. L'ancoraggio della pianta diviene progressivamente sempre più precario con l'incremento di biomassa epigea, circostanza aggravata nel caso del leccio dal mantenere la superficie intercettante delle foglie tutto l'anno, anche nei periodi di maggiore piovosità caratteristici del clima mediterraneo.

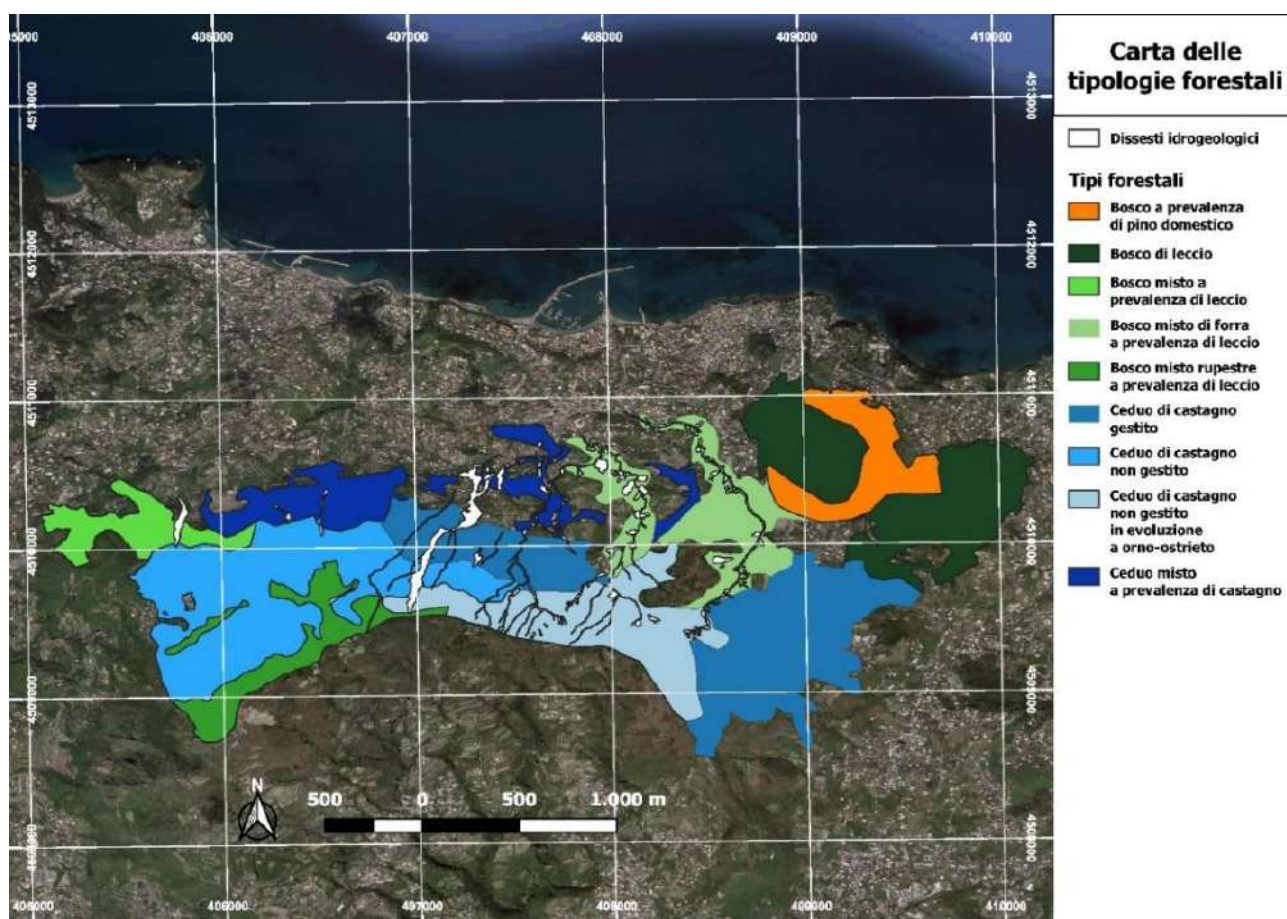


Figura 1.7.1 - Carta delle tipologie forestali su cui è stata sovrainposta la Carta dei dissesti del 26 novembre 2022. Le tipologie forestali sono state individuate a partire dalla classificazione Corine Land Cover 2018 IV livello e rielaborate a seguito di dettagliate ricognizioni in campo e analisi di immagini satellitari, ortofoto e aerofotogrammi storici (IGMI).

1.7.2 Aree protette

Le aree per cui vige un regime di gestione conservativa delle specie di flora, di fauna e degli habitat all'interno dell'area di intervento sono inserite nella rete Natura 2000 (Direttiva Europea 92/43/CEE e recepita con il D.P.R. 8 settembre 1997, n. 357 e s.m.i). Il Sito di Interesse Comunitario (SIC) è denominato "Corpo centrale dell'Isola di Ischia", identificato dal codice IT8030005, collocato nell'Elenco dei SIC, come previsto dal Decreto del Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare del 3 dicembre 2014 "Ottavo aggiornamento dell'elenco dei siti di importanza comunitaria per la regione biogeografica mediterranea" (G.U. 23 gennaio 2015, n. 696). Tale SIC comprende gran parte delle pendici settentrionali del M. Epomeo fino a ridosso dei coltivi.

Il SIC comprende un'area di 1.310 ha ed è classificato come tipologia "B", cioè non ha relazioni con un altro sito Natura 2000. Il SIC IT8030005 è caratterizzato dalla presenza di cinque habitat di interesse comunitario riportati nell'Allegato 1 della Direttiva 92/43 CEE che ricoprono circa il 64%

dall'area protetta: 1) Arbusteti termo-mediterranei e pre-desertici (codice Habitat: 5330); 2) Percorsi substeppici di graminacee e piante annue dei Thero-Brachypodietea (codice Habitat: 6220); 3) Campi di lava e cavità naturali (codice Habitat: 8320); 4) Foreste di *Castanea sativa* (codice Habitat: 9260); 5) Foreste di *Quercus ilex* e *Quercus rotundifolia* (codice Habitat: 9340).

I dati inerenti alla fauna e alla flora che popola e costituisce gli habitat sopra riportati, dedotti dal formulario standard del sito SIC IT8030005, sono riepilogati nelle tabelle disponibili al sito: <https://www.mase.gov.it/pagina/sic-zsc-e-zps-italia>.

La Tabella 1.7.1 riporta le caratteristiche principali degli habitat di interesse comunitario presenti nel SIC "Corpo Centrale dell'Isola di Ischia".

Tabella 1.7.1 - Caratteristiche principali degli habitat di interesse comunitario presenti nel SIC "Corpo Centrale dell'Isola di Ischia".

CD	Copertura (ha)	Valutazione Sito			
		Rappresentatività	Superficie	Conservazione	Globale
5330	26,2	C	C	C	B
6220	393,0	C	C	B	B
8320	26,2	B	B	A	B
9260	262,0	C	C	B	B
9340	131,0	A	C	A	B

Rappresentatività: grado di rappresentatività del tipo di habitat naturale sul sito, seguendo il seguente sistema di classificazione:
A = rappresentatività eccellente;
B = buona conservazione;
C = rappresentatività significativa;
D = presenza non significativa.

Nei casi A-B-C in cui la rappresentatività è ritenuta significativa si riportano informazioni relative a:

- **Superficie relativa** ovvero superficie del sito coperta dal tipo di habitat naturale rispetto alla superficie totale coperta da questo tipo di habitat naturale sul territorio nazionale: **A** = 15.1-100%; **B** = 2,1-15%; **C** = 0-2% della superficie nazionale;
- **Stato di Conservazione:** grado di conservazione della struttura e delle funzioni del tipo di habitat naturale considerato e possibilità di ripristino: **A** = conservazione eccellente; **B** = buona conservazione; **C** = conservazione media o ridotta;
- **Valutazione globale:** valutazione globale del valore del sito per la conservazione del tipo di habitat naturale considerato: **A** = valore eccellente; **B** = valore buono; **C** = valore significativo.

1.7.3 Antropizzazione

Il Comune di Casamicciola Terme è uno dei sei comuni che costituiscono l'isola di Ischia insieme a Barano d'Ischia, Forio, Ischia, Lacco Ameno e Serrara Fontana. Ubicato a nord dell'Isola d'Ischia, Casamicciola Terme confina con Ischia ad E, con Forio, Barano d'Ischia e Serrara Fontana a SE e a S e con Lacco Ameno a W.

Scavi archeologici condotti da Giorgio Buchner nel 1939 nella zona collinare sopra il Castiglione attestarono che i primi insediamenti nell'attuale Comune di Casamicciola Terme risalgono al XV-XIV secolo a.C. A partire dal VII-VI secolo a.C. il territorio fu insediato dai Calcidesi di Eretria, che ben sfruttarono la presenza delle acque termali sul territorio.

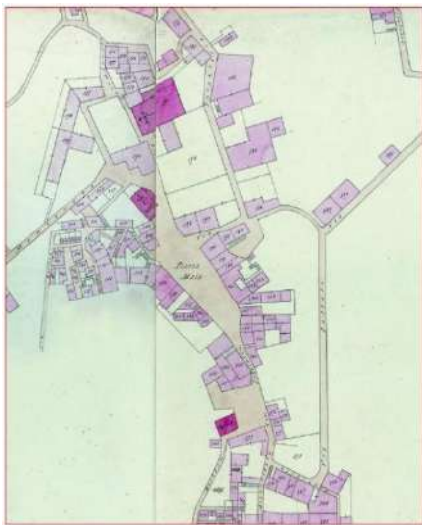
Come riportato in Longo et al. (2006) e nella Relazione illustrativa preliminare redatta da Russo et al. (2020) nell'ambito della redazione del preliminare del Piano Urbanistico Comunale, l'impianto storico del Comune di Casamicciola Terme è di difficile definizione a causa della scarsità di tracce rinvenute. Documenti storici attestano a partire dagli anni Mille la presenza di una struttura insediativa a carattere prevalentemente sparso, legata essenzialmente ad un'edilizia di tipo rurale, e la presenza di importanti complessi monastici. Proprio la presenza dell'architettura religiosa ha determinato i primi sviluppi e la stratificazione della vita sociale e dei servizi. Ne è un esempio l'evoluzione del nucleo originario del Maio, sviluppatosi intorno alla chiesa parrocchiale, rifondata a metà del Cinquecento, di cui oggi rimangono pochi ruderi. Inoltre, dall'elenco dei registri fiscali dei D'Angiò è possibile desumere la presenza di più nuclei insediativi nella località Castanito e presso il casale S. Sozio.

A partire dal 1500 si denota una forte trasformazione dell'assetto insediativo legato alla diffusione del termalismo, che ha inciso nella trasformazione delle aree insediate. Dalla mappa storica catastale di Casamicciola antecedente al 1883 (Fig. 1.7.2) si evince chiaramente che l'assetto insediativo era prevalentemente concentrato nelle aree collinari della Sentinella, del Castanito, del Paradisiello. Due erano i rioni principali: i) Maio, sviluppatosi intorno alla chiesa parrocchiale; ii) Bagni, sviluppatosi intorno alla chiesa dell'Assunta ed accresciuto a seguito della realizzazione nel 1500 dell'ospizio del Pio Monte della Misericordia. Nell'area Marina, invece, si concentravano perlopiù fabbriche per la lavorazione e lo smercio dei prodotti ceramici.

Il terremoto che nel 1883 colpì il Comune di Casamicciola Terme determinò il crollo di circa l'80% del costruito, depauperando il patrimonio insediativo legato sia al termalismo che all'edilizia residenziale e rurale. Nella fase di ricostruzione post-terremoto si optò per spostare il centro cittadino lungo la fascia costiera, detta Marina, per la quale si riteneva che il rischio sismico fosse minore, in quanto si riscontrarono danni minori a seguito del terremoto. Per favorire la ricostruzione fu redatto un Piano Regolatore, che prevedeva la realizzazione di una strada litoranea e di piccoli quartieri a sistema baraccato (denominati Umberto I, Sanseverino, Genala) e una zona dedicata alle residenze signorili, dove furono costruite Villa Fraticelli, Villa Iaccarino e Villa Cilento. Tutto il costruito era intervallato da aree ad uso pubblico (Fig. 1.7.3).



(a)



(b)



(c)

Figura 1.7.2 - Mappa storica catastale di Casamicciola pre 1883 (a) e focus sull'abitato di Santa Barbara (b), l'aggregato del Maio (c) e sul rione Bagni (d) (Fonte: Longo et al., 2006).

Anche lo stabilimento termale Pio Monte della Misericordia, situato originariamente nei pressi di piazza Bagni, nella ricostruzione post-terremoto fu delocalizzato e ricostruito in riva al mare. Rimasto in uso fino alla fine degli anni Sessanta del secolo scorso, ad oggi risulta non utilizzato e versa in uno stato di totale abbandono.

A seguito del terremoto si registrò un'espansione lungo i tracciati storici (via d'Aloisio, via Castanito, via Principessa Margherita, via Salvatore Girardi e via Vittorio Emanuele) caratterizzata essenzialmente da un ampliamento sia in pianta che in elevazione delle costruzioni esistenti.

In seguito, si sono succedute altre due fasi di espansione, la prima tra gli anni Cinquanta e Sessanta e la seconda tra l'inizio degli anni Settanta e la metà degli anni Novanta del secolo scorso. La prima ha visto lo sviluppo lungo le strade che collegano i rioni Grande, Maio, Piccola Sentinella e Rita. Tale espansione è stata completata determinando un tessuto continuo, seppur a bassa densità,

con la definizione della zona di espansione a ridosso dei rioni Maio, Rita, Castanito, Grande e Piccola Sentinella mediante l'adozione del Piano Regolatore nel 1983. In tale Piano stata normata anche l'espansione a ridosso dei rioni Perrone, piazza Bagni e sulle pendici del M. Rotaro.



Figura 1.7.3. Piano Regolatore Marina di Casamicciola (1883).

Riferimenti bibliografici citati

- Acocella V., Funicello R. (1999). The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming, the case of the Island of Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 88, 109-123.
- Allocca V., Celico P. (2004). Le acque termali e minerali della provincia di Napoli. Studio inedito, Provincia di Napoli – Assessorato Energia, Industria, Miniere e Risorse Geotermiche, Sportello Unico, Trasporti. Napoli, 19 Aprile, 2004.
- Allocca V., Celico P., Giudetti G., Luperini W., Monti L., Sbrana A. (2008). Campania Thermal Waters. Volume unico, 4-94. Printed in Italy, July 2008, Grafica Sud S.r.l., Napoli.
- Barra D., Cinque A., Italiano A., Scorziello R. (1992). Il Pleistocene superiore marino di Ischia, paleoecologia e rapporti con l'evoluzione tettonica recente. *Studi Geologici Camerti*, (1992/1), 231-243.
- Brown R.J., Civetta L., Arienzo I., D'Antonio M., Moretti R., Orsi G., ... & Menzies M.A. (2014). Geochemical and isotopic insights into the assembly, evolution and disruption of a magmatic plumbing system before and after a cataclysmic caldera-collapse eruption at Ischia volcano (Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168, 1-23.
- Brown R.J., Orsi G., De Vita S. (2008). New insights into Late Pleistocene explosive volcanic activity and caldera formation on Ischia (southern Italy). *Bulletin of Volcanology*, 70, 583-603.
- Bucci A., Naclerio G., Allocca V., Celico P., Celico F. (2011). Potential use of microbial community investigations to analyse hydrothermal systems behaviour: the case of Ischia Island, Southern Italy. *Hydrological Processes*, 25, 1866-1873.
- Campobasso C. et al. (2021). Aggiornamento ed integrazioni delle Linee Guida della Carta geomorfologica d'Italia alla scala 1:50.000 e banca dati geomorfologica. Quaderni, serie III, Vol. 13, Fasc. I, Vers. 2.0, <https://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/periodici-tecnici/i-quaderni-serie-iii-del-sgi/quaderno-13-fascicolo-1.pdf>
- Carlino S., Cubellis E., Luongo G., Obrizzo F. (2006). On the mechanics of caldera resurgence of Ischia Island (southern Italy). In: Troise C, De Natale G, Kilburn C. (Eds.) "Mechanisms of Activity and Unrest at large Calderas". Geological Society, London, Special Publications, 269, 181-193.
- Carlino S. (2012). The process of resurgence for Ischia Island (southern Italy) since 55 ka: the laccolith model and implications for eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, 74, 947-961.
- Cascini L., Cuomo S., Guida D. (2008), Typical source areas of May 1998 flow-like mass movements in the Campania region, Southern Italy, *Engineering Geology*, 96, 107-125.
- Celico P., Stanzione D., Esposito L., Formica F., Piscopo V., De Rosa B.M. (1999). La complessità idrogeologica di un'area vulcanica attiva: l'Isola d'Ischia (Napoli-Campania). *Boll. Soc. Geol. It.*, 118 (1999), 485-504.
- Chiodini G., Avino R., Brombach T., Caliro S., Cardellini C., De Vita S., Frondini F., Granirei D., Marotta E., Ventura G. (2004) - Fumarolic and diffuse soil degassing west of Mount Epomeo, Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 291-309.
- Civetta L., Gallo G., Orsi G. (1991). Sr- and Nd-isotope and trace-element constraints on the chemical evolution of magmatic system of Ischia (Italy) in the last 55 ka. *J. Geoth. Res.*, 46, 213-230.

- D'Antonio M., Tonarini S., Arienzo I., Civetta L., Dallai L., Moretti R., ... & Trecalli A. (2013). Mantle and crustal processes in the magmatism of the Campania region: inferences from mineralogy, geochemistry, and Sr–Nd–O isotopes of young hybrid volcanics of the Ischia island (South Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165, 1173-1194.
- De Martino P., Tammaro U., Obrizzo F., Sepe V., Brandi G., D'Alessandro A., ... & Pingue F. (2011). La rete GPS dell'isola d'Ischia: Deformazioni del suolo in un'area vulcanica attiva (1998-2010). *Quaderni di Geofisica*.
- De Novellis V., Carlino S., Castaldo R., Tramelli A., De Luca C., Pino N. A., ... & Tizzani P. (2018). The 21 August 2017 Ischia (Italy) earthquake source model inferred from seismological, GPS, and DInSAR measurements. *Geophysical Research Letters*, 45(5), 2193-2202.
- De Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E., Piochi M. (2010). Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 ka. In: Groppelli G., Viereck L., editors. "Stratigraphy and geology in volcanic areas", GSA book series, Special paper, vol. 464; p. 193–239.
- De Vita S., Sansivero F., Orsi G., Marotta E. (2006). Cyclical slope instability and volcanism related to volcanotectonism in resurgent calderas: the Ischia island (Italy) case study. *Engineering Geology*, 86(2-3), 148-165.
- Della Seta M., Marotta E., Orsi G., De Vita S., Sansivero F., Fredi P. (2011). Slope instability induced by volcanotectonics as an additional source of hazard in active volcanic areas: the case of Ischia island (Italy). *B Volcanol.* 74, 79–106.
- Di Meglio P. (2007). Ischia: natura, cultura e storia. Imagaenaria Editore, Collana Pithu Esu, 1-288.
- Dramis F., Guida D., Valiante M. (2022) - Object-Oriented Mapping as a Tool for the Assessment of Landslide Hazard in Higly Urbanized Areas. *Front. Earth Sci., Sec. Geohazards and Georisks*, Vol. 10.
- Fabbrocino S., Bellucci Sessa E., de Vita S., Di Vito M.A., Avino R., Marotta E. (2022). A GIS-Based Hydrogeological Approach to the Assessment of the Groundwater Circulation in the Ischia Volcanic Island (Italy). *Front. Earth Sci.* 10:883719.
- Forcella F., Gnaccolini M., Vezzoli L. (1981). Stratigrafia e sedimentologia dei depositi piroclastici affioranti nel settore sudoccidentale dell'isola di Ischia. *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, 87, 329-366.
- Forte G., Pirone M., Santo A., Nicotera M.V., Urciuoli G. (2019). Triggering and predisposing factors for flow-like landslides in pyroclastic soils: the case study of the Lattari Mts. (Southern Italy). *Engineering Geology*, 257:105-137 doi.org/10.1016/j.enggeo.2019.05.014
- Gargiulo F. (2023). Multi-level analysis of seismic ground instability in the volcanic island of Ischia (Italy). Tesi di dottorato in Structural and Geotechnical Engineering and Seismic Risk – XXXV ciclo. Università di Napoli Federico II.
- Gillot P. Y., Chiesa S., Pasquarè G., Vezzoli L. (1982). < 33000 yr K-Ar dating of the volcano-tectonic horst of the Isle of Ischia, Gulf of Neaples. *Nature*, 229, 242-244.
- ISPRA (2023). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 464 – Isola d'Ischia. https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/464_ISOLA_DISCHIA/Foglio.html
- Luongo G., Carlino S., Cubellis E., Delizia I., Iannuzzi R., Obrizzo F. (2006). Il terremoto di Casamicciola del 1883 : Una ricostruzione mancata. Napoli: Alfa Tipografia, 64.

- Mancini M., Caciolli M.C., Gaudiosi I., Alleanza G.A., Cavuoto G., Coltella M., Cosentino G., Di Fiore V., d'Onofrio A., Gargiulo F., Milana G., Pietrosante A., Pompa P.P., Silvestri F., Vassallo M. (2021). Seismic microzonation in a complex volcano-tectonic setting: the case of northern and western Ischia Island (southern Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 140(3):382-408, doi.org/10.3301/IJG.2021.10
- Manzo M., Ricciardi G.P., Casu F., Ventura G., Zen, G., Borgström S., ... & Lanari R. (2006). Surface deformation analysis in the Ischia Island (Italy) based on spaceborne radar interferometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 151(4), 399-416.
- Orsi G., Gallo G., Zanchi A. (1991). Simple-shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47, 1-11.
- Orsi G., Piochi M., Campaiola L., D'Onofrio A., Gialanella L., Terrasi F. (1996). 14C geochronological constraints for the volcanic history of the Island of Ischia (Italy) over the last 500 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 71, 249-257.
- Pirone M., Papa R., Nicotera M.V., Urciuoli G. (2015). In situ monitoring of the groundwater field in an unsaturated pyroclastic slope for slope stability evaluation. *Landslides*, 12(2):259–276 doi.org/10.1007/s10346-014-0483-z
- Piscopo V., Allocca V., Formica F. (2000). Sustainable management of groundwater in Neapolitan volcanic areas, Italy. In: Sililo O et al (eds) *Groundwater: past achievements and future challenge*. Balkema, Rotterdam, pp 1011–1016.
- Piscopo V., Formica F., Lana L., Lotti F., Pianese L., Trifuoggi M. (2020b). Relationship Between Aquifer Pumping Response and Quality of Water Extracted from Wells in an Active Hydrothermal System: The Case of the Island of Ischia (Southern Italy). *Water*, 2020, 12, 2576.
- Piscopo V., Lotti F., Formica F., Lana L., Pianese L. (2020a). Groundwater flow in the Ischia volcanic island (Italy) and its implications for thermal water abstraction. *Hydrogeological Journal* (2020), 28:579-601.
- Regione Campania-ISPRA (2011). *Carta Geologica dell'Isola di Ischia in scala 1:10.000*. Litografia Artistica Cartografica, Firenze, 2011.
- Rittmann A. (1930). *Geologie der Insel Ischia*. Z. f. Vulkanol. Ergänzungsband, 6,1-265.
- Rittmann A., Gottini V. (1980). L' Isola d'Ischia. *Geologia. Boll. Serv. Geol. d'Italia*, 101, 131-274.
- Rosi M., Sbrana A., Vezzoli L. (1988). *Stratigrafia delle isole di Procida e di Vivara*. Boll. GNV, IV, 500-525.
- Russo M., Formato E., Castigliano M., Di Iorio F., Vingelli F., Castagna G.B. (2020). *Relazione illustrativa di Preliminare – Piano Urbanistico Comunale – Preliminare di piano*. <https://www.comune.casamicciolaterme.na.it/puc/Relazione%20Illustrativa%20Preliminare.pdf>
- Sbrana A., Fulignati P., Marianelli P., Boyce A.J., Cecchetti A. (2009) - Exhumation of an active magmatic-hydrothermal system in a resurgent caldera environment. The example of Ischia Island (Italy). *J. Geol. Soc. London.*, 166, 1061-1073.
- Sbrana, A., Marianelli, P., Pasquini, G. (2018). *Volcanology of Ischia (Italy)*. *Journal of Maps*, 14(2), 494-503.
- Toscano A., Cuccurullo F., D'Anna A. (2019). *Microzonazione sismica di III livello del Comune di Casamicciola Terme*. *Relazione Illustrativa. Piano degli studi di microzonazione sismica di III livello dei Comuni di Casamicciola, Lacco Ameno e Forio, ai sensi del D.L. 28 settembre, 109 art. 18, comma 1, lettera h (con tavole allegate)*. <http://www.commissarioricostruzioneischia.it/Esiti-Microzonazione.html>

Valiante M., Guida D., Della Seta M., Bozzano F. (2021). A spatiotemporal object-oriented data model for landslides (LOOM). *Landslides* 18, 1231–1244, <https://doi.org/10.1007/s10346-020-01591-4>

Vezzoli L. (1988). Island of Ischia. C.N.R., Quaderni del “La ricerca scientifica”, 114, pp. 126, Roma.

2. EVENTI ALLUVIONALI DEL PASSATO

In questo capitolo, dopo una sintetica rassegna degli eventi di instabilità che hanno colpito il territorio comunale di Casamicciola Terme, si approfondiscono, sulla base della letteratura disponibile, i caratteri salienti delle due principali calamità che, nell'ultimo secolo, hanno preceduto l'evento del 26 novembre 2022.

2.1 EVENTI STORICI NEL TERRITORIO COMUNALE DI CASAMICCIOLA TERME

La ricca produzione bibliografica disponibile per l'isola di Ischia ha consentito di ricostruire numerosi eventi di dissesto che hanno interessato il territorio comunale di Casamicciola in epoche storiche e attuali (Del Prete, 2004 e bibliografia inclusa).

In particolare, lungo i versanti di M. Epomeo e Capo dell'Uomo sono stati segnalati crolli durante gli eventi sismici del luglio 1228, del 2 febbraio 1828, del 30 gennaio 1863, del 4 marzo 1881 e 28 luglio 1883. Associati ad altri "dissesti diffusi sul territorio", crolli sono stati segnalati anche durante l'evento alluvionale che investì con violenza il territorio di Casamicciola il 24 ottobre 1910, durante il quale l'impeto delle acque trascinò verso valle ciclopici massi di Tufo Verde, come attestano testimonianze fotografiche d'epoca (cfr. par. 2.2).

Notizie di crolli più recenti riguardano: il promontorio di P.ta Perrone (23 marzo 1987, distruzione del ristorante Maonà, 1 vittima), la loc. Scrofa, Castiglione (luglio 1998, seppellimento dell'omonima sorgente lungo la costa; giugno 2000, con invasione dell'arenile); S.S. 270 (via Morgera, 9-10 gennaio 1997 all'altezza della spiaggia di Suor Angela).

Relativamente ai crolli di massi di Tufo Verde dalle cornici sommitali di M. Epomeo e Capo dell'Uomo, essi sono dispersi lungo la fascia pedemontana di M. Epomeo e fino alla costa e raggiungono volumetrie fino a 600 m³. Spesso si tratta di blocchi immersi nei depositi detritici da *debris flow*, trasportati in un secondo momento da questi antichi e imponenti flussi che hanno interessato il settore settentrionale di M. Epomeo. Tali massi possono essere rimobilizzati e trasportati verso valle in occasione di eventi alluvionali particolarmente intensi, come accaduto a P.zza Bagni durante le alluvioni del 24 ottobre 1910 e del 10 novembre 2009 (Fig. 2.1.1).

Altri eventi alluvionali, anch'essi caratterizzati da elevato trasporto solido, si sono verificati nella seconda metà del 1500, nel 1643, il 9-10 gennaio 1997, il 24-25 luglio 1999 e il 14-15 settembre 2001.

Anche per le frane da scorrimento traslativo/rotazionale evolventi in colata detritica numerose sono le testimonianze riportate in connessione ad eventi sismici e soprattutto pluviometrici. A tal

proposito si ricordano i dissesti che hanno interessato l'area SW del Comune, a ridosso del territorio comunale di Lacco Ameno, in occasione degli eventi sismici del 1228, del 1828 e del 1883; i due scorrimenti rotazionali di Cava del Puzillo e Cava Caduta, sempre associati al terremoto dei 1883; un fenomeno interpretato come scorrimento evolvente a colata nell'area di Catreca (ubicata tra le loc. Celano e Bianchetto) accaduto il 14 dicembre 1797; gli oltre venti fenomeni di varie dimensioni che hanno interessato i versanti di Montagnone e Cantoni, nonché le sponde dei profondi fossi di Cava Sinigallia, Cava Fasaniello e Cava Puzillo, verificatisi il 9-10 gennaio 1997 e parzialmente riattivati (loc. Montagnone) il 24-25 luglio 1999.

Tali fenomeni hanno interessato le coltri superficiali alterate, fumarolizzate e, a luoghi, tettonizzate degli accumuli detritici da *debris flow*, di Colle Jetto e del Tufo Verde. Essi sono stati interpretati come iniziali scorrimenti di detrito concentratisi, prevalentemente, lungo le pareti sub-verticali dei fossi a regime torrentizio (Cava Sinigallia, Cava Fasaniello, Cava di Leccie, Cava Caduta e Cava Puzillo) e lungo i versanti di loc. Montagnone e Cantoni. Si è trattato, in genere, di frane abbastanza superficiali, che hanno coinvolto solo i primi metri di copertura alterata e che si sono innescate principalmente in concomitanza di avverse condizioni pluviometriche. In alcuni casi, la presenza di una folta vegetazione arborea non razionalizzata sui cigli delle pareti ha contribuito ad appesantire i versanti e a favorire l'innescò di movimenti. Allorché gli iniziali scorrimenti si sono incanalati all'interno del reticolo idrografico, sono evoluti in colate detritiche e, successivamente, in flussi iperconcentrati.

È stato infine segnalato un fenomeno franoso di notevoli dimensioni che, il 14 dicembre 1797, provocò gravi danni ai territori montani di Casamicciola, non risultando connesso, secondo le fonti storiche, ad eventi sismici o alluvionali.



Figura 2.1.1 - Danni causati dall'evento alluvionale del 10 novembre 2009 (da Calcaterra et al., 2010).

2.2 L'EVENTO DEL 24 OTTOBRE 1910 A CASAMICCIOLA TERME

Nella notte tra domenica 23 e lunedì 24 ottobre del 1910 intense piogge si abbattono sull'isola d'Ischia determinando fenomeni di frana e alluvionamenti in varie parti dell'isola e, in particolare nell'area del comune di Casamicciola.

Cubellis et al. (2008) hanno ricostruito, sulla base di fonti archivistiche, gli effetti al suolo, peraltro in molti casi documentati anche da immagini fotografiche.

L'evento nel suo complesso causò un numero di vittime tra 15 e 18, a seconda delle fonti consultabili. I dati pluviometrici disponibili sono quelli relativi alla stazione di Ischia Porto, che registrò, tra le ore 6 e le ore 10 del 24 ottobre, 250 mm di pioggia, valore sicuramente elevato, soprattutto in considerazione delle piogge già cadute nei giorni precedenti.

Secondo quanto ricostruito dagli autori, i danni maggiori sono da connettersi alle instabilità che hanno avuto luogo tra Casamicciola e Ischia. *In particolare, "L'acqua e la gran massa di macigni (alcuni fino a 5 metri cubi) provenienti dal monte Buceto, trovato ostruito l'alveo in piazza monte della Misericordia, si riversarono in piazza Bagni, travolgendo alberi e travi, casette e capanne, depositandoli prevalentemente nei rioni San Severino e Umberto I (Il torrente franoso largo circa 200 metri ... scendendo per il pendio del monte si è riversato nel rione San Severino... nel rione Umberto I, di lì a mare). Invaso anche il Vico Sanfelice, per dove sboccò la lava a mare".*

Dal quotidiano "Il Giorno" (25-26 ottobre) si apprende che l'accumulo di fango e detriti avrebbe formato " ... una lingua di spiaggia di circa 40 metri". *Il giardinetto di piazza Bagni fu completamente distrutto, grandi massi, alti oltre 10 m, giunsero dalle pendici del monte Epomeo. Anche molti stabilimenti balneari furono gravemente colpiti: i più danneggiati furono Lucibello, miseramente distrutto, Ferrara, Verde e Barbieri. Danni gravi subirono anche gli stabilimenti Manzi e Belliazi, coperti parzialmente da fango e detrito, e le altre abitazioni della contrada. Nei pressi degli stabilimenti Castagna e Laura si aprì una voragine profonda 30 m e larga 50 m. Anche gli hotel Morgera e Quisisana furono fortemente danneggiati nei pianterreni. Alla marina di Casamicciola furono trovati 4 morti, altri 5 scomparsi non furono rinvenuti. Il rione di baracche del terremoto del 1883 fu completamente allagato e centinaia di famiglie messe sul lastrico".*

Importanti effetti si ebbero nella zona del rione La Rita, *"dove si verificò una devastazione generale che investì Lacco Ameno, distruggendo la parte alta del paese. Anche in questo caso furono travolti abitazioni e alcuni stabilimenti balneari, come Mennella e Avita; i vigneti sulle pendici dell'Epomeo furono interamente distrutti. A Lacco furono colpite infine contrada della Cava e contrada Pozzillo, e la sorgente d'acqua potabile fu seppellita dall'alluvione. Le vittime di questo evento furono trovate sulla spiaggia di Lacco Ameno".*

Come riportato dalle diverse fonti, anche gli altri centri abitati dell'isola, come Ischia, Forio, Panza, Barano e Serrara Fontana, riportarono significative conseguenze quali frane, flussi iperconcentrati e alluvionamenti, che coinvolsero in modo diretto le costruzioni ma anche attività produttive quali quelle connesse alle attività vitivinicole. Questi danni furono attentamente valutati da Bordiga (1914).

Per quanto detto e descritto si evidenzia che nell'area del Comune di Casamicciola le aree maggiormente colpite furono quelle in prossimità della cava Senigallia e cava Fasaniello, che recapitarono imponenti flussi iperconcentrati verso Piazza Bagni. Nei pressi di questa si depositarono anche enormi massi indice di un'elevata capacità di trasporto dei flussi. Presumibili e significativi effetti si determinarono anche lungo l'alveo La Rita nel Comune di Lacco Ameno, alimentato però da un bacino imbrifero che ricade, per la gran parte, nel Comune di Casamicciola.

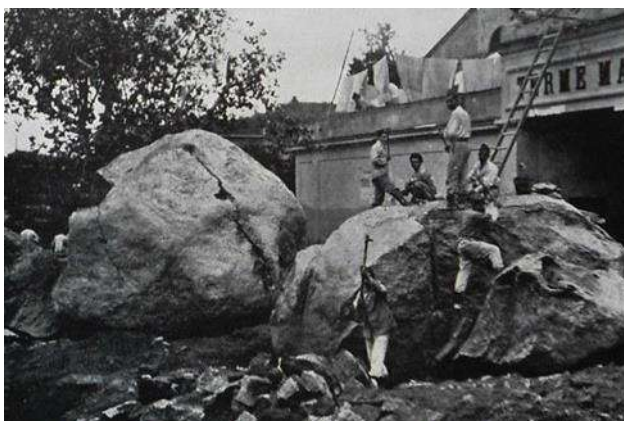


Figura 2.2.1 - Danni causati dall'evento alluvionale del 10 novembre 2009 (<https://www.isclano.com>).

2.3 L'EVENTO DEL 10 NOVEMBRE 2009 A CASAMICCIOLA TERME

Il 10 novembre 2009, in seguito a piogge intense, il Comune di Casamicciola è stato interessato da un evento alluvionale di elevata intensità che causò una vittima e diversi allagamenti (Calcaterra et al., 2010; Santo et al. 2012). In particolare, la zona alta dei bacini denominati Ervaniello, Sinigallia e Puzzillo è stata interessata da frane e fenomeni erosivi, mentre gli alluvionamenti si sono avuti nel settore urbanizzato, dalla zona di Piazza Bagni fino al mare.

Dall'analisi delle precipitazioni effettuata, considerando i dati sub-orari registrati ai quattro pluviometri automatici all'epoca presenti sull'isola di Ischia, si può notare che i picchi più alti sono stati osservati nelle stazioni di Forio e Ischia. In particolare, nei giorni tra l'8 ed il 10 novembre, i valori di pioggia più elevati rispettivamente a 10', 20', 30', 1 h, 3 h, 6 h e 12 h sono caduti nelle fasce orarie tra le 5:30 e le 13:00 del 10 novembre 2009 (Tab. 2.3.1).

Nella stazione di Forio il picco orario di precipitazioni più significativo alle 8:00 è stato di 37,4 mm; inoltre, sono state registrate precipitazioni di 14,6 e 33,8 mm rispettivamente in 10 e 30 minuti. Le precipitazioni giornaliere sono state pari a 111 mm, di cui circa il 67% (74,4 mm) è caduto in 3 ore (dalle 6:00 alle 9:00). Ad Ischia i valori più alti di precipitazioni orarie sono stati alle 13:00 (50,4 mm) ed alle 9:00 (32,8 mm). Valori cumulati significativi (69,4 mm) sono stati registrati anche nell'arco di 3 ore (dalle 7:00 alle 10:00) per un totale giornaliero di 177,4 mm.

Tabella 2.3.1 - Dati pluviometrici per diverse durate (Santo et al., 2012).

Rain gauge	P_10'	h_10'	P_20'	h_20'	P_30'	h_30'	P_1h	h_1h	P_3h	h_3h	P_6h	h_6h	P_12h	h_12h
Forio	14.8	5.30	26.8	7.20	33.8	7.30	37.4	8.00	70.4	8.20	86.8	11.10	107.0	13.00
Ischia	19.4	12.30	24.8	12.30	31.8	12.30	50.4	13.00	69.4	10.00	130.6	13.00	175.0	13.00
Monte Epomeo	5.6	8.20	8.8	8.20	9.2	8.20	12.0	10.10	24.4	10.50	30.4	12.40	41.2	12.10
Piano Liguori	7.4	12.40	9.4	4.50	15.8	4.50	21.4	5.00	30.0	5.10	37.0	9.30	64.6	12.50

Inoltre, dai dati registrati dal pluviometro di Ischia, è emerso che le altezze di pioggia cumulate per diversi intervalli di tempo hanno mostrato chiaramente un primo picco di precipitazioni tra le 4:20 e le 5:20 del mattino, un secondo tra le 8:30 e le 9:30 e un terzo tra le 12:20 e le 13:00 (Fig. 2.3.1). Per quanto riguarda, invece, il pluviometro di Forio, i valori più significativi si sono registrati tra le 5:20 e le 6:00 e tra le 7:30 e le 8:00 del mattino.

Dal rilevamento di campo effettuato nei giorni immediatamente successivi il 9 novembre è stato ricostruito l'intero evento alluvionale da Santo et al. (2012). In particolare, il bacino Puzzillo, che si estende per 0,8 km², è stato interessato solo marginalmente dall'evento alluvionale che ha innescato 11 frane lungo i versanti più ripidi nel tratto che precede l'immissione nell'alveo tombato. Tali frane si sono fermate alla base delle scarpate fluviali e i volumi coinvolti sono stati compresi tra 100 e 550 m³. Lungo il bacino dell'Ervaniello, caratterizzato da un'area di 0,9 km², il corso d'acqua principale ha una sezione trasversale molto ripida e stretta. Dai versanti principali di questo bacino

si sono innescate alcune decine di frane (70), con volumi compresi tra 200 e 1000 m³. Anche in questo caso le frane, sebbene più numerose e distribuite lungo l'alveo, si sono generalmente fermate alla base dei versanti. Il bacino Sinigallia, con un'area di 0,7 km², è stato interessato da 28 frane con volumi variabili tra 50 e 700 m³.

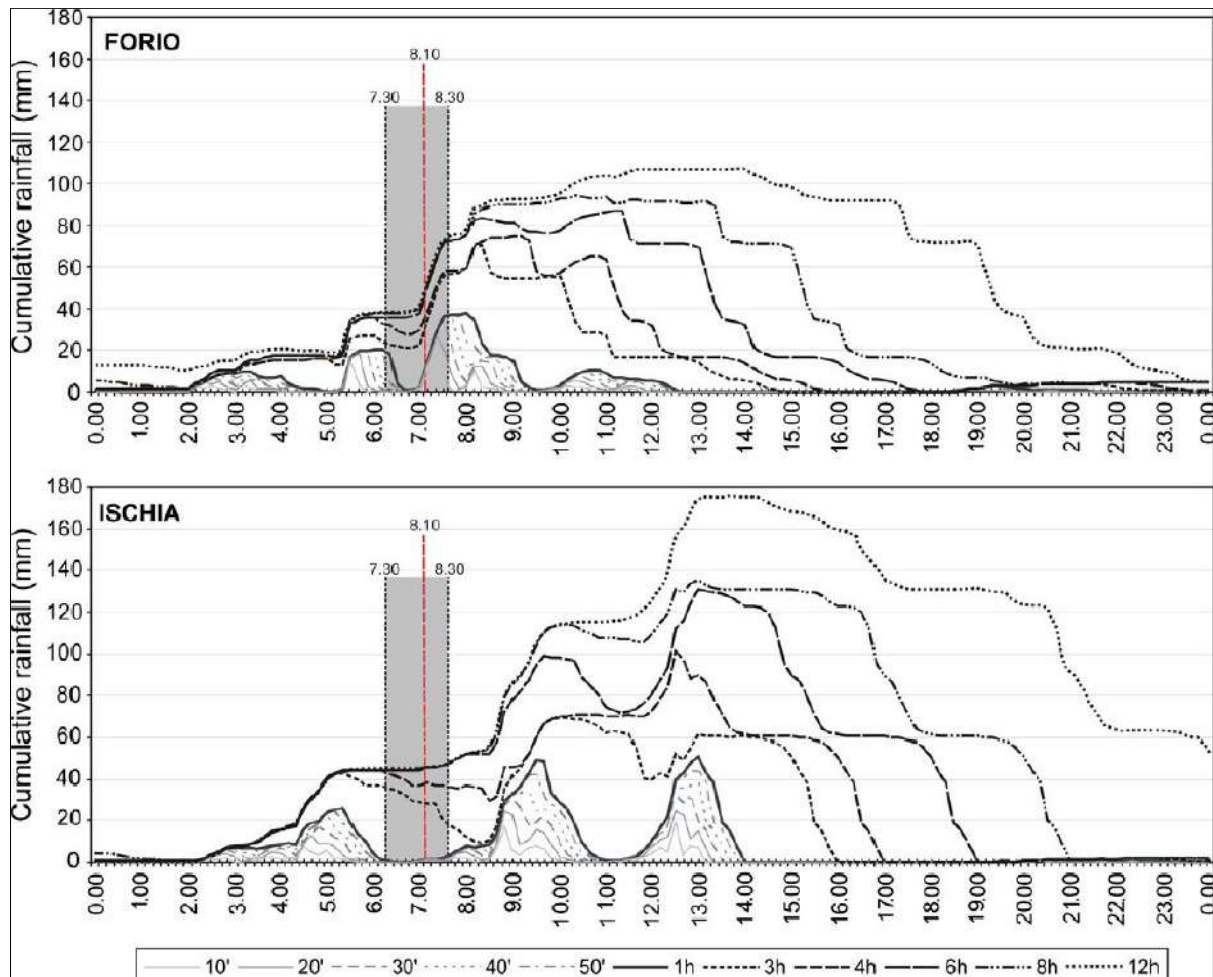


Fig. 2.3.1 - Altezze di pioggia cumulate per diversi intervalli di tempo (da Santo et al., 2012).

Nello studio di dettaglio di Santo et al. (2012) è stato stimato un volume totale mobilizzato di circa 7.500 m³, di cui circa 6.000 m³ si sono accumulati lungo gli impluvi dei tre bacini e circa 1.000 m³ hanno raggiunto l'abitato di Casamicciola presso Piazza Bagni.

In sintesi, quindi quasi tutte le frane che si innescarono nell'evento del novembre 2009 ebbero una limitata "intensità" e, fortunatamente, non raggiunsero il centro abitato (Fig. 2.3.2).

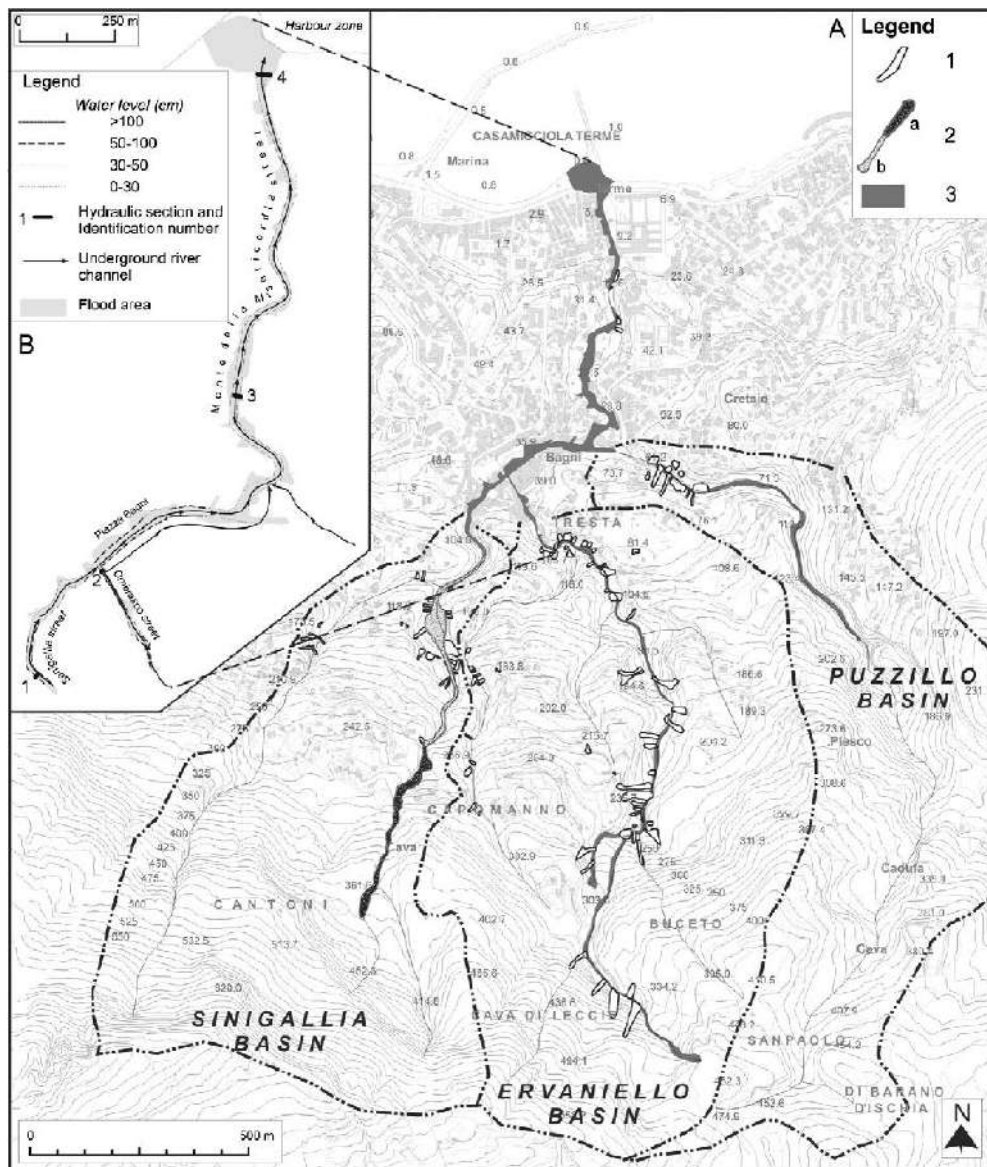


Figura 2.3.2 - Evento alluvionale del 10 novembre 2009. In alto a destra il dettaglio dell'area alluvionata nel centro abitato (Santo et al., 2012).

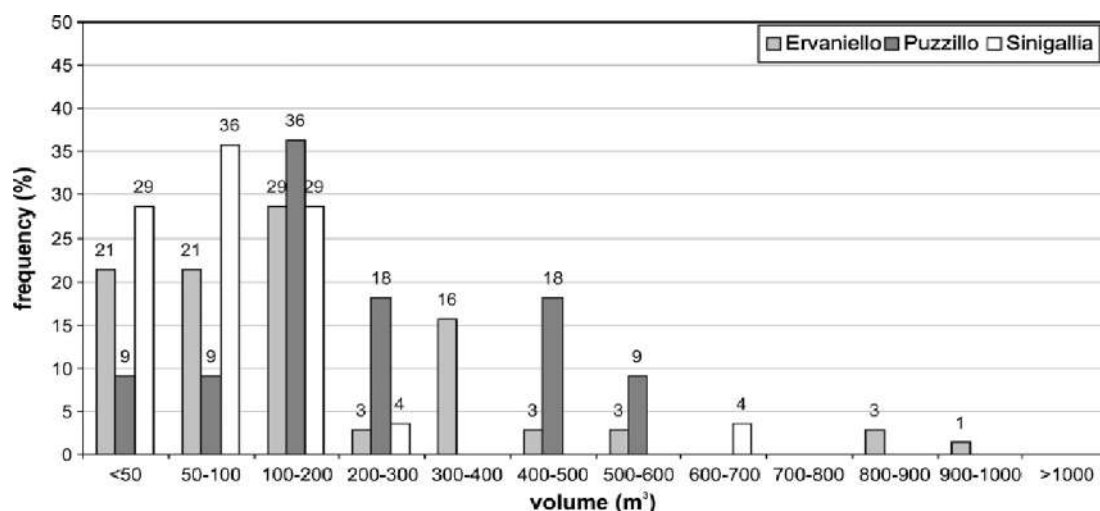


Figura 2.3.3 - Distribuzione statistica dei volumi stimati delle frane che hanno interessato i tre bacini principali (Santo et al., 2012).

Dall'analisi di alcuni filmati e da indagini sul campo sono stati anche ricostruiti i tiranti idrici e le velocità di picco del fenomeno (Santo et al., 2012). In particolare, secondo gli Autori, le osservazioni condotte lungo il settore terminale del flusso fangoso, in corrispondenza del porto, hanno mostrato valori di velocità variabili tra i 2.7 e 2.9 m/s (Fig. 2.3.4).



Figura 2.3.4 - Valori di velocità del flusso fangoso in prossimità dell'area portuale (Santo et al., 2012).

L'entità dei tiranti idrici, invece, è stata ricostruita in alcuni punti significativi attraverso le tracce visibili lungo i manufatti e la vegetazione (Fig. 2.3.5). In particolare, a via Ombrasco, nei pressi di Piazza Bagni, dove la strada diventa molto stretta, il livello stimato è di circa 1,5 m. Livelli inferiori (circa 30 cm) sono stati misurati lungo il tratto finale di via Monte della Misericordia, in prossimità dell'area portuale, dove la sezione idraulica è larga 15 m e dove le pendenze diventano molto basse (<5%).



Figura 2.3.5 - Valori dei tiranti idrici a monte di Piazza Bagni e lungo via della Misericordia (Santo et al., 2012).

I dati raccolti hanno inoltre mostrato che non sono stati causati danni gravi agli edifici ma esclusivamente allagamenti localizzati ai piani inferiori. Questo dimostra l'elevata fluidità del flusso tipico di un fenomeno prettamente alluvionale. Tale ultima evidenza è stata ben dimostrata dalle simulazioni condotte con metodi di iversi da Calcaterra et al. (2010).



Figura 2.3.6 – Risultati delle modellazioni dell'evento del 10 novembre 2009. A sinistra, punto di massima invasione, alla confluenza tra i valloni, calcolato con DAN-W. A destra, aree e spessori di invasione (in m) calcolati con FLO-2D (Calcaterra et al., 2010).

Riferimenti bibliografici citati

- Bordiga O. (1914). Il nubifragio del 24 ottobre 1910 nei suoi effetti sulla coltura dell'Isola d'Ischia e della costiera Amalfitana e le stime dei danni relativi. Cooperativa tipografica, Napoli, 25 pp..
- Calcaterra D., Di Crescenzo G., Di Martire D., Di Natale M., Gisonni C., Santillo A., Santo A. (2010). Confronto tra modelli di propagazione di flussi iperconcentrati: il caso di Casamicciola Terme (Ischia). Atti XXXII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Palermo, 14-17 settembre 2010, 10 pp., Walter Farina, ISBN 978-88-90389-52-8
- Cubellis E., Mazzarella A., Scagliola L. (2008). 1910 – L'alluvione nell'isola d'Ischia. Ambiente Territorio, 1, 48-53.
- Del Prete S. (2004). Casamicciola: scheda n. 40. In: de Riso R, Di Nocera S., Pescatore T. (Eds.), Progetto speciale SCAI – Studio dei Centri abitati instabili della Regione Campania, 1, pubbl. n. 2845 del G.N.D.C.I., 172-180.
- Santo A., Di Crescenzo G., Del Prete S., Di Iorio L. (2012). The Ischia island flash flood of November 2009 (Italy): Phenomenon analysis and flood hazard. Physics and Chemistry of the Earth 49: 3–17.

3. ARTICOLAZIONE DEL TERRITORIO DI CASAMICCIOLA IN BACINI E SOTTOBACINI

3.1 INTRODUZIONE

Nel presente capitolo è illustrata l'articolazione del territorio del Comune di Casamicciola Terme in bacini e sottobacini, con riferimento agli aspetti inerenti al rilevamento e alla rappresentazione cartografica.

La conoscenza della topografia delle aree interessate dall'evento calamitoso del 26 novembre 2022 e la conseguente descrizione cartografica di tali aree costituiscono lo strumento basilare per la pianificazione degli interventi di messa in sicurezza e di riduzione del rischio residuo.

Si è reso pertanto necessario acquisire informazioni utili a descrivere in modo completo e aggiornato il territorio ad una scala adeguata per le finalità preposte.

A tale scopo la prima attività ha riguardato la ricognizione e l'analisi di tutti i dati topografici e cartografici già esistenti, in un quadro di razionale gestione delle risorse.

La disponibilità di una grande mole di dati pre e post-evento, forniti dalla struttura Commissariale, è risultata estremamente utile per condurre un'analisi dettagliata dell'assetto plano-altimetrico dell'area di indagine e, in particolare, degli elementi che la caratterizzano sia naturali sia artificiali.

Un aspetto importante ha riguardato la verifica della qualità e dell'affidabilità del dato. Tale verifica è stata effettuata attraverso il confronto su base cartografica delle informazioni provenienti da più fonti, ovvero mediante verifica in sito.

Un ulteriore aspetto concerne i numerosi ed eterogenei flussi informativi, per cui si è trattato di organizzare l'elevata mole di dati allo scopo di consentirne la condivisione e l'efficace utilizzo.

3.2 DATI DI BASE

I fenomeni franosi e alluvionali hanno interessato tutti i bacini montani defluenti lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo in un'area situata, specificatamente, nel territorio comunale di Casamicciola Terme. Il Comune di Casamicciola Terme, posto nella parte settentrionale dell'isola

d'Ischia, ha una superficie di 5,82 km² e confina con tutti gli altri Comuni dell'isola: a est con il Comune di Ischia; a sud est con il Comune di Barano d'Ischia; a sud con il Comune di Serrara Fontana; a ovest con i Comuni di Forio e di Lacco Ameno (Fig. 3.1).

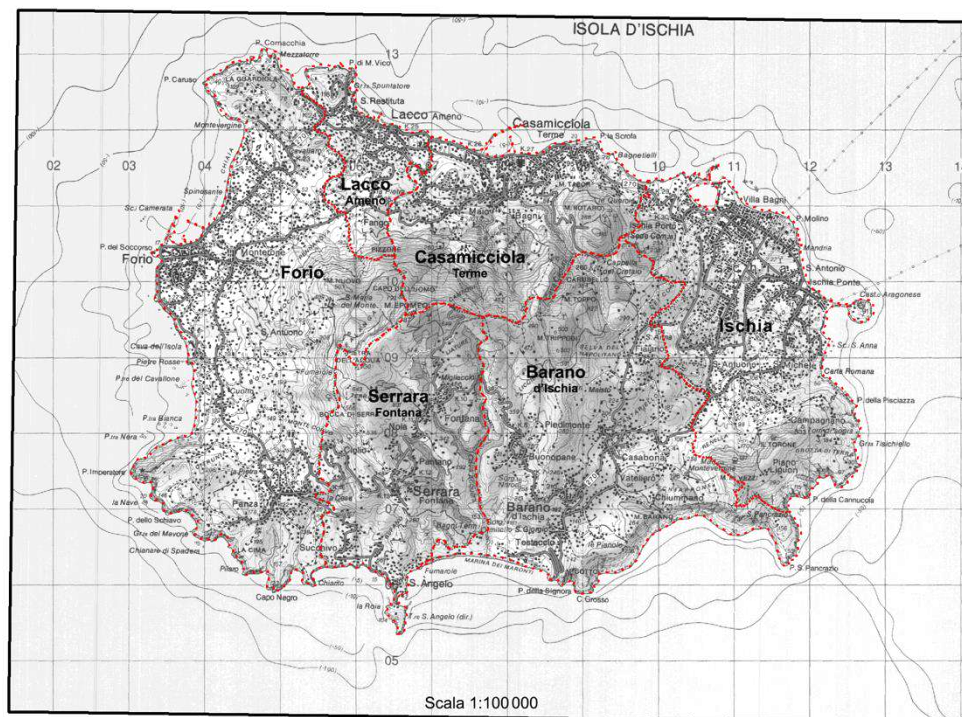


Figura 3.1 – Inquadramento territoriale.

Per quanto riguarda i dati post-evento, si è fatto riferimento ai prodotti acquisiti dal Dipartimento della Protezione Civile della Presidenza del Consiglio dei Ministri e dalla Regione Campania.

Nell'ambito della cartografia d'emergenza è stato impiegato il servizio *Copernicus Emergency Management Service* (CEMS) del programma di osservazione della Terra Copernicus dell'UE. Il servizio CEMS fornisce supporto per la risposta alle emergenze a seguito di diversi tipi di catastrofi, inclusi gli eventi di frana e alluvione, attraverso diverse attività tra cui la produzione di cartografia speditiva basata su immagini satellitari (*CEMS Rapid Mapping*). Su richiesta di attivazione da parte di utenti autorizzati, il servizio CEMS-RM, attuato dal Centro comune di ricerca (JRC) della Commissione Europea, ha il compito di fornire informazioni geospaziali tempestive delle aree colpite.

Immediatamente a seguito dell'evento del 26 novembre 2022 il Dipartimento della Protezione Civile ha provveduto a inoltrare richiesta del servizio CEMS-RM (codice dell'attivazione EMSR643).

È stata inoltre attivata la *CEMS Aerial Component*, la nuova componente aerea introdotta dal CEMS il 13 ottobre 2022, basata sull'impiego di piattaforme aeree (con e senza pilota) per un utilizzo integrato con le immagini satellitari. Nello specifico sono state acquisite immagini con maggiore

risoluzione geometrica rispetto ai dati satellitari, sia attraverso un volo aereo con copertura dell'intera isola d'Ischia, eseguito in data 27 novembre 2022 dalla CGR S.p.A. (Compagnia Generale Ripreseeree) di Parma, acquisendo anche dati LiDAR (8-10 punti/m²), sia mediante un volo con UAV condotto dalla FairFleet e completato il giorno 1 dicembre 2022.

Nell'ambito dell'attivazione CEMS-RM EMSR643, sono stati generati i seguenti prodotti cartografici:

- un prodotto di tipo *delineation*, alla scala 1:7000, per delimitare l'estensione geografica dell'evento calamitoso, sulla base di dati *Pleiades* del 27/11/2022 (Fig. 3.2);
- tre prodotti di tipo *grading*, uno alla scala 1:7000 e due alla scala 1:2000, con la classificazione del grado di danno subito dalle infrastrutture e dall'edificato, sulla base delle immagini aeree acquisite dalla CGR;
- ortofoto digitale a colori (RGB, *True color*) dell'intera isola d'Ischia, generata dalle immagini aeree acquisite dalla CGR, con risoluzione geometrica (*Ground Sample Distance* – GSD) pari a 0,15 m (Fig. 3.2);
- modello digitale di quota (*Digital Elevation Model* – DEM) e modello digitale di superficie (*Digital Surface Model* – DSM) con passo di griglia 1 m dell'intera isola d'Ischia, generati dalle riprese LiDAR della CGR (Fig. 3.2);
- ortofoto digitale a colori (RGB, *True color*) con GSD pari a 0,05 m e DSM con passo di griglia 0,05 m, generati dalle acquisizioni UAV della FairFleet, relativi a una superficie di circa 5 km² ricadente in porzioni del territorio dei Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno e in piccola parte del Comune di Forio.

In aggiunta ai prodotti cartografici del servizio Copernicus EMS, sono stati resi disponibili altri prodotti di seguito elencati:

- ortofoto digitale a colori (RGB, *True color*) con GSD pari a 0,05 m e DSM con passo di griglia 0,25 m, generati dalle acquisizioni eseguite dalla Guardia di Finanza in data 28 novembre 2022, relativi a una superficie di circa 19 km² del versante settentrionale dell'isola d'Ischia, estesa da est a ovest per circa 7 km, comprendente il territorio dei Comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno e porzioni del territorio dei Comuni di Ischia, Barano d'Ischia e Forio (Fig. 3.2);
- ortofoto digitale a colori (RGB, *True color*) con GSD pari a 0,05 m e DEM/DSM con passo di griglia 1 m di un'area di circa 7 km² comprendente per la maggior parte il territorio del Comune di

Casamicciola Terme, generati dalle immagini aeree e dai dati LiDAR (9-10 punti/m²) acquisiti dalla MERMEC S.p.A. in data 29 novembre 2022 e forniti dalla Regione Campania (Fig. 3.2).

I principali dati topografici e cartografici utilizzati per la definizione del piano degli interventi possono essere raggruppati nelle tre categorie di modelli altimetrici, ortofoto digitali e carte al tratto in formato numerico (Tab. 3.1).

Modelli altimetrici (DEM/DSM)	Ortofoto RGB	Carte al tratto in formato numerico (raster e vettoriale)
Copernicus (CGR) passo di griglia 1 m volo del 27/11/22	Guardia di Finanza GSD 0,05 m volo del 28/11/22	Serie 25 IGM Foglio N° 464 Sez. I – Isola d’Ischia scala 1:25000
Regione Campania (MERMEC) passo di griglia 1 m volo del 29/11/22	Regione Campania (MERMEC) GSD 0,05 m volo del 29/11/22	Carta Tecnica Regionale scala 1:5000
	Ortofoto AGEA 2020 GSD 0,20 m	Mappe catastali

Tabella 3.1 – Prodotti cartografici utilizzati per il piano degli interventi

Tali prodotti rappresentano le informazioni di base a supporto della definizione del piano degli interventi. Essi sono risultati idonei alle finalità del piano, caratterizzati da tecniche di produzione e parametri di qualità adeguati alla scala di intervento e all’impiego richiesto dagli scopi specifici delle diverse applicazioni di carattere geologico, geotecnico, idraulico e, in particolare, per le esigenze di modellazione dei fenomeni franosi e alluvionali.

L’utilizzo di prodotti simili tra loro per caratteristiche geometriche e temporali, con riferimento soprattutto ai modelli altimetrici e alle ortofoto, ha consentito di ottenere un duplice obiettivo: da una parte la verifica della qualità dei dati in termini di contenuto metrico e tematico attraverso la loro ridondanza, e dall’altra il raggiungimento del miglior risultato possibile di copertura dell’area, livello di dettaglio e accuratezza grazie all’integrazione e all’armonizzazione delle diverse fonti disponibili.

Le attività cartografiche hanno riguardato, innanzitutto, la definizione dei limiti dell’area di interesse (AOI – Area Of *Interest*) rispetto ai quali è stato effettuato il taglio della cartografia di base del piano degli interventi. La modalità di taglio adottata è quella geografica, ossia mediante le trasformate di meridiani e paralleli. La porzione di territorio oggetto di analisi è risultata coperta da una superficie corrispondente a quella di un “elemento” della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000, delle dimensioni di 2’30” in longitudine e 1’30” in latitudine, secondo trasformate di

meridiani e paralleli però non coincidenti con i limiti della CTR. Al fine di rappresentare l'intero territorio dei bacini montani del versante settentrionale del Monte Epomeo, il taglio geografico è stato definito nel sistema di riferimento geodetico ETRF2000-RDN dagli intervalli 13°53'12"-13°55'42" e 40°43'41"-40°45'11", rispettivamente in longitudine e in latitudine, con una superficie di 9,76 km² (Fig. 3.2).

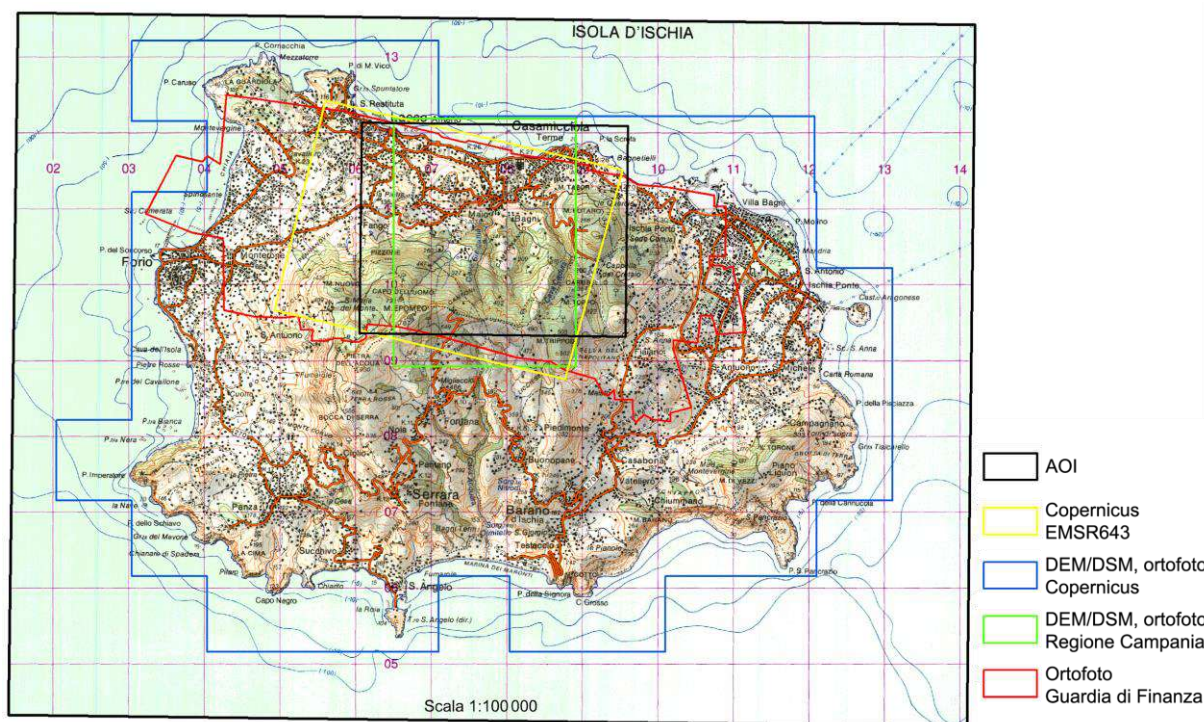


Figura 3.2 – Inquadramento dell'area di interesse.

3.3 DATI DERIVATI

Tramite l'integrazione dei modelli altimetrici e delle ortofoto digitali, sfruttando principalmente la qualità dei DEM ad alta risoluzione prodotti con tecnica LiDAR, sono stati derivati altri dati necessari per la conoscenza della complessa conformazione dei bacini montani posti lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo.

Una prima attività ha riguardato l'identificazione e la generazione del reticolo idrografico. Il procedimento è stato sviluppato attraverso una analisi GIS, mediante il software ArcGIS Pro, basata sul dato topografico (DEM).

Le informazioni desumibili dalla sovrapposizione delle ortofoto hanno consentito la validazione dei risultati anche avvalendosi delle conoscenze disponibili sui corsi d'acqua e delle indicazioni derivanti da verifiche in sito.

È stato così individuato il reticolo idrografico relativo ai valloni principali che attraversano il territorio, con la rete degli impluvi minori, sulla base del quale si è proceduto ad effettuare la perimetrazione dei bacini idrografici e dei sottobacini in cui l'area in esame risulta suddivisa (Fig. 3.3).

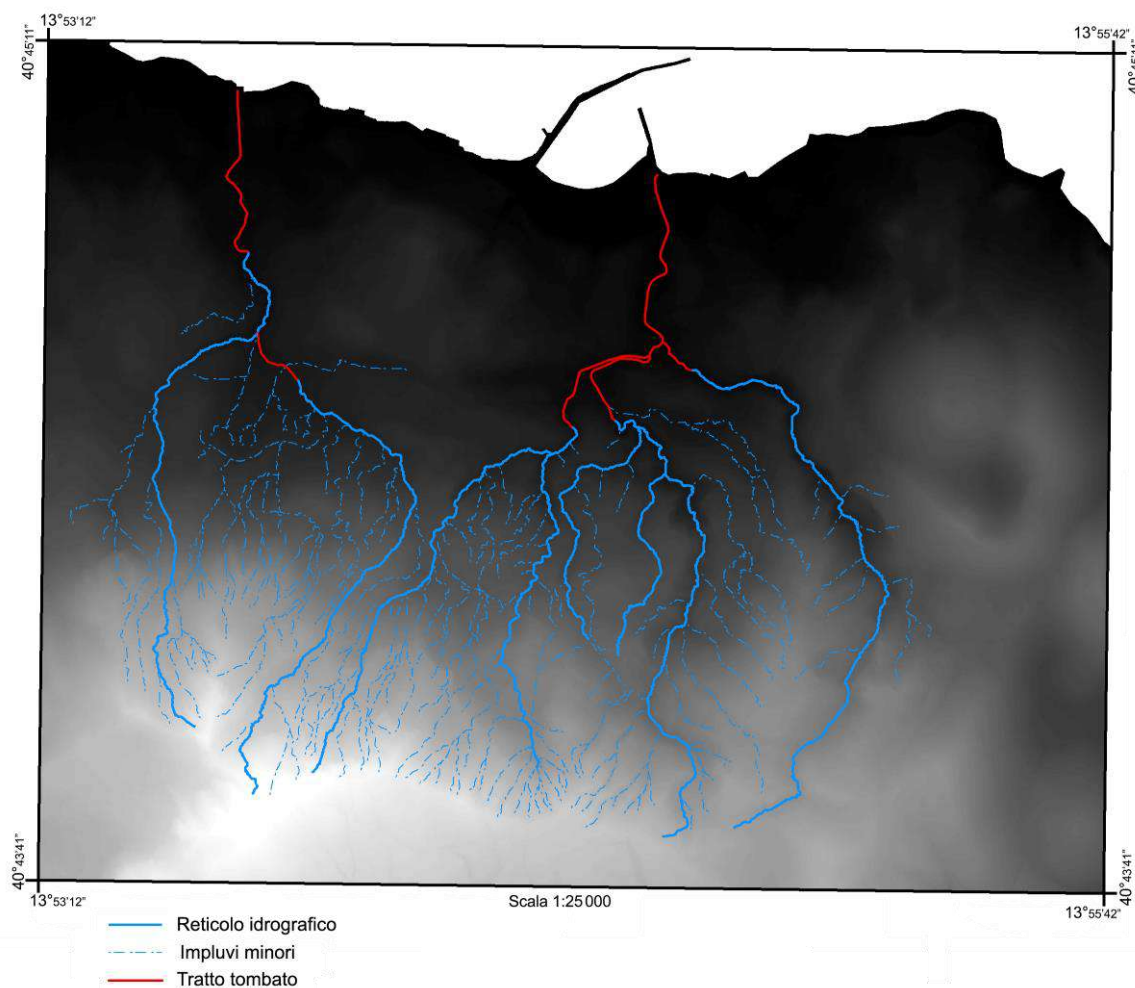


Figura 3.3 – Reticolo idrografico e rete degli impluvi minori.

A tale fase volta a fornire la descrizione metrica degli elementi che caratterizzano il territorio, dal punto di vista del loro andamento planimetrico e di quello altimetrico, si è affiancata la ricostruzione del modello digitale 3D, ricavato combinando modello altimetrico e ortofoto digitale a colori. Tale prodotto è risultato estremamente utile permettendo, attraverso una vista prospettica tridimensionale dinamica e più realistica, di riconoscere i dettagli della superficie del terreno soprattutto per le zone impervie e, di conseguenza, migliorare la comprensione del territorio.

3.3.1 Reticolo idrografico e bacini idrografici

Nell'ambito del territorio del Comune di Casamicciola Terme è stato individuato un articolato reticolo idrografico, costituito da valloni profondamente incisi indicati nei toponimi con il termine "Cava". Proprio sui nomi è stata riscontrata un'elevata incertezza, indicativa della difficoltà di descrivere in modo soddisfacente questo complesso territorio. La rappresentazione del terreno con il modello delle ombre (*hillshade*) evidenzia le incisioni presenti nell'area in esame (Fig. 3.4).

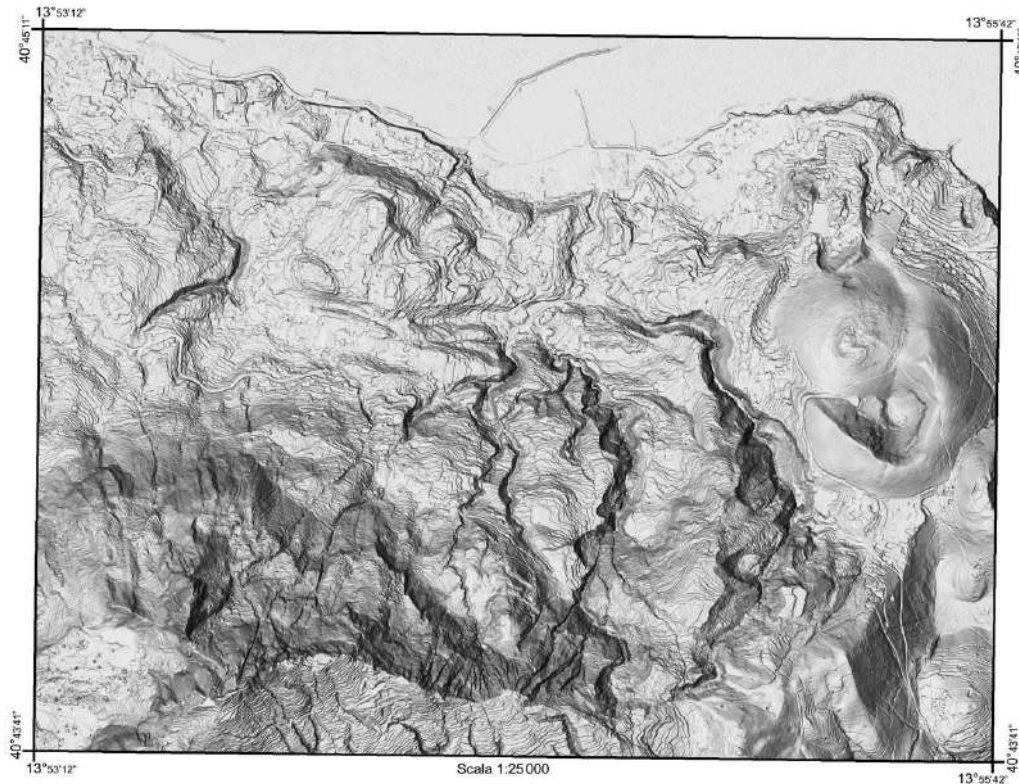


Figura 3.4 – Modello del terreno con le ombre (*hillshade*).

Sulla base dei dati di quota derivati dal DEM è stata inoltre generata la carta delle pendenze (Fig. 3.5).

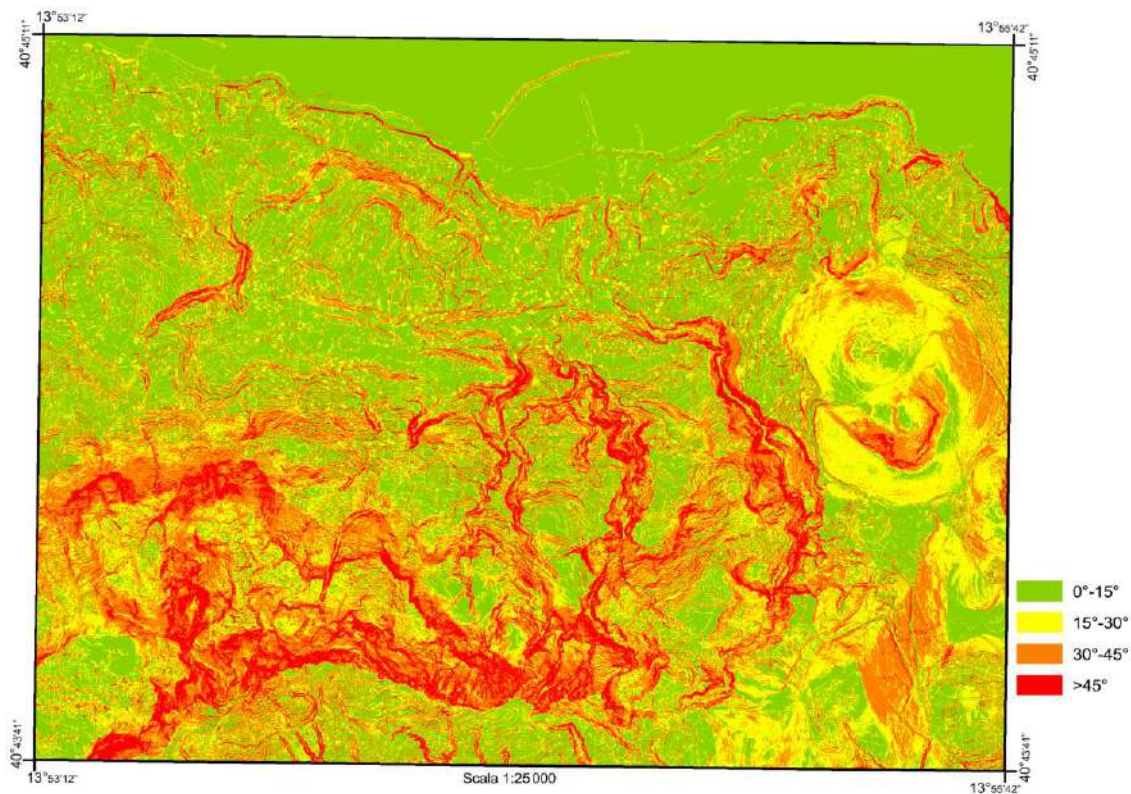


Figura 3.5 – Carta delle pendenze.

In particolare, lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo si possono individuare nove valloni ricompresi all'interno dei due bacini principali in cui è suddiviso il territorio in esame: il bacino di Casamicciola e il bacino La Rita. Procedendo da est a ovest, nel bacino di Casamicciola ricadono i valloni di Cava Puzzillo, Cava Fasaniello (o Ervaniello), Campomanno, Cava Negroponete, Cava Sinigallia, Cava Fontana e Cava Celario. Nel bacino La Rita ricadono invece i valloni Cuccufriddo, Cava del Monaco e Cava La Rita (Fig. 3.4).

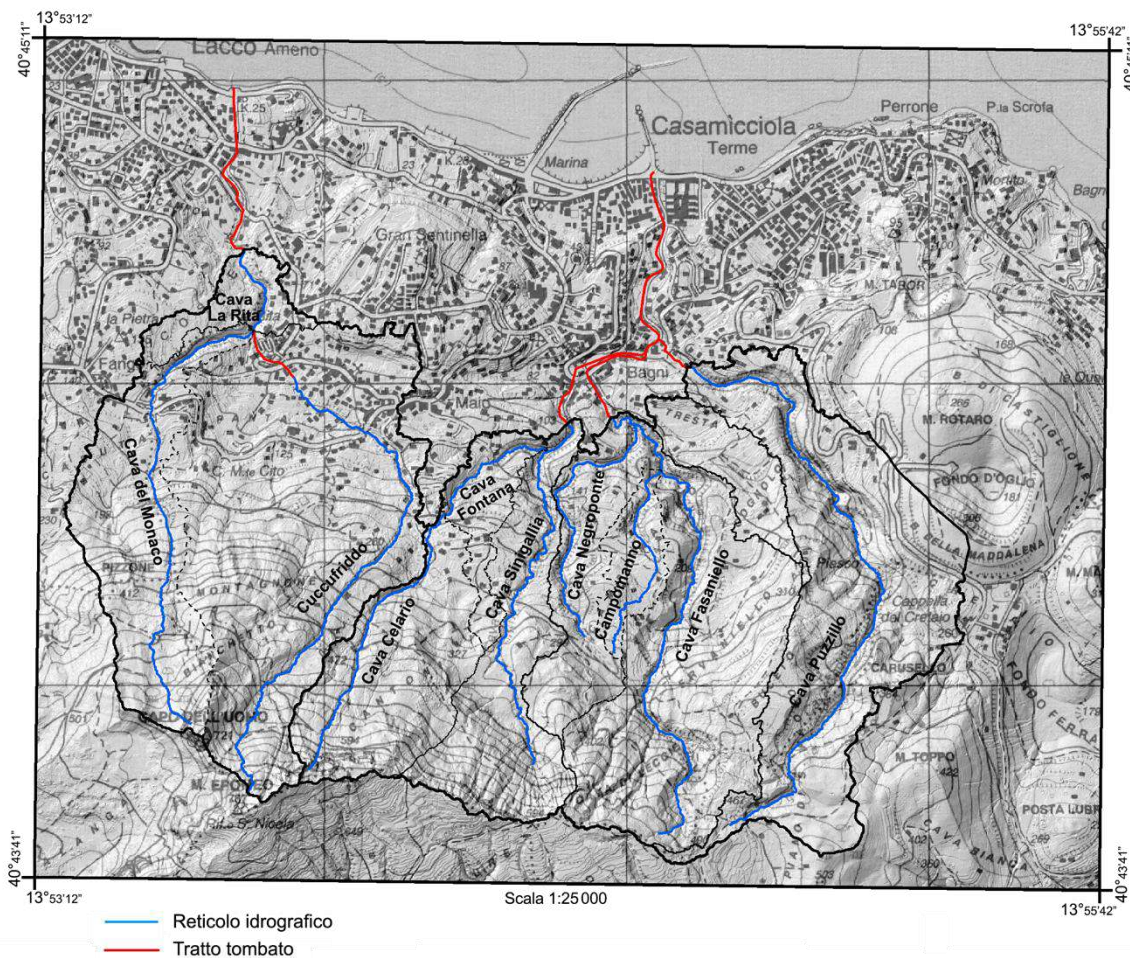


Figura 3.4 – Reticolo idrografico e bacini idrografici.

Più in dettaglio, il territorio in esame risulta suddiviso nei seguenti bacini e sottobacini, riportati con il nome del corso d'acqua principale che circola in essi:

Bacino di Casamicciola

- sottobacino di Cava Puzzillo, comprende Cava Puzzillo fino al tratto tombato che si immette in via Vittorio Emanuele;
- sottobacino di Cava Fasaniello (o Ervaniello), comprende Cava Fasaniello, Campomanno e Cava Negroponte, confluenti nel tratto tombato che si immette in via Ombrasco;
- sottobacino di Cava Sinigallia, comprende Cava Sinigallia, Cava Fontana e Cava Celario, confluenti nel tratto tombato in via Nizzola.

Bacino La Rita

- comprende il Cuccufriddo e Cava del Monaco, confluenti nella Cava La Rita, che si immette nel tratto tombato in via Cava.

I bacini e i sottobacini posti lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo vengono elencati schematicamente con le relative superfici:

1. Bacino di Casamicciola: 2,31 km²
 - 1.1. Sottobacino di Cava Puzzillo: 0,70 km²
 - 1.2. Sottobacino di Cava Fasaniello (o Ervaniello): 0,88 km²
 - 1.2.1 Sottobacino di Cava Fasaniello: 0,60 km²
 - 1.2.2 Sottobacino di Campomanno: 0,08 km²
 - 1.2.3 Sottobacino di Cava Negroponte: 0,20 km²
 - 1.3. Sottobacino di Cava Sinigallia: 0,73 km²
 - 1.3.1 Sottobacino di Cava Sinigallia: 0,31 km²
 - 1.3.2. Sottobacino di Cava Fontana: 0,10 km²
 - 1.3.3. Sottobacino di Cava Celario: 0,32 km²
2. Bacino La Rita: 1,35 km²
 - 2.1. Sottobacino del Cuccufriddo: 0,89 km²
 - 2.2. Sottobacino di Cava del Monaco: 0,38 km²
 - 2.3. Sottobacino di Cava La Rita: 0,08 km²

Nella tabella 3.2 vengono riportati i principali parametri morfologici (lunghezza, dislivello, quota massima e minima, pendenza media) connessi al reticolo idrografico, distinguendo i seguenti tratti:

- Cava Puzzillo fino alla tombatura (tratto P);
- Cava Fasaniello fino alla confluenza con il Campomanno (tratto FA1);
- Campomanno fino alla confluenza con Cava Fasaniello (tratto CA);
- Cava Fasaniello dalla confluenza con il Campomanno alla confluenza con Cava Negroponte (tratto FA2);
- Cava Negroponte fino alla confluenza con Cava Fasaniello (tratto N);
- Cava Fasaniello fino alla tombatura (tratto FA3);
- Cava Sinigallia fino alla confluenza con Cava Fontana (tratto S1);
- Cava Celario fino a Cava Fontana (tratto CE);
- Cava Fontana fino alla confluenza con Cava Sinigallia (tratto FO);
- Cava Sinigallia dalla confluenza con Cava Fontana alla tombatura (tratto S2);
- Cava Cuccufriddo fino alla confluenza nella Cava La Rita (tratto CU);
- Cava del Monaco fino alla confluenza nella Cava La Rita (tratto M);

- Cava La Rita fino alla tombatura (tratto R);

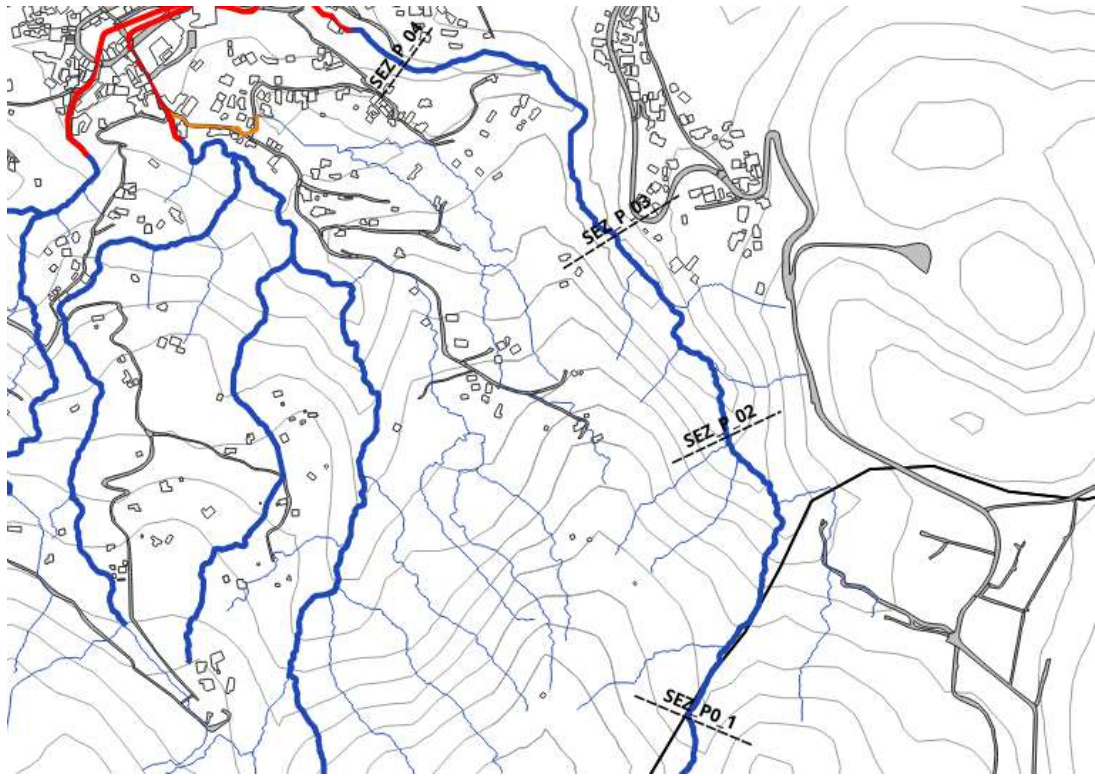
Tratto	Lunghezza [m]	Quota max [m s.l.m.m.]	Quota min [m s.l.m.m.]	Dislivello [m]	Pendenza media
P	2601	460	30	430	18% (10°)
FA1	1868	516	65	451	27% (15°)
CA	890	302	65	237	29% (16°)
FA2	251	65	50	15	7% (4°)
N	1101	270	50	220	21% (12°)
FA3	154	50	44	6	4% (2°)
S1	1523	430	79	351	25% (14°)
FO	550	190	79	111	22% (12°)
CE	1337	710	190	520	45% (24°)
S2	177	79	45	34	22% (12°)
CU	2503	740	55	685	30% (17°)
M	1991	655	55	600	33% (18°)
R	366	55	32	23	6% (4°)

Tabella 3.2 – Parametri morfologici del reticolo idrografico.

3.4 CAVA DEL PUZZILLO FINO ALLA TOMBATURA



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione



Length	Gain
280.8 m	85.1 m
Loss	Min
75.6 m	310.6 m
Max	Avg
389.5 m	359.1 m
Max Slope	Avg Slope
↑52.4° ↓58.0°	↑20.4° ↓33.6°

SEZ_P_01



Length	Gain
502.5 m	152.9 m
Loss	Min
161.9 m	118.4 m
Max	Avg
269.5 m	211.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑67.5° ↓51.2°	↑26.6° ↓31.2°

SEZ_P_02



Length	Gain
176.0 m	76.5 m
Loss	Min
50.9 m	56.3 m
Max	Avg
131.9 m	100.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑58.6° ↓58.4°	↑31.8° ↓28.9°

SEZ_P_03



Length	Gain
95.3 m	24.5 m
Loss	Min
30.7 m	38.5 m
Max	Avg
68.9 m	53.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑41.8° ↓51.0°	↑19.3° ↓43.0°

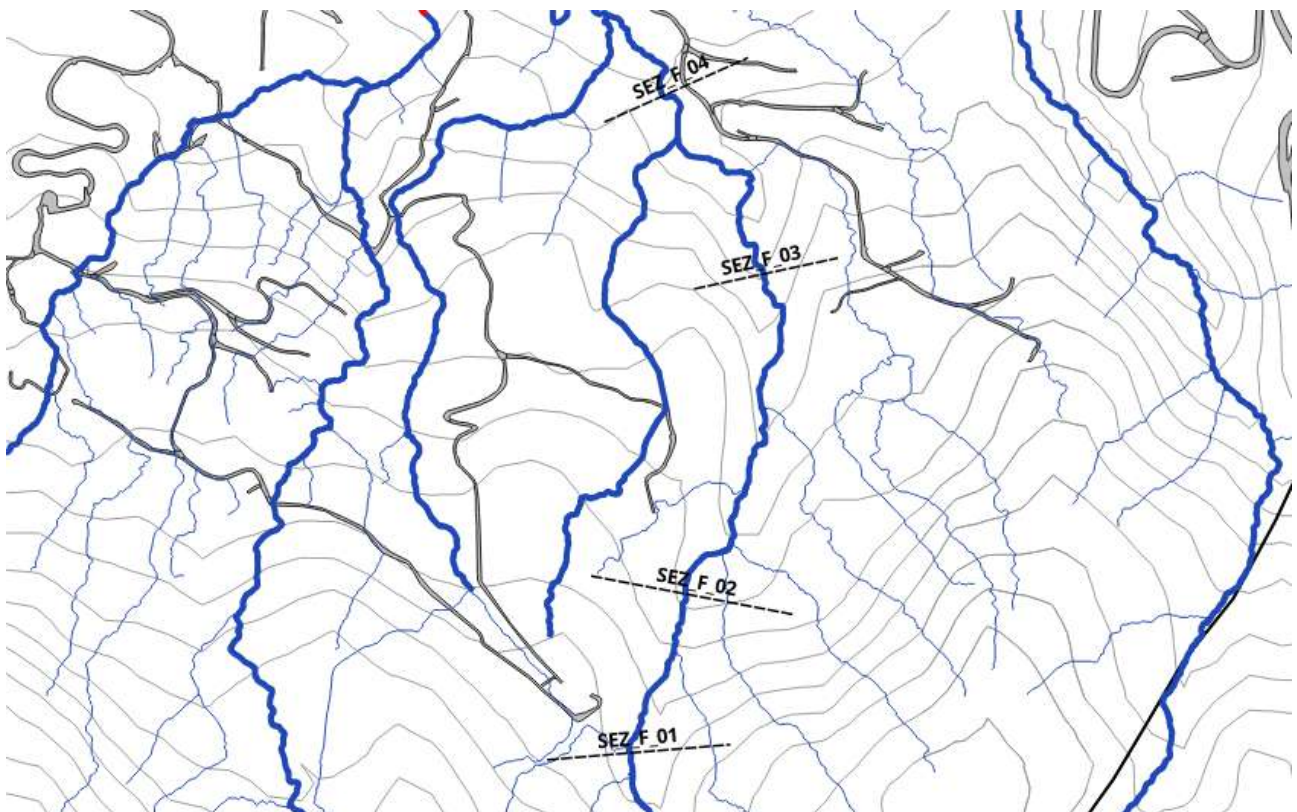
SEZ_P_04

3.5 CAVA FASANIELLO (O ERVANIELLO) – CAMPOMANNO - CAVA NEGROPONTE FINO ALLA TOMBATURA

3.5.1 Cava Ervaniello fino alla tombatura



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione



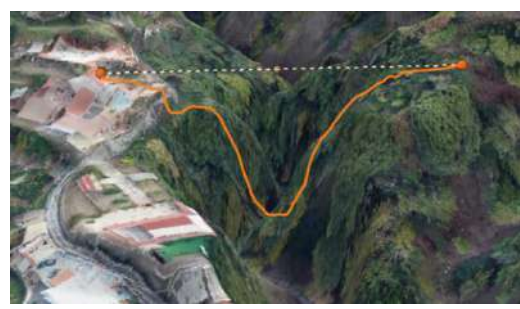
Length	Gain
283.8 m	164.6 m
Loss	Min
44.5 m	300.8 m
Max	Avg
454.8 m	370.3 m
Max Slope	Avg Slope
↑56.1° ↓55.9°	↑34.0° ↓29.5°

SEZ_F_01



Length	Gain
174.0 m	59.7 m
Loss	Min
43.4 m	182.6 m
Max	Avg
240.7 m	218.9 m
Max Slope	Avg Slope
↑53.7° ↓57.4°	↑22.8° ↓33.2°

SEZ_F_02



Length	Gain
262.8 m	90.3 m
Loss	Min
78.0 m	111.1 m
Max	Avg
190.9 m	163.7 m
Max Slope	Avg Slope
↑54.6° ↓56.8°	↑23.8° ↓29.8°

SEZ_F_03

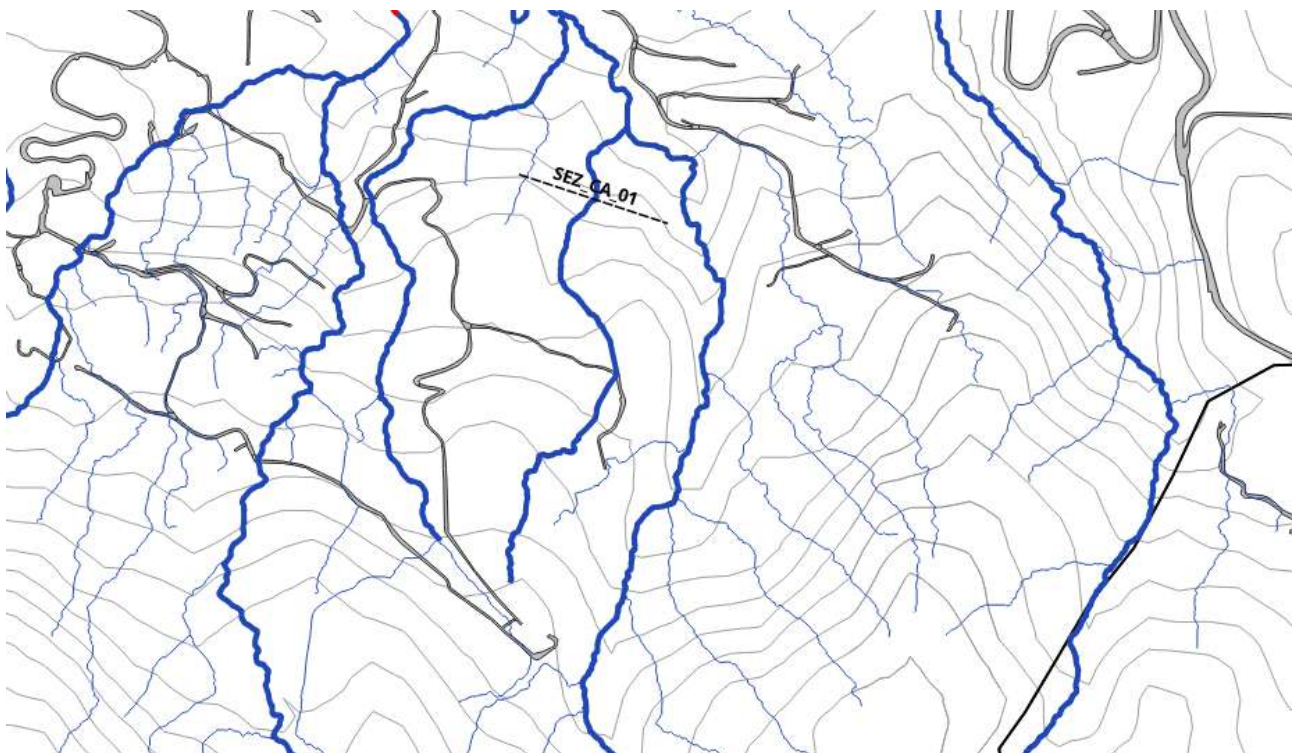
Length	Gain
100.9 m	47.9 m
Loss	Min
41.6 m	55.5 m
Max	Avg
100.7 m	84.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑64.1° ↓64.8°	↑27.1° ↓33.2°

SEZ_F_04

3.5.2 Campomanno fino a Cava Fasaniello



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezioni



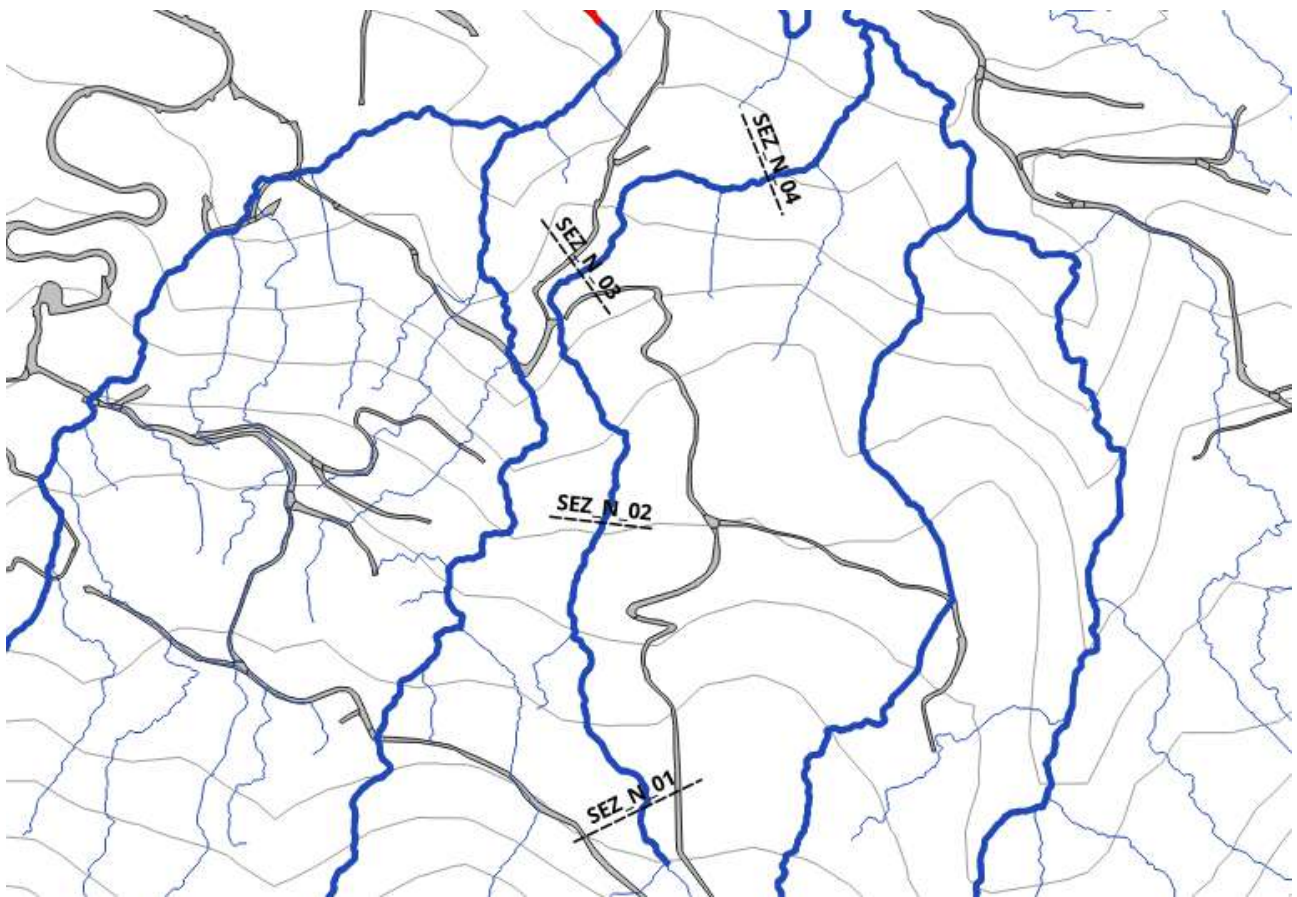
Length	Gain
94.3 m	11.3 m
Loss	Min
13.9 m	199.3 m
Max	Avg
209.6 m	204.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑17.8° ↓27.9°	↑14.1° ↓9.9°

SEZ_CA_01

3.5.3 Cava Negrofonte fino a Cava Fasaniello



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione



Length	Gain
128.2 m	44.2 m
Loss	Min
18.8 m	260.7 m
Max	Avg
300.4 m	281.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑43.3° ↓28.0°	↑21.0° ↓19.6°

SEZ_N_01



Length	Gain
146.3 m	37.6 m
Loss	Min
37.7 m	203.1 m
Max	Avg
236.1 m	225.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑47.3° ↓39.3°	↑24.5° ↓20.3°

SEZ_N_02



Length	Gain
69.6 m	11.4 m
Loss	Min
25.2 m	126.1 m
Max	Avg
149.8 m	135.2 m
Max Slope	Avg Slope
↑32.9° ↓52.4°	↑17.1° ↓29.9°

SEZ_N_03

Length	Gain
191.8 m	22.3 m
Loss	Min
87.6 m	94.4 m
Max	Avg
168.4 m	126.6 m
Max Slope	Avg Slope
↑41.6° ↓44.0°	↑40.4° ↓23.7°

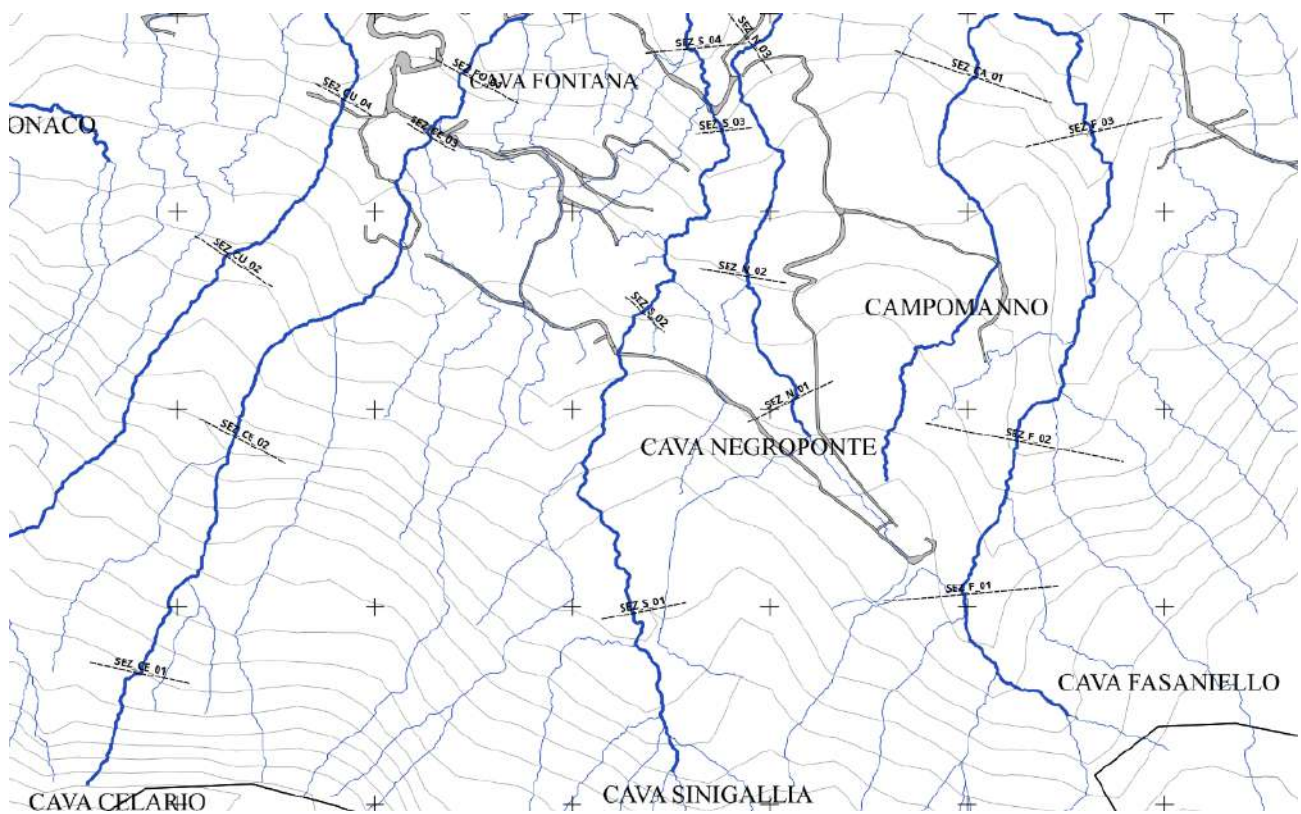
SEZ_N_04

3.6 CAVA SINIGALLIA – CAVA FONTANA- CAVA CELARIO FINO ALLA TOMBATURA

3.6.1 Cava Senigallia fino al tratto tombato



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione

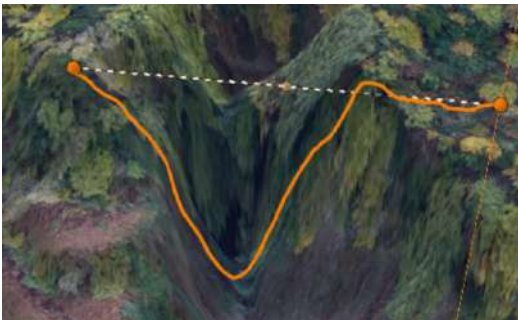


Length	Gain
38.4 m	7.6 m
Loss	Min
16.2 m	357.0 m
Max	Avg
370.0 m	364.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑3.6° ↓35.7°	↑3.6° ↓18.2°

Length	Gain
99.8 m	14.7 m
Loss	Min
38.7 m	238.0 m
Max	Avg
270.9 m	253.5 m
Max Slope	Avg Slope
↑42.3° ↓41.5°	↑21.4° ↓21.6°

SEZ_S_01

SEZ_S_02



Length	Gain
68.2 m	37.2 m
Loss	Min
41.2 m	141.7 m
Max	Avg
178.3 m	165.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑57.0° ↓57.6°	↑38.9° ↓39.6°

SEZ_S_03



Length	Gain
211.2 m	46.6 m
Loss	Min
54.3 m	102.8 m
Max	Avg
140.2 m	123.6 m
Max Slope	Avg Slope
↑45.8° ↓49.7°	↑23.7° ↓20.5°

SEZ_S_04



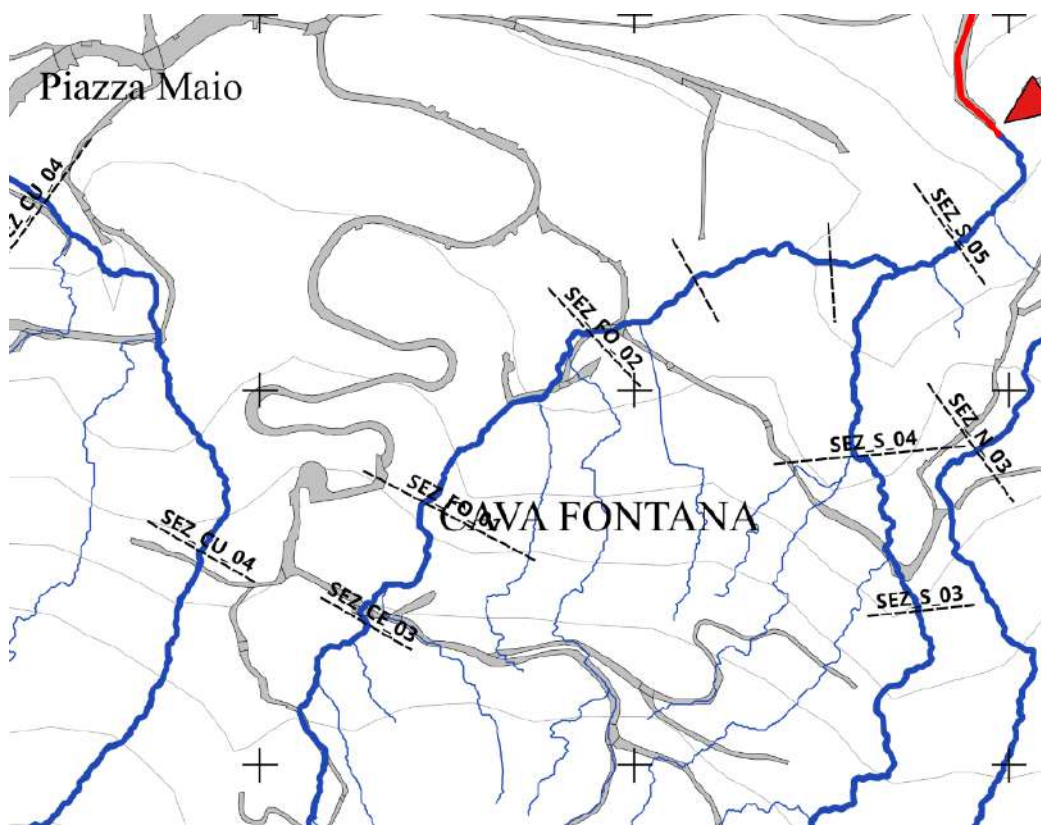
Length	Gain
142.7 m	53.1 m
Loss	Min
65.7 m	47.9 m
Max	Avg
110.1 m	90.3 m
Max Slope	Avg Slope
↑63.8° ↓68.0°	↑25.5° ↓30.3°

SEZ_S_05

3.6.2 Cava Fontana fino a Cava Senigallia



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione





Length	Gain
106.9 m	45.6 m
Loss	Min
43.3 m	131.1 m
Max	Avg
174.2 m	159.7 m
Max Slope	Avg Slope
↑51.2° ↓57.4°	↑30.8° ↓39.7°

SEZ_FO_01



Length	Gain
151.7 m	14.0 m
Loss	Min
38.8 m	111.5 m
Max	Avg
146.5 m	123.3 m
Max Slope	Avg Slope
↑31.7° ↓40.6°	↑14.7° ↓16.8°

SEZ_FO_02



Length	Gain
64.6 m	14.4 m
Loss	Min
19.6 m	96.4 m
Max	Avg
114.6 m	105.9 m
Max Slope	Avg Slope
↑38.0° ↓44.0°	↑14.7° ↓35.9°

SEZ_FO_03



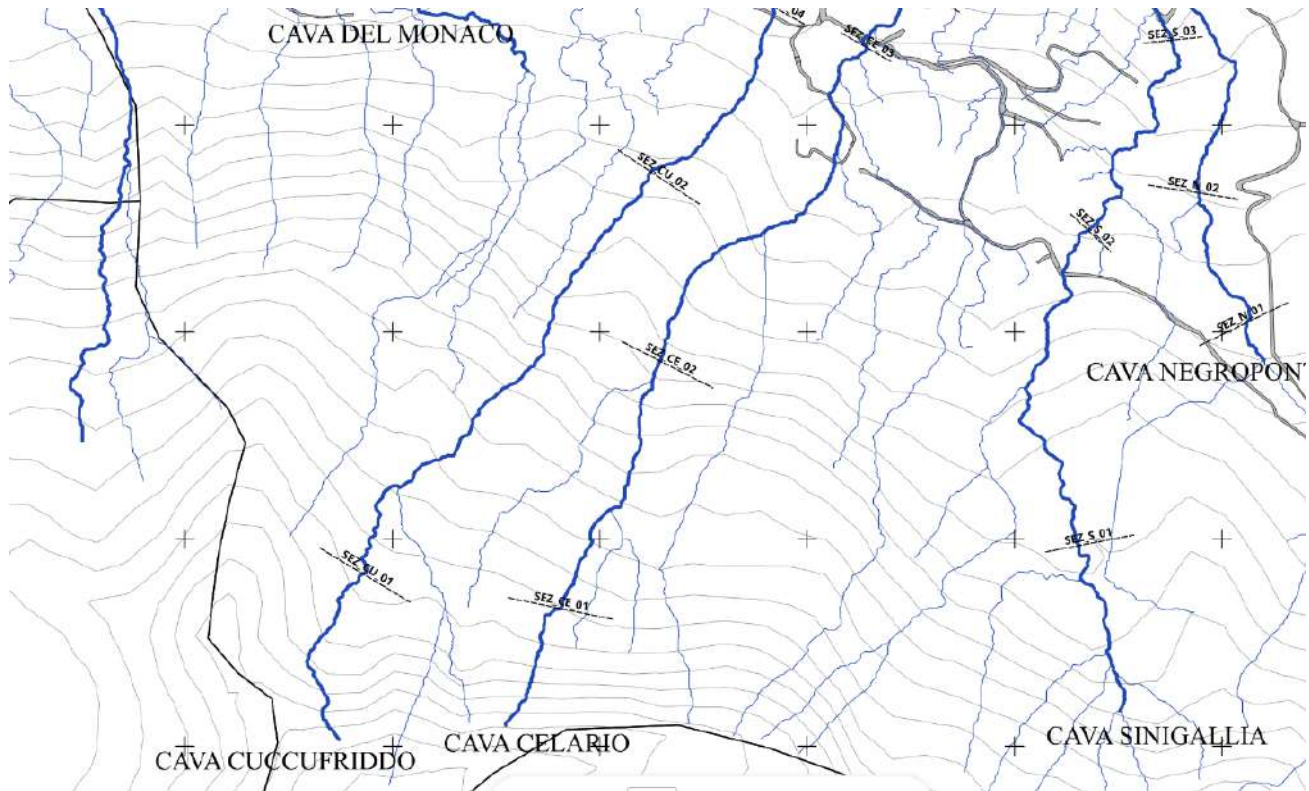
Length	Gain
83.3 m	20.6 m
Loss	Min
29.8 m	85.6 m
Max	Avg
113.8 m	100.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑37.0° ↓50.7°	↑24.9° ↓31.2°

SEZ_FO_04

3.6.3 Cava Celario fino a Cava Fontana



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione





Length	Gain
104.9 m	12.8 m
Loss	Min
15.8 m	606.0 m
Max	Avg
616.7 m	609.7 m
Max Slope	Avg Slope
↑17.0° ↓22.1°	↑8.5° ↓10.3°

SEZ_CE_01



Length	Gain
227.8 m	70.0 m
Loss	Min
43.7 m	396.2 m
Max	Avg
455.8 m	427.3 m
Max Slope	Avg Slope
↑41.2° ↓54.1°	↑18.7° ↓33.3°

SEZ_CE_02



Length	Gain
24.2 m	3.6 m
Loss	Min
4.5 m	203.8 m
Max	Avg
206.8 m	205.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑9.1° ↓2.4°	↑9.1° ↓2.4°

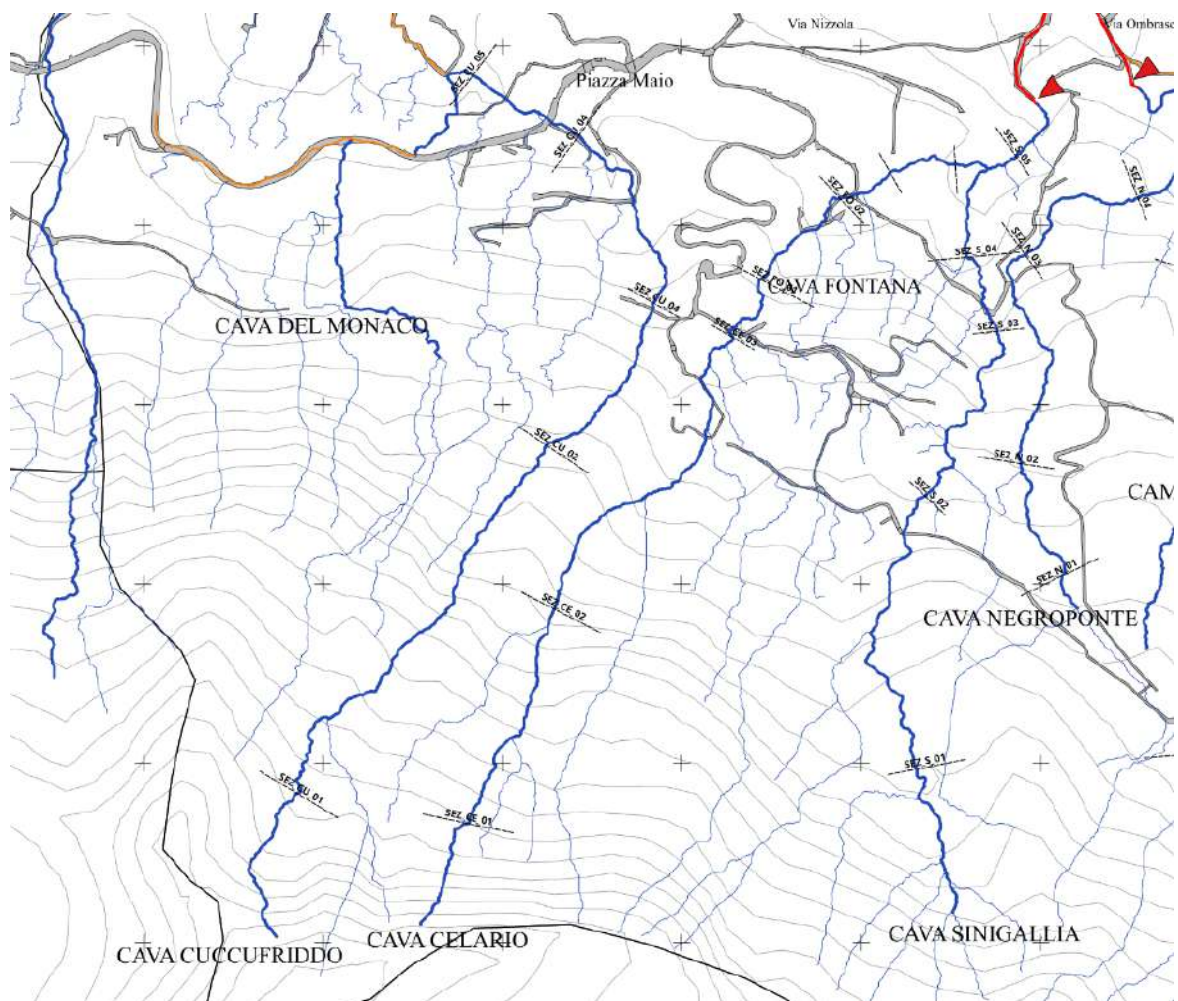
SEZ_CE_03

3.7 CAVA CUCCUFRIDDO – CAVA DEL MONACO – CAVA LA RITA FINO ALLA TOMBATURA

3.7.1 Cava Cuccufriddo fino a Cava La Rita



Profilo Longitudinale



Localizzazione sezione



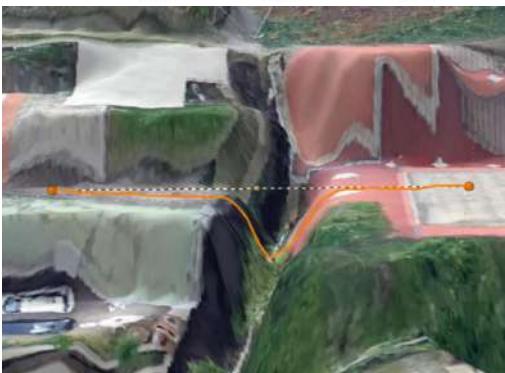
Length	Gain
70.9 m	13.4 m
Loss	Min
15.8 m	547.0 m
Max	Avg
559.2 m	552.9 m
Max Slope	Avg Slope
↑13.8° ↓33.9°	↑5.9° ↓24.2°

SEZ_CU_01



Length	Gain
58.1 m	6.6 m
Loss	Min
7.2 m	315.8 m
Max	Avg
320.2 m	319.0 m
Max Slope	Avg Slope
↑10.4° ↓5.2°	↑5.7° ↓4.4°

SEZ_CU_02



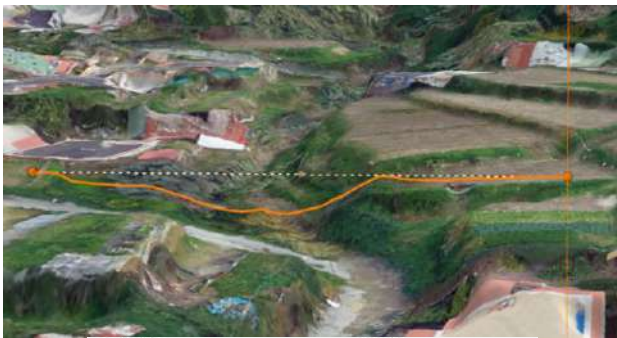
Length	Gain
18.9 m	3.6 m
Loss	Min
3.1 m	188.7 m
Max	Avg
192.2 m	191.4 m
Max Slope	Avg Slope
↑0.9° ↓-	↑0.9° ↓-

SEZ_CU_03



Length	Gain
73.1 m	11.6 m
Loss	Min
19.5 m	110.0 m
Max	Avg
126.9 m	117.1 m
Max Slope	Avg Slope
↑21.0° ↓33.9°	↑20.6° ↓16.8°

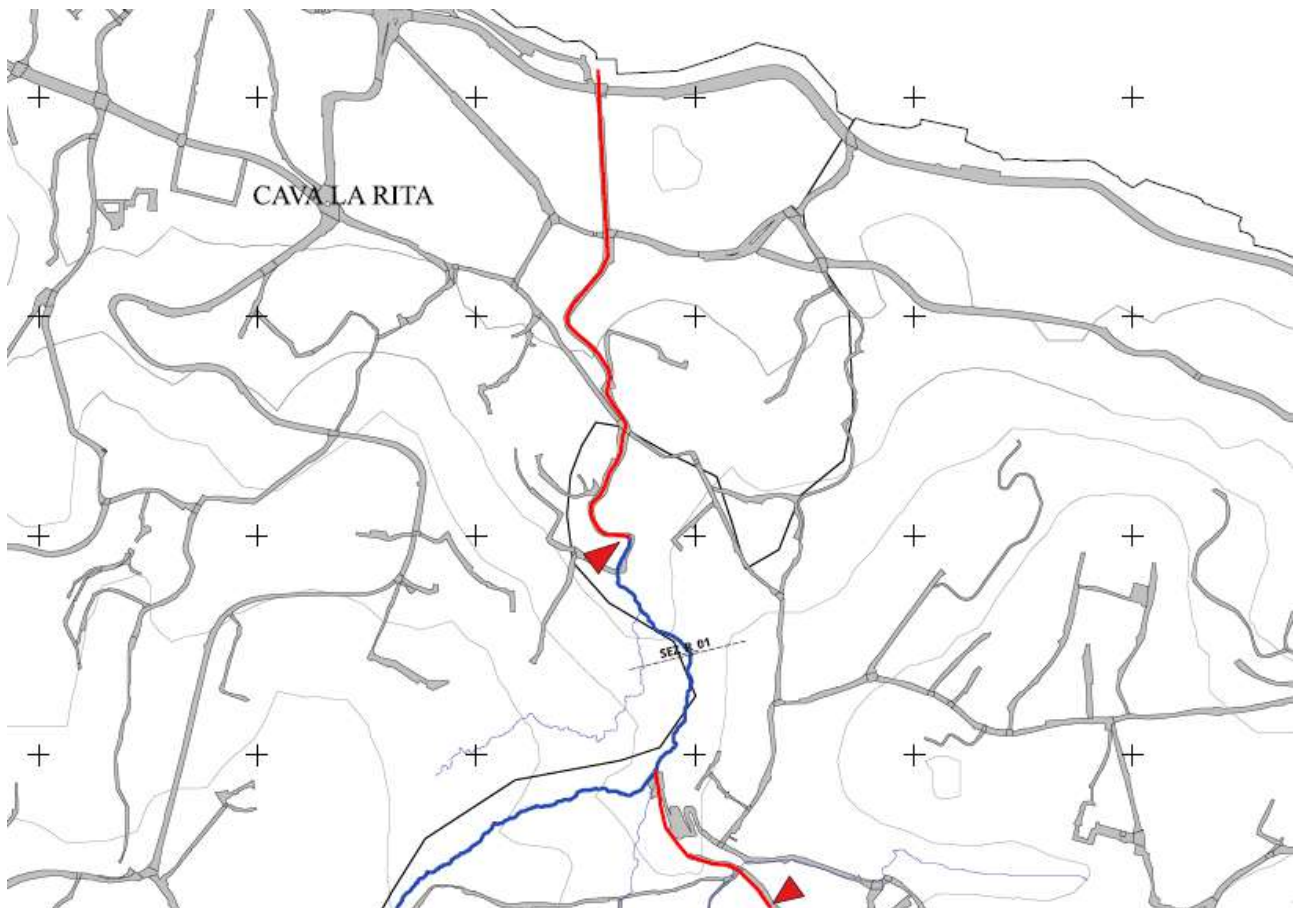
SEZ_CU_04



Length	Gain
50.9 m	4.4 m
Loss	Min
5.0 m	90.4 m
Max	Avg
94.6 m	92.9 m
Max Slope	Avg Slope
↑14.7° ↓10.6°	↑5.4° ↓7.8°

SEZ_CU_05

3.3.2 Cava La Rita fino al tratto tombato



Localizzazione sezione



Length	Gain
70.9 m	13.4 m
Loss	Min
15.8 m	547.0 m
Max	Avg
559.2 m	552.9 m
Max Slope	Avg Slope
↑13.8° ↓33.9°	↑5.9° ↓24.2°

SEZ_CU_01



Length	Gain
58.1 m	6.6 m
Loss	Min
7.2 m	315.8 m
Max	Avg
320.2 m	319.0 m
Max Slope	Avg Slope
↑10.4° ↓5.2°	↑5.7° ↓4.4°

SEZ_CU_02

3.8 TRATTI TOMBATI FINO AL MARE

3.8.1 Generalità

Nei tratti più vallivi, le acque provenienti dalle diverse cave che solcano il territorio comunale di Casamicciola, di parte di Forio d'Ischia e di Lacco Ameno vanno a confluire in alcuni tratti d'alveo, oramai tombati, all'interno dei quali trovano altresì recapito anche i collettori fognari a servizio delle zone più urbanizzate (v. Fig. 3.8.1).

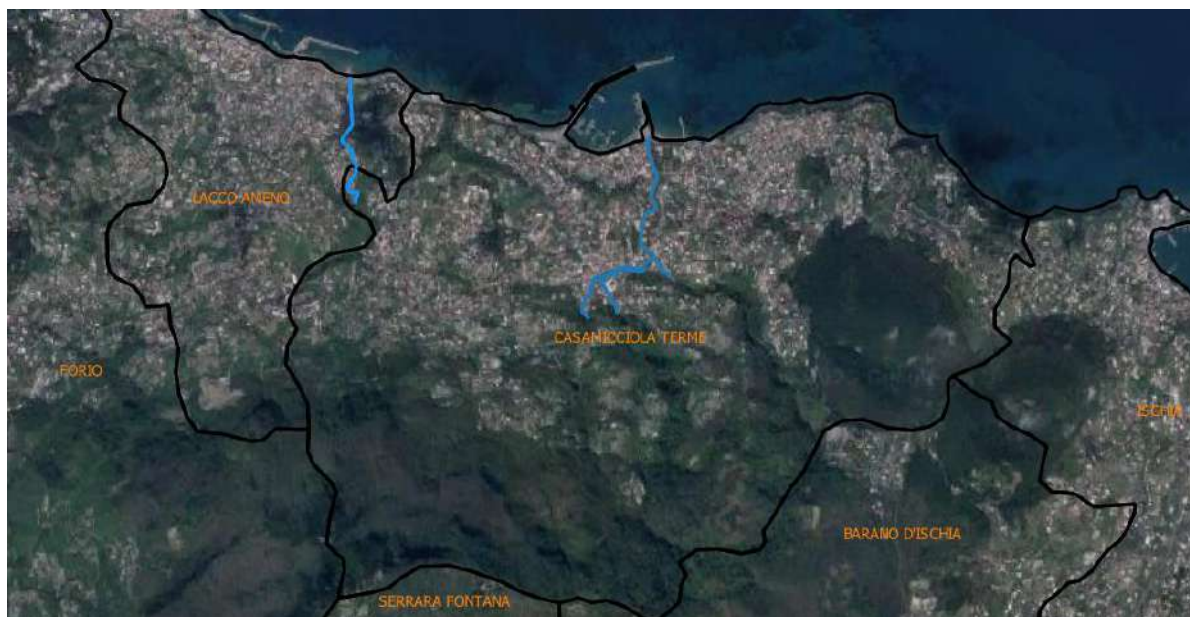


Figura 3.8.1 - *Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio*

Tali tratti tombati costituiscono, allo stato attuale, fonte di notevole preoccupazione, in quanto essi:

- a) sono stati realizzati a tratti, in diversa epoca, via via che il processo di antropizzazione, spingendosi verso i territori pedemontani e montani, spingeva a tombare nuovi tratti più a monte;
- b) presentano forma e dimensioni diversificate lungo il percorso, con pendenze al momento non note ma che, a loro volta, vanno continuamente variando lungo il loro tracciato;
- c) sono realizzati con materiali diversi (alcuni tratti in muratura, con rivestimento cementizio in terno e, in altri tratti, in calcestruzzo armato);
- d) non presentano chiusini e pozzetti in grado di garantire la loro ispezionabilità e la loro manutenzione ordinaria e straordinaria;

- e) in alcuni tratti, recentemente percorsi dall'uomo a seguito dei tragici eventi del 26 novembre 2022, le strutture di questi manufatti appaiono ammalorate, e necessitanti almeno di interventi locali di ripristino dell'efficienza strutturale ed idraulica.

I tratti tombati in parola sono ubicati, rispettivamente, all'interno del Comune di Casamicciola Terme, nella sua zona più valliva, e all'interno del territorio comunale di Lacco Ameno, a valle delle Terme La Rita (Fig. 3.8.2 e 3.8.3).



Figura 3.8.2 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del comune di Casamicciola Terme

Nel tempo, in conseguenza della progressiva e spesso disordinata antropizzazione dei luoghi, non solo si è provveduto al tombamento di alcuni tratti d'alveo ma, addirittura, questi tratti si sono andati via via ramificando verso monte, fino a costituire una vera e propria rete, costituita da tratti principali che, a loro volta, confluiscono, dapprima tra di loro e, poi, all'interno del tratto tombato di Via Monte della Misericordia.

Tale "rete" di collettori è costituita, principalmente, da quattro tratti:

- tratto 1, che interessa Via Nizzola per, poi, proseguire lungo Piazza Bagni;
- tratto 2, che interessa Via Ombrasco per, poi, proseguire lungo Via Giuseppe Garibaldi (Piazza Bagni);
- tratto 3, che interessa parte di Corso Vittorio Emanuele per, poi, congiungersi con gli altri due tratti all'inizio di Via Monte della Misericordia;

- tratto 4, derivante dalla confluenza dei primi tre tratti, che interessa tutta Via Monte della Misericordia fino al mare.

Oltre questa porzione di rete, che interessa l'area di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, lo studio ha riguardato anche il tratto tombato lungo Via Cava (Fig. 3.8.3), al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.



Figura 3.8.3- Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

3.8.2 Studio idraulico

Lo studio idrologico ed idraulico condotto in questa fase delle attività (durante la quale non è stato ancora possibile, vista la ristrettezza dei tempi a disposizione, eseguire i necessari rilievi topografici puntuali e dettagliati), eseguita con l'ausilio del modello numerico SWMM Vers, 5.2.3, ha condotto ad individuare criticità di deflusso solo per portate di rilevante periodo di ritorno (dell'ordine dei 50 anni), ma nelle fasi successive sarà sicuramente necessario approfondire notevolmente il livello di conoscenza di tali collettori.

Nei tratti iniziali, le dimensioni di tali tratti tombati, e la loro configurazione, si presta a facili otturazioni nel caso non solo di trasporto di masse detritiche ma anche nel caso di ingenti flussi iper-concentrati, per cui sarà sicuramente necessario che, nell'immediato futuro, si provveda ad una ristrutturazione degli stessi, munendoli, a monte, di specifiche vasche di deposito e/o di briglie di trattenuta degli arbusti, rami e massi, e più in generale di detriti di notevoli dimensioni, che possono affluire dai bacini a monte.

3.8.3 Schematizzazione rete di drenaggio urbano

La schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa la zona di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia è riportata nella successiva Fig. 3.8.4.

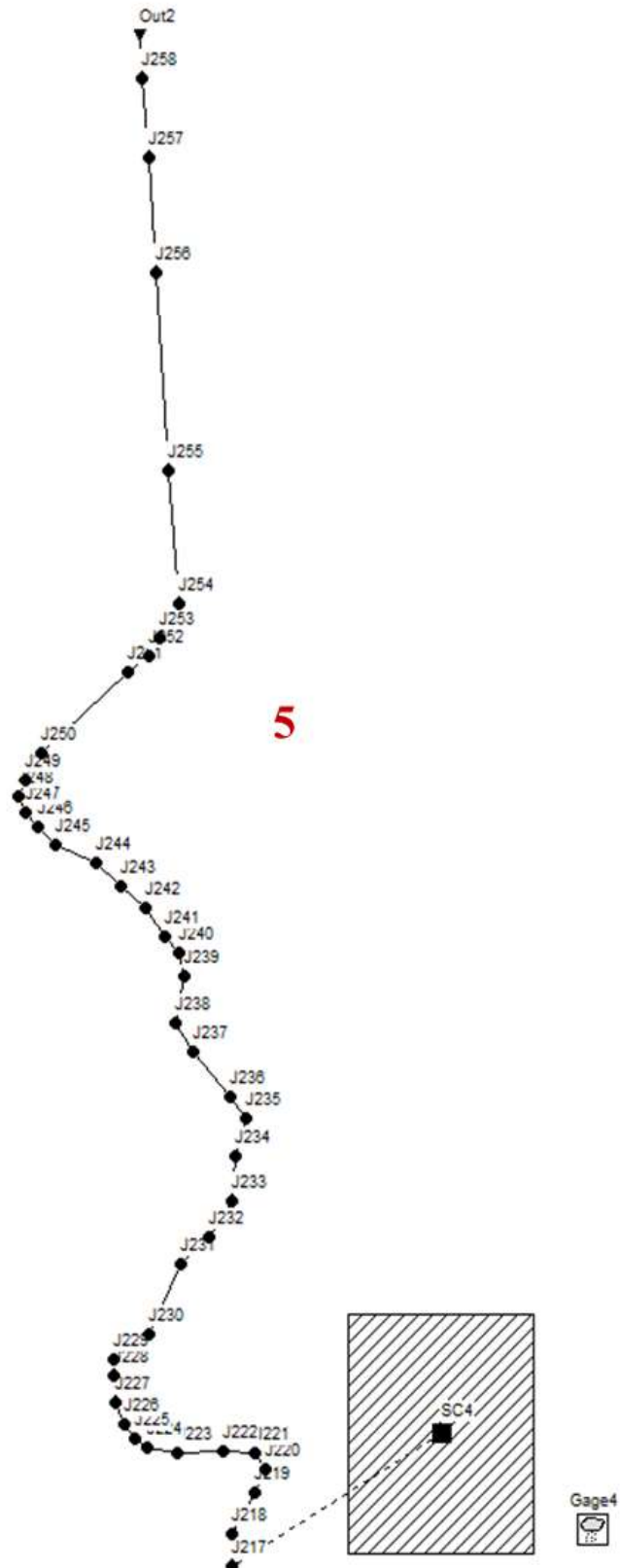


Figura 3.8.5 - Schematizzazione tratto tombato costituente la rete di drenaggio urbano in Via Cava con identificativo dei nodi

Nelle seguenti figure, sono rappresentate le sezioni longitudinali schematiche (determinate in base al DTM 1 x 1 m disponibile a valle dell'evento del 26/11/2022) rispettivamente delle condotte 1-4, ovvero Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 3.8.6), 2-4 ovvero Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 3.8.7), 3-4 ovvero immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 3.8.7), 5 ovvero Via Cava (Fig. 3.6.8)

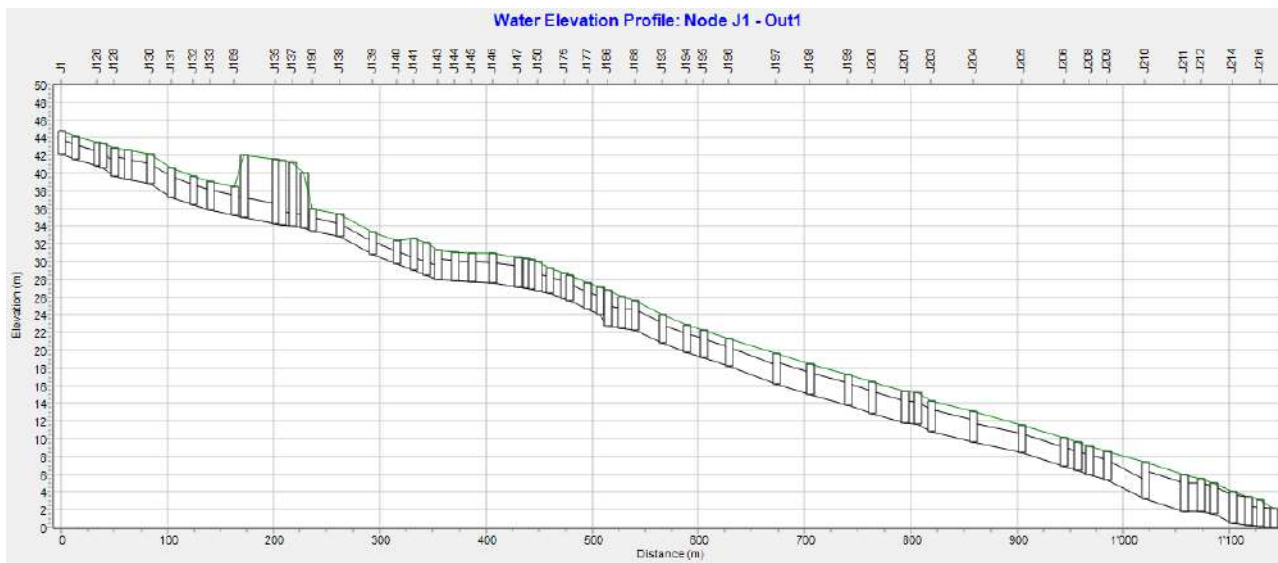


Figura 3.8.5 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

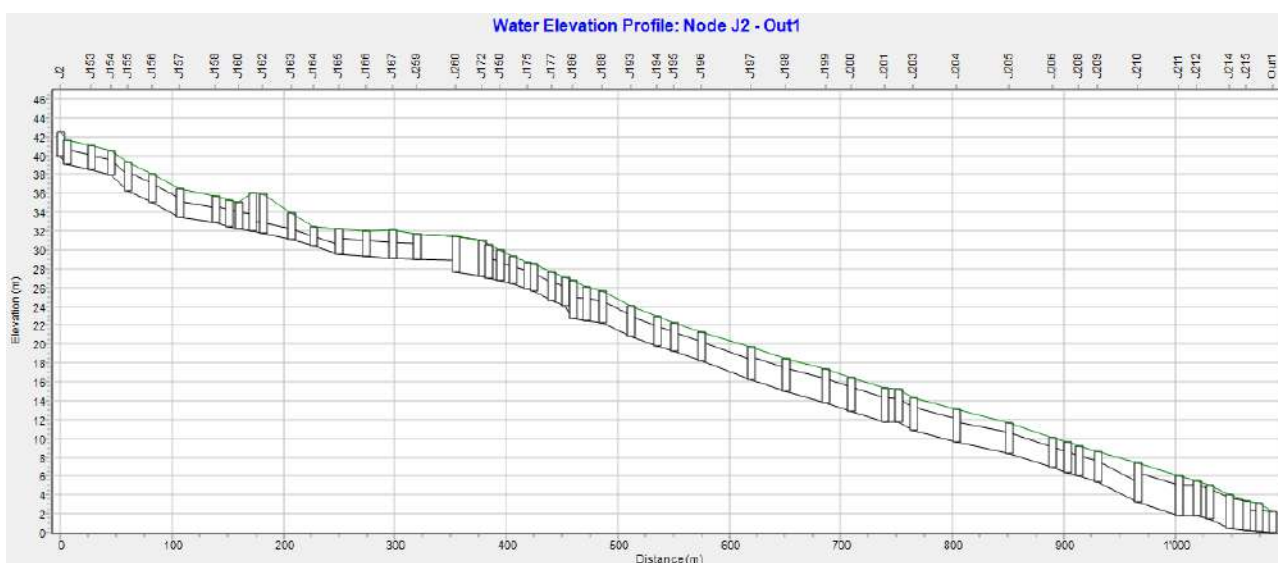


Figura 3.8.6 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

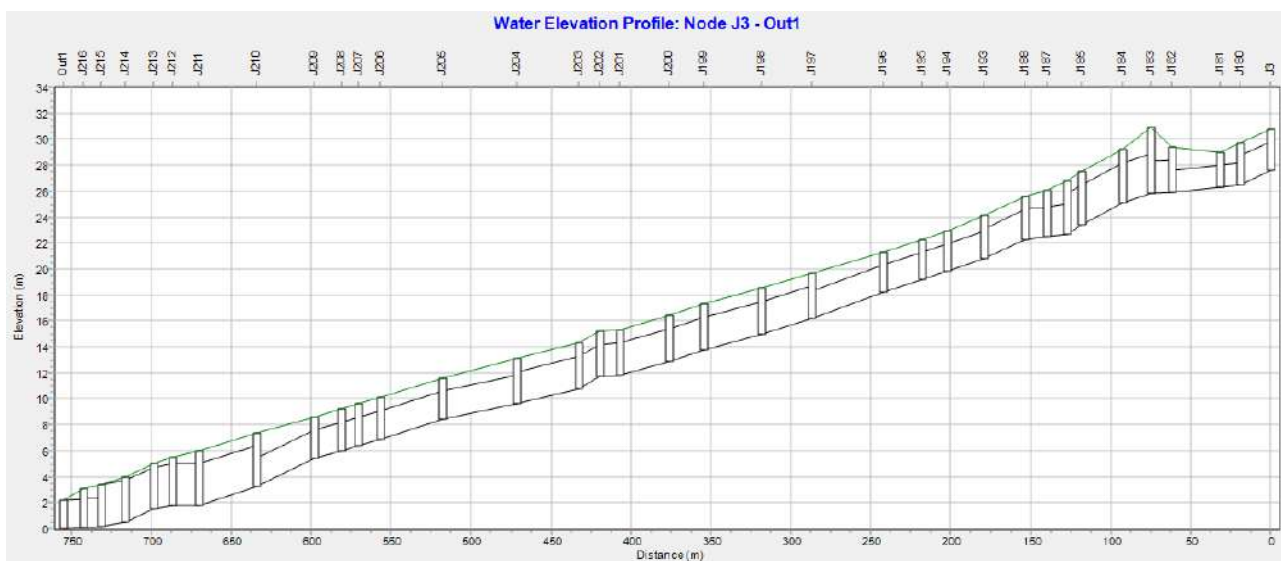


Figura 3.8.7 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

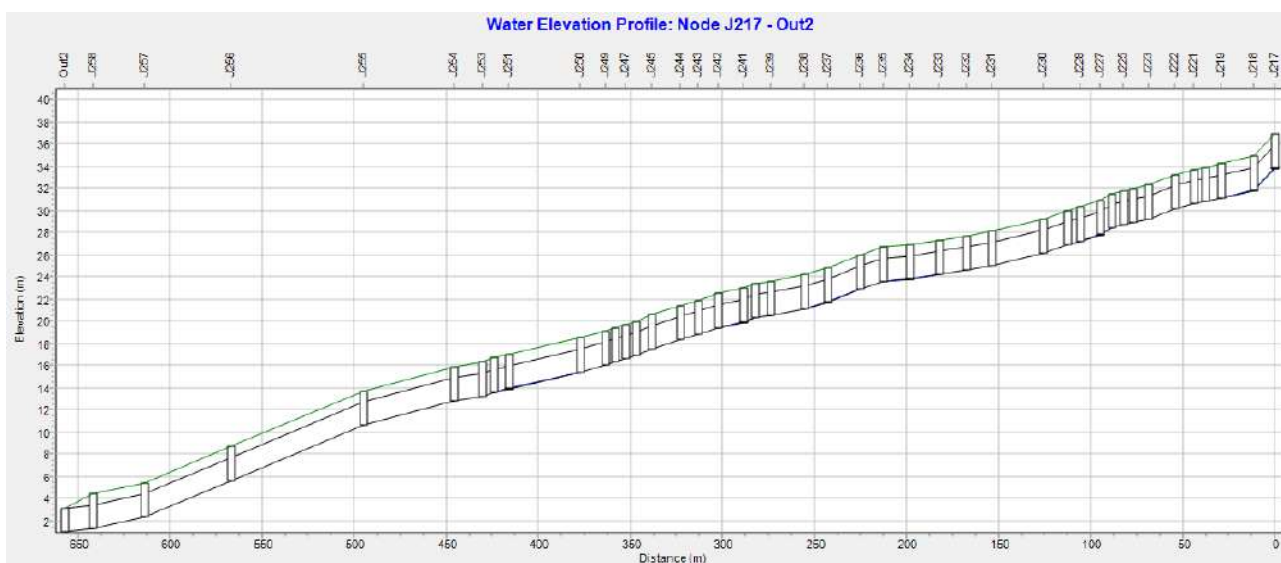


Figura 3.8.8 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

Nella successiva Tabella 3.8.1 sono invece riportati, per ognuno dei tratti (compresi tra due nodi) costituenti i 5 collettori principali, le caratteristiche in termini di speco e lunghezza. Nella Tabella 3.8.2 sono invece riportate le caratteristiche di ciascuno dei nodi considerati.

Tabella 3.8.1 - *Caratteristiche dei tratti di condotta schematizzati*

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C130	J1	J125	RECT_CLOSED	2.8	1.7	13.132
C131	J125	J126	RECT_CLOSED	2.8	1.7	20.747
C132	J126	J127	RECT_CLOSED	2.8	1.7	4.953
C133	J127	J128	RECT_CLOSED	2.8	1.7	10.573
C134	J128	J129	RECT_CLOSED	2.8	2.3	13.22
C135	J129	J130	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C136	J130	J131	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C137	J131	J132	RECT_CLOSED	3.55	2.3	20.246
C138	J132	J133	RECT_CLOSED	3.55	2.3	16.681
C140	J134	J135	RECT_CLOSED	3.55	2.3	29.731
C141	J135	J136	RECT_CLOSED	2.2	1.5	6.059
C142	J136	J137	RECT_CLOSED	2.2	1.5	9.874
C144	J138	J139	RECT_CLOSED	2.2	1.5	30.411
C145	J133	J189	RECT_CLOSED	3.55	2.3	22.613
C146	J189	J134	RECT_CLOSED	3.55	2.3	8.518
C148	J190	J138	RECT_CLOSED	2.2	1.5	26.208
C149	J137	J191	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11.022
C150	J191	J190	RECT_CLOSED	2.2	1.5	8.143
C151	J139	J140	RECT_CLOSED	2.2	1.5	23.201
C152	J140	J141	RECT_CLOSED	2.2	1.5	15.769
C153	J141	J142	RECT_CLOSED	2.2	1.5	12
C154	J142	J143	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11
C155	J143	J144	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.641
C156	J144	J145	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.971
C157	J145	J146	RECT_CLOSED	3.55	2.3	19.354
C158	J146	J147	RECT_CLOSED	3.55	2.3	24.119

C159	J147	J148	RECT_CLOSED	3.55	2.3	7.74
C160	J148	J149	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.031
C161	J149	J150	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.806
C162	J2	J152	RECT_CLOSED	2.5	1.6	5.617
C163	J152	J153	RECT_CLOSED	2.5	1.6	21.673
C164	J153	J154	RECT_CLOSED	2.5	1.6	18.465
C165	J154	J155	RECT_CLOSED	2.5	1.6	14.745
C166	J155	J156	RECT_CLOSED	2.8	2	22.118
C167	J156	J157	RECT_CLOSED	2.8	2	24.326
C168	J157	J158	RECT_CLOSED	2.8	1.6	32.336
C169	J158	J159	RECT_CLOSED	2.4	1.8	11.595
C170	J159	J160	RECT_CLOSED	2.4	1.8	9.23
C171	J160	J161	RECT_CLOSED	2.4	1.8	12.403
C172	J161	J162	RECT_CLOSED	3.3	1.1	8.771
C173	J162	J163	RECT_CLOSED	3.3	1.1	26.075
C174	J163	J164	RECT_CLOSED	3.3	1.1	19.689
C175	J164	J165	RECT_CLOSED	3.3	1.1	22.249
C176	J165	J166	RECT_CLOSED	3	1.7	25.32
C177	J166	J167	RECT_CLOSED	3	1.7	22.822
C183	J172	J173	RECT_CLOSED	3.3	2.1	6.187
C184	J173	J150	RECT_CLOSED	3.3	2.1	10.03
C187	J150	J174	RECT_CLOSED	2.8	1.9	11.58
C188	J174	J175	RECT_CLOSED	2.8	1.9	13.235
C189	J175	J176	RECT_CLOSED	2.8	1.9	5.235
C190	J176	J177	RECT_CLOSED	2.8	1.9	16.819
C191	J177	J178	RECT_CLOSED	3	2	11.945
C192	J178	J186	RECT_CLOSED	3	2	6.928
C193	J3	J180	RECT_CLOSED	3.7	2.2	19.064
C194	J180	J181	RECT_CLOSED	2.8	1.7	12.224
C195	J181	J182	RECT_CLOSED	2.8	1.7	30.631

C196	J182	J183	RECT_CLOSED	2.6	2.5	13.095
C197	J183	J184	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	17.303
C198	J184	J185	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	25.833
C199	J185	J186	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	9.403
C200	J186	J187	RECT_CLOSED	3	2.3	12.386
C201	J187	J188	RECT_CLOSED	3	2.3	13.475
C202	J188	J193	RECT_CLOSED	3	2.3	25.916
C203	J193	J194	RECT_CLOSED	3	2.1	23.13
C204	J194	J195	RECT_CLOSED	3	2.1	15.333
C205	J195	J196	RECT_CLOSED	3	2.1	24.364
C206	J196	J197	RECT_CLOSED	3	2.1	44.646
C207	J197	J198	RECT_CLOSED	3	2.5	31.718
C208	J198	J199	RECT_CLOSED	3	2.5	35.698
C209	J199	J200	RECT_CLOSED	3	2.5	22.194
C210	J200	J201	RECT_CLOSED	3	2.5	30.623
C211	J201	J202	RECT_CLOSED	3	2.5	12.294
C212	J202	J203	RECT_CLOSED	3	2.5	13.061
C213	J203	J204	RECT_CLOSED	3	2.5	39.223
C214	J204	J205	RECT_CLOSED	3	2.2	46.53
C215	J205	J206	RECT_CLOSED	3	2.2	38.867
C216	J206	J207	RECT_CLOSED	3	2.2	13.446
C217	J207	J208	RECT_CLOSED	3	2.2	10.501
C218	J208	J209	RECT_CLOSED	3	2.2	17.132
C219	J209	J210	RECT_CLOSED	3	2.2	35.843
C220	J210	J211	RECT_CLOSED	4.9	3.2	36.52
C221	J211	J212	RECT_CLOSED	4.9	3.2	15.977
C222	J212	J213	RECT_CLOSED	4.9	3.2	11.808
C223	J213	J214	RECT_CLOSED	4.9	3.2	17.897
C224	J214	J215	RECT_CLOSED	4.9	3.2	14.907
C225	J215	J216	RECT_CLOSED	3	2.2	11.17

C227	J216	Out1	RECT_CLOSED	3	2.2	12.729
C228	J217	J218	RECT_CLOSED	2.1	2.1	11.57
C229	J218	J219	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.303
C230	J219	J220	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.734
C231	J220	J221	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.595
C232	J221	J222	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10
C233	J222	J223	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.342
C234	J223	J224	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.561
C235	J224	J225	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.058
C236	J225	J226	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.337
C237	J226	J227	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.554
C238	J227	J228	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.707
C239	J228	J229	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.782
C240	J229	J230	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.946
C241	J230	J231	RECT_CLOSED	2.1	2.1	28.567
C242	J231	J232	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.521
C243	J232	J233	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.628
C244	J233	J234	RECT_CLOSED	2.1	2.1	16.021
C245	J234	J235	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.589
C246	J235	J236	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.248
C247	J236	J237	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.631
C248	J237	J238	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.591
C249	J238	J239	RECT_CLOSED	2.1	2.1	18.358
C250	J239	J240	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.95
C251	J240	J241	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.099
C252	J241	J242	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.432
C253	J242	J243	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.871
C254	J243	J244	RECT_CLOSED	2.1	2.1	9.816
C255	J244	J245	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.812
C256	J245	J246	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.546

C257	J246	J247	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.333
C258	J247	J248	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.015
C259	J248	J249	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.031
C260	J249	J250	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.668
C261	J250	J251	RECT_CLOSED	2.1	2.1	39.222
C262	J251	J252	RECT_CLOSED	2.1	2.1	7.558
C263	J252	J253	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.526
C264	J253	J254	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.247
C265	J254	J255	RECT_CLOSED	2.1	2.1	49.472
C266	J255	J256	RECT_CLOSED	4.4	2.1	72
C267	J256	J257	RECT_CLOSED	4.4	2.1	46.479
C268	J257	J258	RECT_CLOSED	4.9	2.1	28.256
C269	J258	Out2	RECT_CLOSED	4.9	2.1	15.41
C270	J167	J259	RECT_CLOSED	3	1.7	22.38
C271	J259	J260	RECT_OPEN	3	2.65	35
C272	J260	J172	RECT_OPEN	3.8	3.85	23

Tabella 3.8.2 - *Caratteristiche dei nodi schematizzati in SWMM: ID, Invert Elevation e Max Depth di ogni nodo*

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J1	42.1	2.7
J2	39.9	2.6
J3	27.6	3.2
J125	41.5	2.7
J126	40.8	2.7
J127	40.6	2.7
J128	39.6	3.3
J129	39.3	3.3
J130	38.8	3.3

J131	37.3	3.3
J132	36.4	3.3
J133	35.8	3.3
J134	35	7
J135	34.3	7.2
J136	34.2	7.2
J137	34	7.2
J138	32.8	2.5
J139	30.8	2.5
J140	29.75	2.65
J141	29	3.6
J142	28.5	3.6
J143	28	3.3
J144	27.8	3.3
J145	27.7	3.3
J146	27.6	3.3
J147	27.2	3.3
J148	27	3.3
J149	26.9	3.3
J150	26.7	3.3
J152	39	2.6
J153	38.5	2.6
J154	37.9	2.6
J155	36.3	3
J156	35	3
J157	33.5	3
J158	32.9	2.8
J159	32.4	2.8
J160	32.2	2.8
J161	32	4

J162	31.8	4.1
J163	31.1	2.8
J164	30.4	2.1
J165	29.5	2.7
J166	29.3	2.7
J167	29.1	3
J172	27.15	3.85
J173	27	3.6
J174	26.4	2.9
J175	25.8	2.9
J176	25.6	2.9
J177	24.6	3
J178	24.1	3
J180	26.5	3.2
J181	26.3	2.7
J182	25.9	3.5
J183	25.8	5.1
J184	25.1	4.1
J185	23.4	4.1
J186	22.7	4.1
J187	22.5	3.6
J188	22.3	3.3
J189	35.2	3.3
J190	33.5	2.5
J191	33.8	6.2
J193	20.8	3.3
J194	19.8	3.1
J195	19.2	3.1
J196	18.2	3.1
J197	16.2	3.5

J198	15	3.5
J199	13.8	3.5
J200	12.9	3.5
J201	11.8	3.5
J202	11.7	3.5
J203	10.8	3.5
J204	9.6	3.5
J205	8.4	3.2
J206	6.9	3.2
J207	6.4	3.2
J208	6	3.2
J209	5.4	3.2
J210	3.2	4.2
J211	1.8	4.2
J212	1.8	3.7
J213	1.5	3.5
J214	0.5	3.5
J215	0.2	3.2
J216	0.1	3
J217	33.8	3.1
J218	31.8	3.1
J219	31.1	3.1
J220	30.8	3.1
J221	30.6	3.1
J222	30.1	3.1
J223	29.2	3.1
J224	28.9	3.1
J225	28.7	3.1
J226	28.4	3.1
J227	27.8	3.1

J228	27.2	3.1
J229	26.9	3.1
J230	26.1	3.1
J231	25	3.1
J232	24.6	3.1
J233	24.2	3.1
J234	23.8	3.1
J235	23.6	3.1
J236	22.9	3.1
J237	21.7	3.1
J238	21.1	3.1
J239	20.5	3.1
J240	20.3	3.1
J241	19.9	3.1
J242	19.4	3.1
J243	18.8	3.1
J244	18.3	3.1
J245	17.5	3.1
J246	16.9	3.1
J247	16.6	3.1
J248	16.3	3.1
J249	16	3.1
J250	15.4	3.1
J251	13.9	3.1
J252	13.6	3.1
J253	13.2	3.1
J254	12.8	3.1
J255	10.6	3.1
J256	5.6	3.1
J257	2.3	3.1

J258	1.3	3.1
J259	29	2.65
J260	27.65	3.85

3.9 CORNICE SOMMITALE

3.9.1 Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio

Esposizione: Nord-Ovest, Nord, Nord-Est – prevalente Nord

Altitudine: max:784 m s.l.m. e min:424 m s.l.m.

Pendenza: media:36° e max:72°

Superficie: 30.8446 ha

Descrizione: Questa tipologia forestale ricopre il precipizio, le pareti e la parte basale più acclive (> 70°) dell'esteso anfiteatro dell'Epomeo. Si tratta di dirupi a pareti verticali o subverticali intercalati in modo discontinuo a strette e brevi cenge presenti lungo tutto l'anfiteatro. Le pareti di tufo vulcanico più acclivi sono prive di vegetazione e localmente incise dalle acque meteoriche. L'alluvione del 26 novembre 2022 ha sradicato tutti gli alberi e il poco suolo presenti sulla testata dell'impluvio del Celario generando una scorticatura che dal precipizio si amplia a ventaglio nella parte basale. Altrove, le pareti tufacee non disturbate da eccessivo scorrimento di acque meteoriche superficiali o da piccoli crolli, sono rivestite da densi tappeti di muschi o ricoperte da edera a fusto prostrato. L'incidenza dello sradicamento di alberi e grossi arbusti di erica arborea e corbezzolo, sia vivi che morti, in questa tipologia forestale varia fra il 10% e il 20%.

Gli alberi ubicati in posizione rupestre e alla base delle rupi sono le latifoglie decidue di roverella, castagno, carpino nero e orniello, nonché il sempreverde leccio. Nella gran parte dei casi l'habitus è multiasse, indicativo dell'origine da ceppaia dei fusti tagliati dall'uomo l'ultima volta, circa 50-70 anni addietro. Alberi monoasse, anche di grandi dimensioni, vegetano nei tratti meno acclivi (es. roverella), mentre le pareti molto acclivi, spesso fessurate, sono state colonizzate quasi esclusivamente da leccio a portamento molto contorto (Figura 1).



Foto 3.13.1: Leccio policormico con chioma asimmetrica in posizione rupestre con radici ancorate nelle fenditure della rupe (sinistra). A destra, ceppaia di carpino nero e orniello stradicata dall'evento del 22 novembre 2022 che mette in luce assenza di fittone e radici sub-superficiali disposte sul piano orizzontale (profondità <25 cm) lungo curve di livello.

La profondità del suolo, o comunque di un substrato detritico alla base delle rupi, è molto esigua, mai superiore a 20-30 cm, a cui succede in profondità la roccia tufacea molto compatta, impenetrabile per le radici. Pertanto, in questi substrati gli apparati radicali di tutte le specie di alberi e arbusti presenti sono costituiti da radici sub-superficiali ad andamento plagiotropo con fittone atrofizzato, o ancorate sulla pendice a “trampoli” esposti all’aria a causa dell’erosione.

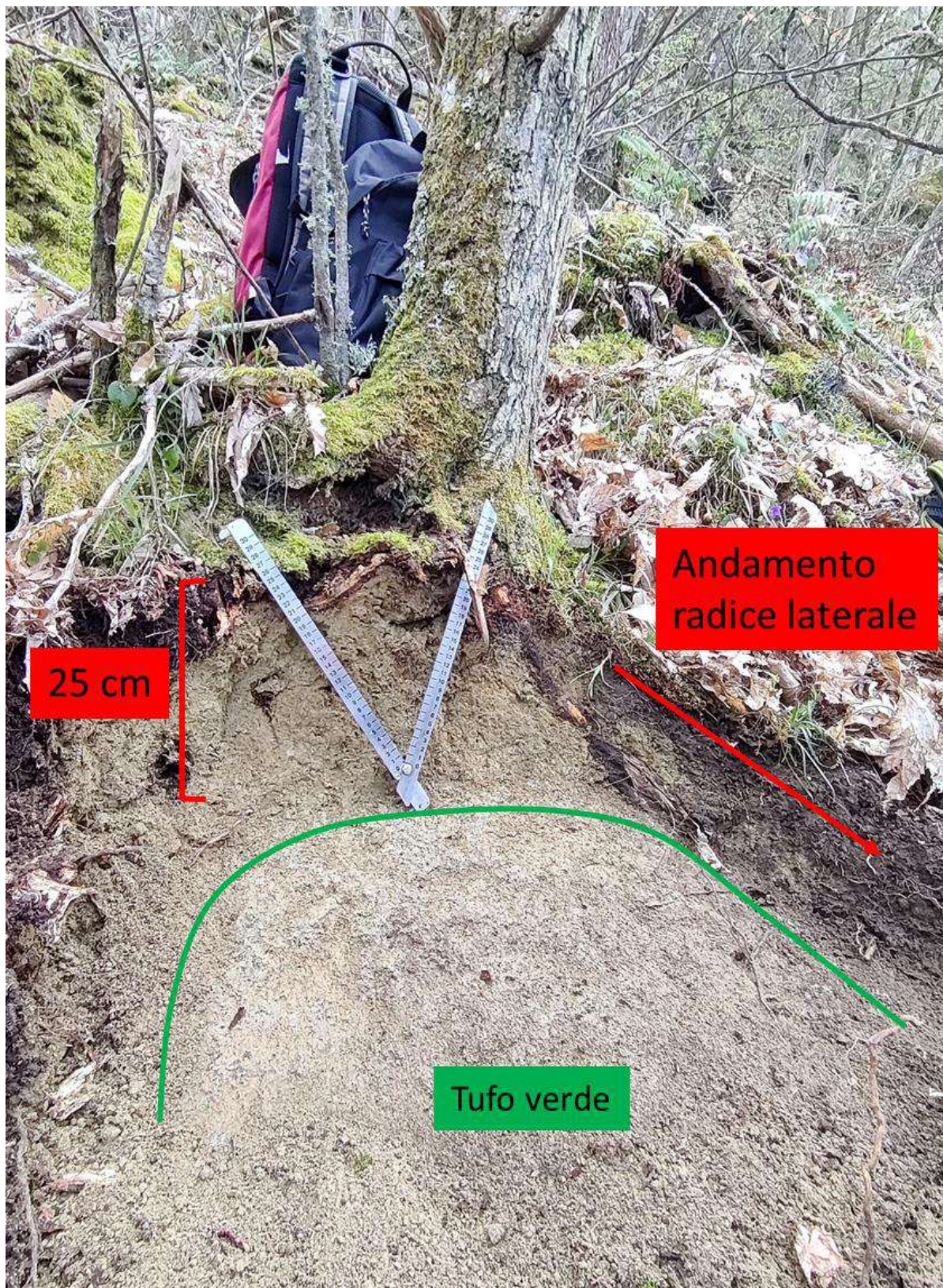


Foto 3.13.2: Ceppaia di castagno nella formazione a ceduo non gestito ed in evoluzione a orno-ostrieto. L'apparato radicale è confinato nei primi 25 cm di suolo e non penetra nel substrato compatto a tufo verde.

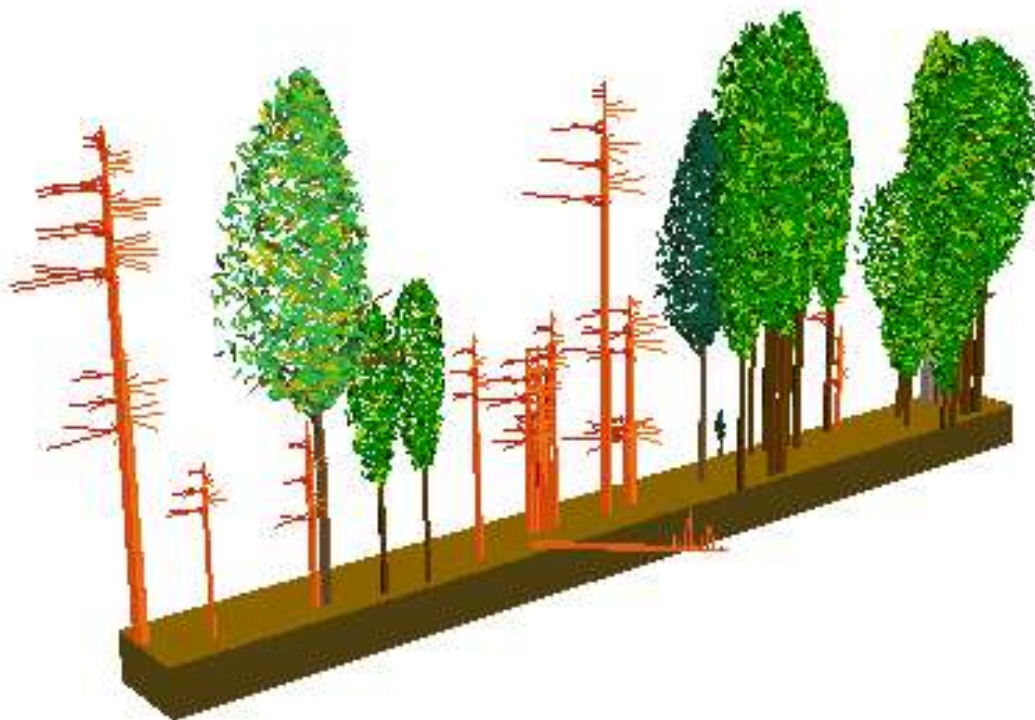


Figura 1. Rappresentazione grafica tridimensionale di un tratto di soprassuolo rappresentativo della struttura del bosco misto ubicato in posizione rupestre. Gli alberi con chioma verde sono rappresentati da carpino nero, orniello, roverella, castagno e leccio (in verde scuro). In marrone chiaro gli alberi di castagno morti in piedi e al suolo. L'altezza degli alberi varia da 8,3 m (leccio) a 15,0 m (roverella). Le dimensioni medie del diametro dei fusti degli alberi vivi a 1,30 m di altezza variano da 14 cm (leccio) a 30 cm (roverella).

3.9.2 Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto

Esposizione: Nord, Nord-Est

Altitudine: max 674 m s.l.m. e min 237 m s.l.m.

Pendenza: media: 29° e max: 60°

Superficie: 64.5677 ha

Descrizione: Alla vegetazione arborea rupestre succede, scendendo di quota, questa tipologia forestale diffusa alle quote inferiori anche in alcuni impluvi morfologicamente più marcati. L'acclività delle pendici è meno accentuata rispetto alla tipologia precedente. Circostanza che ha favorito la sostituzione dell'originario bosco meso-xerofilo di carpino nero e orniello con un ceduo di castagno di origine antropica. Il servizio ecosistemico di approvvigionamento di paleria agricola, utilizzata soprattutto nella coltivazione della vite, nella seconda metà del secolo scorso è divenuto progressivamente sempre più marginale a causa della loro non facile accessibilità. In conseguenza, la ceduzione è stata interrotta circa 50 anni addietro. L'attuale fisionomia è quella di un ceduo costituito da ceppaie con 2-3 polloni di grosse dimensioni diametriche (diametro medio 19 cm, altezza media 15,5 m) che sovrastano polloni vivi e morti in piedi di dimensioni molto più ridotte

(diametro medio 10 cm, altezza media 8,2 m). L'interruzione della ceduazione ha favorito i fenomeni naturali di mortalità causati dalla competizione per le risorse (autodiradamento) fra i polloni presenti sulla stessa ceppaia e dal cancro corticale del castagno. L'incidenza della mortalità riguarda il 59% dei fusti censiti nel ceduo. Le poche matricine presenti appartengono alle specie del bosco autoctono, originariamente rappresentato da carpino nero e orniello. Queste piante portaseme hanno generato abbondante e diffusa rinnovazione. L'incidenza dello sradicamento delle ceppaie di castagno è stimato inferiore al 10%.

3.9.3 Ceduo di castagno non gestito

Esposizione: Nord-Ovest, Nord

Altitudine: max 733 m s.l.m. e min 320 m s.l.m.

Pendenza: media: 24° e max: 64°

Superficie: 103.3051 ha

Descrizione: La tipologia forestale è sostanzialmente simile a quelle indicata e cartografata come “ Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto”. L'elemento che accomuna le due tipologie è l'interruzione della ceduazione avvenuta almeno 50 anni addietro, mentre il più importante elemento differenziale è strettamente connesso con una maggiore profondità del suolo esplorato dalle radici, non meno di 70 cm. In questi cedui gli effetti del rinforzo delle radici sulla stabilità delle pendici è più efficace. Tuttavia, anche per questi soprassuoli si presume presente una discontinuità fisico-meccanica fra radici e substrato roccioso, almeno dove questo è rappresentato da roccia tufacea compatta “tufo verde”.

La maggiore profondità del suolo esplorato dalle radici si desume indirettamente anche dalla maggiore altezza media delle piante del soprassuolo rispetto al ceduo di castagno che vegeta su suolo meno profondo (17,4 contro 13,8 m).

Le dinamiche gestionali e i servizi ecosistemici sono sostanzialmente simili alla precedente tipologia di castagneto ceduo, sebbene in questa tipologia siano stati rinvenuti, fra il Celario e il Cuccufriddo, manufatti in tufo a secco in corrispondenza di rocce emergenti e sottostanti grotte scavate nella roccia e strutturate secondo funzioni, comunicanti con il manufatto sovrastante. Questi manufatti fanno ipotizzare altri usi del castagneto oltre semplice approvvigionamento di paleria agricola.

L'attuale fisionomia è quella di un ceduo costituito da ceppaie con 2-3 polloni di grosse dimensioni diametriche (diametro medio 17 cm, altezza media 17,4 m) che sovrastano polloni vivi e morti in piedi di dimensioni molto più ridotte (diametro medio 6,5 cm, altezza media 9,4 m).

4. MODELLAZIONI PRELIMINARI

4.1 MODELLAZIONE DELLE FRANE DA CROLLO

4.1.1 Introduzione

Nella presente parte del Piano di Interventi, viene effettuata una valutazione preliminare degli effetti derivanti da eventuali fenomeni di crollo che potrebbero verificarsi nel settore centrale e settentrionale del Monte Epomeo.

Ai fini della stima della suscettibilità all'innesco, al transito e all'invasione di frane da crollo in roccia nel settore centrale del versante settentrionale del Monte Epomeo sono state eseguite specifiche analisi numeriche semplificate sulla base dei dati derivati dalle osservazioni di sito e del modello digitale del terreno ad alta risoluzione (1 x 1 m), sviluppato a partire dai dati LiDAR acquisiti a seguito dell'evento del 26/11/2022. Le osservazioni di sito eseguite durante specifici sopralluoghi hanno indicato come nel settore superiore del versante vi siano blocchi di forma e volumetria variabile coinvolti in frane da crollo in roccia. In alcuni casi, essi giacciono lungo i settori di versante maggiormente acclivi e/o alla base di scarpate subverticali, anche trattenuti da vegetazione di alto fusto. In altri casi, detti blocchi sono situati in zone poco acclivi poste a distanza anche significativa dai settori di versante in cui sussistono condizioni potenziali di suscettibilità all'innesco.

Dal punto di vista dimensionale, tali blocchi presentano volumi variabili da alcuni metri cubi a diverse decine di metri cubi. Localmente sono osservabili blocchi ciclopici caratterizzati da volumetrie dell'ordine di centinaia di metri cubi. La forma dei blocchi è significativamente variabile da rettangolare e ellissoidale/sferica, fino a discoidale.

Dal punto di vista metodologico, l'identificazione preliminare delle aree suscettibili all'innesco di frane da crollo in roccia è stata eseguita attraverso un approccio semplificato in ambiente GIS guidato dalle osservazioni di sito. In particolare, anche attraverso il supporto di aeromobili a pilotaggio remoto, sono state osservate condizioni di potenziale distacco di blocchi legati alle caratteristiche delle formazioni affioranti (blocchi in matrice e roccia fratturata) in corrispondenza di scarpate sub-verticali e settori di versante maggiormente acclivi. Pertanto, sono state considerate suscettibili all'innesco tutte le aree con acclività superiore a 60°.

La suscettibilità al transito e all'invasione è stata analizzata attraverso l'utilizzo di un modello deterministico/probabilistico implementato nel software RockyFor3D. Tale modello, utilizzando un modello digitale del terreno ad alta risoluzione, un modello di rugosità della superficie del versante

e un modello parametrico di substrato, unitamente alle dimensioni, densità del materiale e forma dei blocchi, permette di stimare le traiettorie di propagazione dei fenomeni. Di particolare significato ai fini dell'analisi è la possibilità di considerare l'effetto della vegetazione sulla propagazione. Infatti, buona parte del settore superiore del versante settentrionale del Monte Epomeo è caratterizzata dalla presenza di alberi di specie diverse. Considerando la densità, il diametro e la specie, il modello permette di incorporare l'effetto degli impatti con gli alberi nella previsione. Parametri come il volume, i coefficienti di restituzione, la posizione, il diametro associato al singolo albero ecc..., vengono trattati in modo probabilistico. In tal senso, per ogni cella del modello di suscettibilità all'innescò sono stati eseguiti cento lanci ad ognuno dei quali il modello assegna in automatico e randomico una parametrizzazione specifica.

I risultati della modellazione di propagazione consistono in mappe *raster* utili alla definizione della suscettibilità al transito e all'invasione, nonché indicative della velocità di propagazione, dell'energia cinetica, dell'altezza di rimbalzo e dell'interazione con la vegetazione.

Le figure 4.1.1 e 4.1.2 rappresentando il numero di passaggi per ogni cella del modello di calcolo classificati secondo uno schema logaritmico in falsi colori, forniscono una prospettiva in termini di suscettibilità al transito e all'invasione da frane da crollo in roccia per il settore centrale del versante settentrionale del Monte Epomeo in relazione a fenomeni di propagazione di blocchi di volume compreso tra 0.6 e 2 m³ e 8 e 22 m³, rispettivamente. La definizione di tali scenari in termini di blocco di progetto è stata eseguita sulla base dell'analisi statistica delle tre dimensioni dei blocchi misurati in sito su una popolazione statisticamente significativa. Ai fini della valutazione sono stati considerati le dimensioni medie e quelle massime registrate. Le figure 4.1.1 e 4.1.2 mostrano, in particolare, come le aree suscettibili all'innescò siano distribuite in tutto il settore di versante analizzato e, in casi specifici anche in prossimità della costa o lungo le linee di drenaggio principali.

La suscettibilità al transito è maggiore lungo le linee di drenaggio soprattutto nei settori più prossimi alle aree di distacco, con eccezione dell'area interessata dalla frana principale dove la vegetazione è stata rimossa dal fenomeno e la propagazione non è influenzata dalla stessa. Lo scenario caratterizzato da un volume del blocco di progetto più elevato si presenta generalmente maggiormente gravoso in termini di suscettibilità anche in relazione alla maggiore suscettibilità al transito nelle porzioni intermedie del versante e in corrispondenza del costruito.

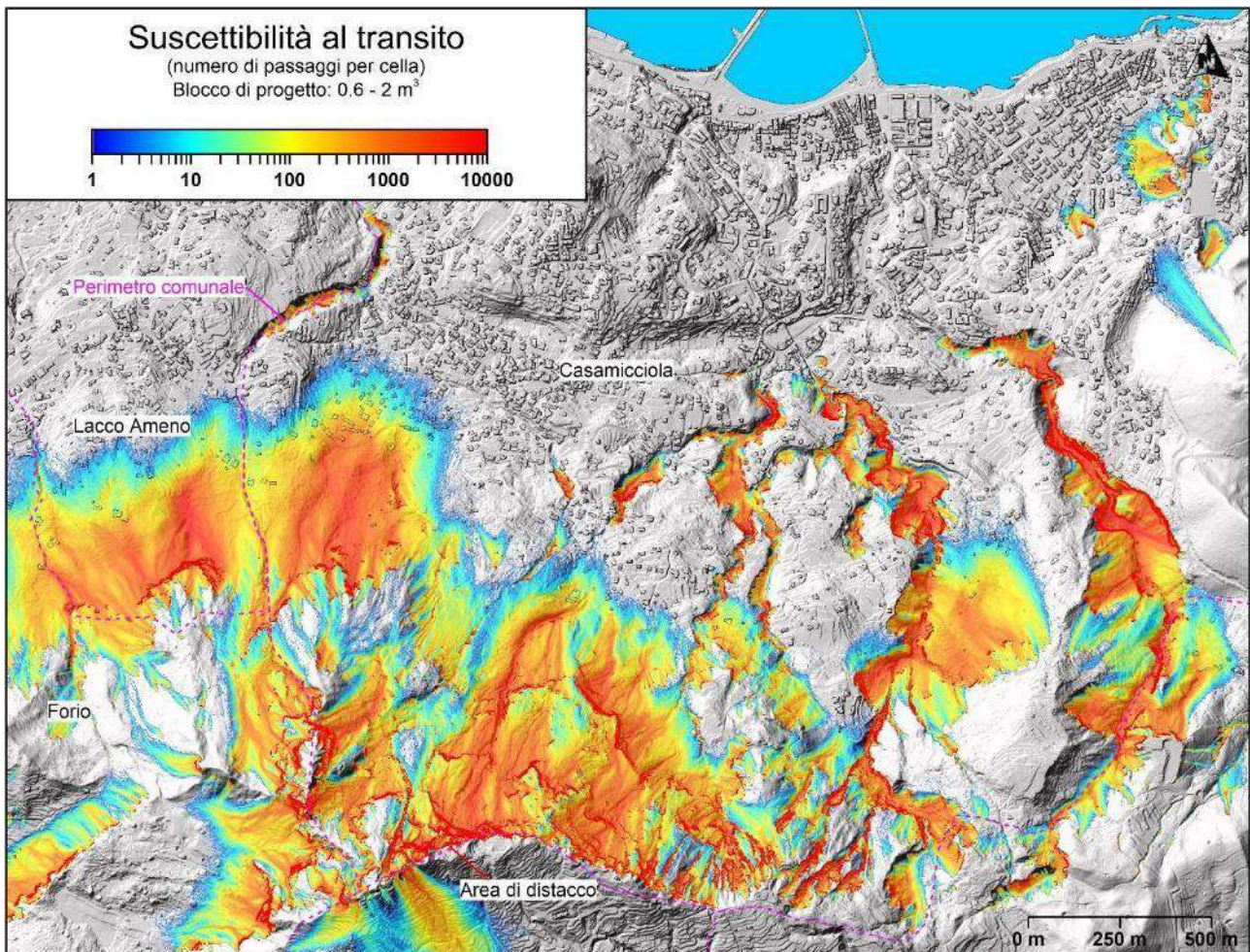


Figura 4.1.1 - Carta della suscettibilità al transito da frane da crollo in roccia. Le aree in rosso rappresentano le aree suscettibili all'innesco. Scenario: blocco di progetto con volume variabile da 0,6 a 2 m³.

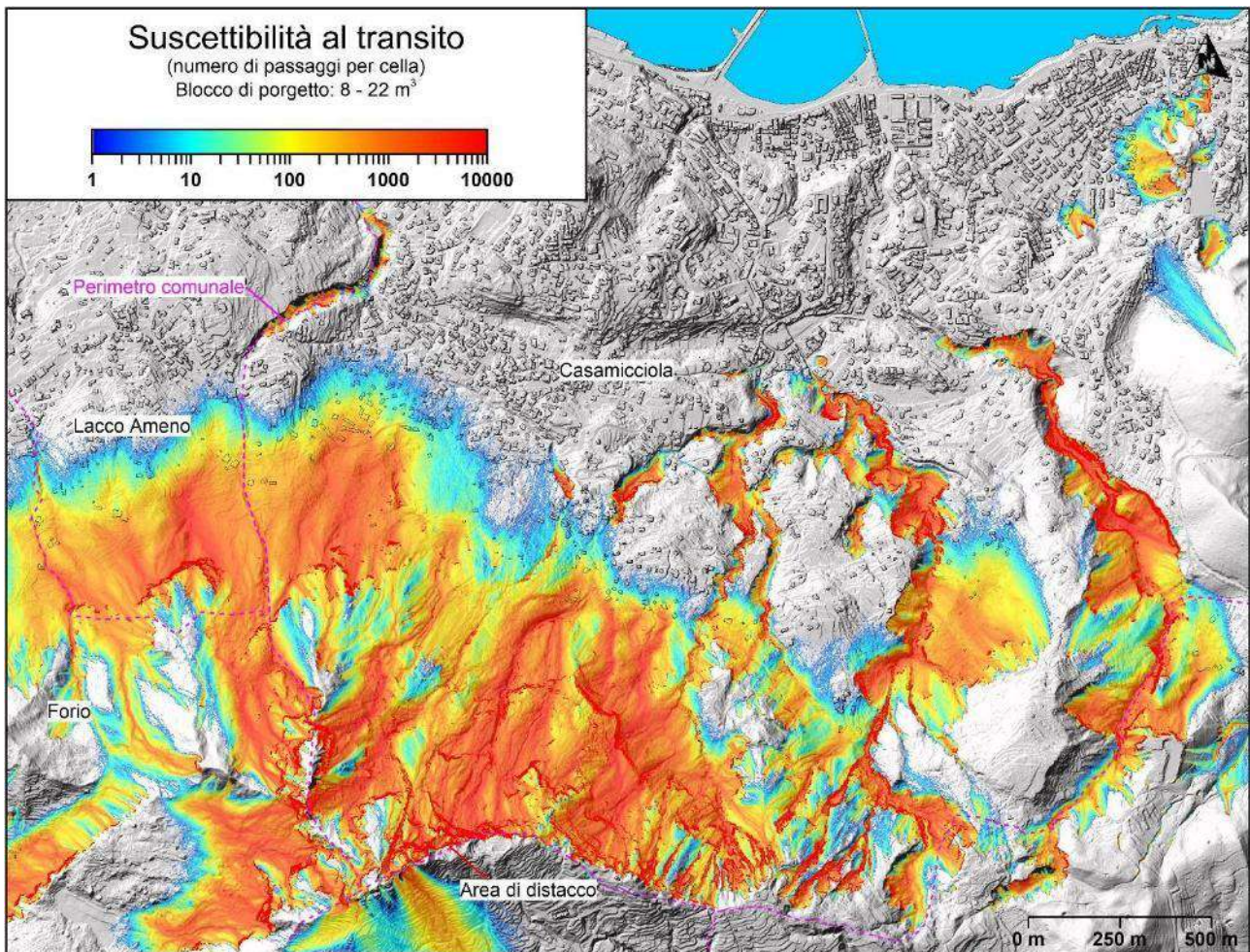


Figura 4.1.2 - Carta della suscettibilità al transito da frane da crollo in roccia. Le aree in rosso rappresentano le aree suscettibili all'innesco. Scenario: blocco di progetto con volume variabile da 8 a 22 m³.

4.1.2 Il modello di calcolo adottato

La valutazione della suscettibilità al transito e all'invasione è stata eseguita attraverso un'analisi traiettografica in ambiente *Rockyfor3D*.

Tale software permette di effettuare analisi di propagazione bidimensionale di fenomeni di crollo, combinando un modello fisicamente basato al blocco rigido, in merito alla valutazione delle traiettorie attraverso sequenze di cadute libere, rimbalzi e rotolamento massi, e un modello probabilistico, in quanto i parametri fisici sono determinati in maniera stocastica e variano in un intervallo di valori plausibili, date le varie incertezze per la loro determinazione.

Il valore aggiunto di *Rockyfor3D*, rispetto ad altri software disponibili, è rappresentato dalla possibilità di contemplare l'effetto di smorzamento legato all'eventuale presenza della vegetazione nell'area di transito.

Ai fini della simulazione di propagazione è stato necessario sviluppare le seguenti mappe in formato raster:

- DTM dell'area di indagine, con celle di dimensione 1x1 m, definite sulla base dei dati LiDAR acquisiti immediatamente dopo l'evento;
- mappa della tipologia di materiale che costituisce il versante, con indicazioni specifiche sul valore di elasticità del materiale (R_n), scelti tra gli otto modelli predeterminati dal *software* (Tab. 4.1.1);
- mappa di distribuzione dei valori di scabrezza del versante, identificati dall'indice MOH, concepito per descrivere la probabilità che un blocco in caduta libera impatti contro i blocchi situati lungo il pendio che ne ostacolano la caduta. La scabrezza è determinata in campo, individuando zone omogenee nell'area di studio che sono successivamente rappresentate in mappa da poligoni. Ogni poligono definisce la scabrezza della superficie, espressa in termini probabilistici da tre classi di probabilità, chiamate $rg70$, $rg20$, $rg10$ (Fig. 4.1.3), ovvero una scabrezza del versante incontrata con una probabilità del 70%, 20% e 10%;
- mappa di distribuzione della densità dei blocchi per ogni cella-sorgente rappresentativa del punto di distacco, in cui, a valori maggiori di zero, corrispondono celle da cui possono distaccarsi blocchi con densità definita; di contro, a valori pari a zero, corrispondono zone di versante da cui non possono verificarsi distacchi. Per la modellazione dell'area di studio è stato utilizzato un valore di densità della roccia, nelle aree di possibile distacco, pari a 1500 kg/m^3 ;
- mappa o valore delle dimensioni dei blocchi, in termini di lunghezza di un lato del blocco, se cubico o sferico, o di ciascuno dei tre lati, se di forma diversa;
- mappa di distribuzione della forma dei blocchi, parametrizzata secondo specifica codifica.

Tabella 4.2.1 - Coefficienti di restituzione normale R_n codificati in Rockyfor3D (Dorren et al., 2006)

Tipo di suolo	Descrizione generale del suolo	R_n valori medi	R_n intervallo di valori
0	Fiume, o palude, o materiale in cui un masso potrebbe penetrare completamente	0	0
1	Materiale fine (spessore > ~100 cm)	0,23	0,21 - 0,25
2	Materiale fine fluviale (spessore < ~100 cm) o sabbia/ghiaia mista	0,28	0,25 - 0,31
3	Detrito di falda (\emptyset < ~10 cm); o suolo compatto medio con piccoli massi; o strade forestali	0,33	0,30 - 0,36
4	Detrito di versante (\emptyset > ~10 cm); o suolo compatto con grandi massi	0,38	0,34 - 0,42
5	Substrato roccioso con materiale fine di degradazione meteorica	0,43	0,39 - 0,47
6	Substrato roccioso	0,53	0,48 - 0,58
7	Strade asfaltate	0,35	0,32 - 0,39

Altri parametri forniti in fase di input al software, da cui dipende il risultato finale dell'analisi, sono stati il numero di blocchi da simulare per ogni cella e la deviazione dal volume di riferimento.

In questo modo, il software permette di ottenere una stima probabilistica delle traiettorie, in funzione della potenziale variabilità volumetrica che normalmente caratterizza i fenomeni di crollo.

Le simulazioni mediante *Rockyfor3D* hanno permesso di identificare le traiettorie preferenziali lungo le quali eventuali blocchi di roccia potrebbero muoversi dopo il distacco. E' possibile, in aggiunta, ottenere una stima delle caratteristiche del moto stesso dei blocchi in termini di energia e velocità. In particolare, i risultati ottenuti dalla modellazione di propagazione hanno fornito i seguenti output:

- mappa della suscettibilità al transito;
- mappa della velocità massima dei blocchi;
- mappa delle altezze di propagazione;
- mappa dell'energia cinetica massima;
- mappa dell'intervallo di confidenza al 95% dell'energia cinetica massima;
- mappa degli impatti con la vegetazione.

4.2 MODELLAZIONE DELLE VALANGHE E DELLE COLATE DETRITICHE

4.2.1 Introduzione

Nella presente parte del Piano di Interventi viene effettuata una valutazione preliminare delle possibili aree di transito e invasione derivanti dall'innescò di flussi a cinematica veloce che potrebbero attivarsi nel settore centrale e settentrionale del Monte Epomeo.

Nei paragrafi che seguono, dopo aver definito i prerequisiti conoscitivi e i criteri per l'applicazione del modello di propagazione dinamica (DAN3D, di McDougall and Hungr, 2004), sono ipotizzati possibili scenari di innesco a partire dalle aree sommitali del Monte Epomeo per ognuna delle quali sono restituite le possibili aree di transito e invasione delle masse in frana.

4.2.2 Fattori geologici predisponenti la franosità

Le descrizioni circa gli eventi di frana da scorrimento e flusso interessanti il settore nord-occidentale nell'isola di Ischia e più in generale l'insieme dei versanti dell'isola, evidenzia che le instabilità coinvolgenti i materiali alteritici e piroclastici di copertura possono essere analizzate in un comune schema esplicativo alla base del quale è possibile individuare le cause predisponenti, i fattori d'innescò e i comportamenti evolutivi che, di fatto, risultano estremamente simili pur nella locale variabilità degli assetti.

Nello specifico, il tipo di stabilità iniziale, che può essere riferita ad un movimento tipo "scorrimenti traslativo di detrito", se sussistono le condizioni morfo-topografiche, può evolvere in flussi fluido-viscosi, a carattere valanghivo lungo versanti aperti o confinati in incisioni. In tutti i casi, queste evoluzioni in flusso sono sempre caratterizzate da elevata velocità con conseguente capacità erosiva che induce il progressivo incremento dei volumi. È possibile, anche se non sono stati definiti casi reali, che l'innescò possa avvenire per l'impatto di volumi di roccia sulle sottostanti coperture.

La superficie di scorrimento dei movimenti traslativi, il cui volume può essere anche di alcuni metri cubi, si colloca generalmente lungo i contatti tra le coperture superficiali e gli ammassi costituenti il substrato. La successiva movimentazione, anche per meccanismi liquefattivi, e l'incorporazione di acqua, può trasformare i fenomeni in valanghe e colate detritiche (Hungr, 2001), nonché in flussi iperconcentrati.

Tra i fattori di geomorfologici d'influenza, oltre alle elevate pendenze, si evidenzia la presenza di scarpate morfologiche e di connesse coperture instabili, di incisioni con riempimenti significativi di materiali detritici, nonché la possibilità che lungo il versante possano concentrarsi acque di circolazione superficiale e anche sotterranea. In effetti, quanto osservato nell'area della zona di

innesco della frana del Celario, evidenzia il ruolo delle discontinuità strutturali e degli assetti morfologici nel condizionare il deflusso delle acque considerando anche il contrasto di permeabilità sussistente tra le coperture e il substrato.

Infatti, le osservazioni di campo mostrano che, oltre ai processi di infiltrazione generale regolati peraltro dalle complesse stratigrafie delle coltri, le acque possono concentrarsi e infiltrarsi negli ammassi costituenti le cornici epomeiche inducendo, localmente, lo sviluppo di pressioni dei pori destabilizzanti e fornendo l'acqua necessaria per la fluidificazione delle masse. In ciò giocano un ruolo significativo la detta presenza delle discontinuità strutturali, ma anche morfologiche, nonché gli assetti litostratigrafici delle coltri e del substrato.

Nella Figura 4.2.1 sono quindi illustrati, schematicamente, i principali assetti morfologici già riconosciuti nelle aree sorgenti dei flussi a cinematica veloce che interessano le coperture piroclastiche dei versanti carbonatici nell'area dell'Appennino campano; quelli riferibili agli schemi 1A e 1C di Figura 4.2.1 possono essere considerati in qualche modo di riferimento anche per l'arena ischitana. Nello specifico, si ritiene che, fermo rimanendo la sussistenza degli specifici assetti geomorfologici e idrogeologici, l'innesco possa essere anche connesso al distacco di masse dalla zona delle cornici, sia di più o meno cospicue porzioni di copertura sia come distacco di volumi unitari di materiali tufacei.

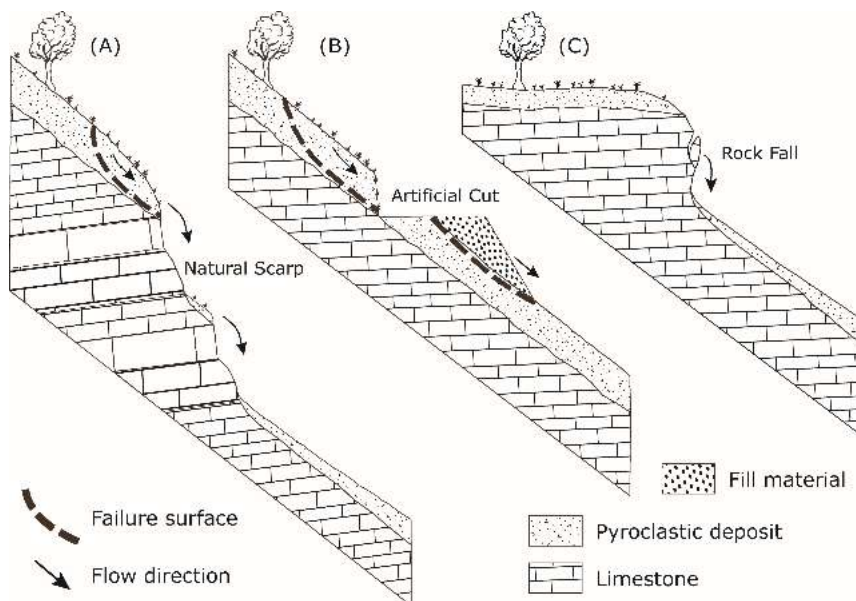


Figura 4.2.1 - Principali assetti morfologici riconosciuti nelle aree di primo distacco degli eventi di frana che hanno colpito l'area di Sarno, Quindici, Siano e Bracigliano il 5-6 maggio 1998 (da Guadagno et al., 2005, modificato)

È però da evidenziare che nell'area del bacino della Cava Fasaniello appare evidente che l'innesco delle fenomenologie sia legato alla presenza di materiali di riporto a nord di un manufatto stradale e che l'evento trova posizione in un punto di recapito concentrato. In effetti, molte delle instabilità hanno coinvolto materiali detritici di riporto in prossimità di prismi di accumulo antropico, in

analogia a quanto riportato nello schema di 1B di Figura 4.2.1, sebbene quest'ultimo sia specificatamente riferito ai riporti relativi alla presenza e alla realizzazione di tagli per la creazione di percorsi di risalita.

Quanto descritto evidenzia la fragilità di un sistema geomorfologico ove gli assetti locali, topografici, morfologici, geologici e idrogeologici assumono un ruolo fondamentale. Di fatto sussiste, quindi, la necessità, oltre che di definire le locali condizioni litostratigrafiche, anche di disporre di rilievi di dettaglio che rappresentino al meglio la realtà naturale che può manifestarsi in modo anche particolarmente articolato. A riguardo rilievi topografici a elevata risoluzione sono stati di specifico ausilio così come le analisi sviluppate e finalizzate alla definizione della franosità pregressa e alla definizione dei flussi superficiali.

4.2.3 Criteri per la definizione puntuale della suscettibilità all'innesco, transito e deposito

Quanto illustrato evidenzia come gli assetti geomorfologici locali predisponenti l'innesco delle fenomenologie di flusso siano di particolare significato nel controllo della localizzazione delle aree sorgenti degli eventi di frana. Tuttavia, risulta impossibile poter definire un unico modello morfotopografico d'innesco dei fenomeni, da cui ne consegue la necessità di riferirsi ad una varietà di assetti. Ciò, oltre a rendere particolarmente problematica la creazione di mappe di suscettibilità, rende inefficace l'utilizzo di modelli e procedure di valutazioni d'insieme territoriale. Questa affermazione è avvalorata dalla considerazione che in pendii con analoghi assetti geomorfologici, le fenomenologie di frana si manifestano solo ove sussistono specifiche condizioni locali.

Definiti gli specifici assetti di riferimento delle zone d'innesco, la determinazione delle caratteristiche geomorfologiche dei versanti sottostanti diviene dirimente per l'applicazione del modello di propagazione e di invasione prescelto. A tale riguardo appare fondamentale definire la presenza di fossi incidenti i versanti e di eventuali depositi detritici occupanti gli alvei. Infatti, i materiali di riempimento dei fossi, peraltro generalmente saturi in occasione di eventi piovosi, inducono quelle condizioni base per l'incremento della magnitudo attraverso la loro presa in carico durante la propagazione delle masse.

L'analisi degli scenari, e quindi di suscettibilità, è sviluppata per fasi successive riguardanti l'innesco, il transito e la propagazione. L'identificazione deterministica degli ammassi potenzialmente suscettibili all'innesco e la loro mappatura è stata quindi supportata da valutazioni puntuali circa le condizioni di stabilità, anche finalizzate alla definizione degli scenari di massima magnitudo, e preliminarmente da un'analisi multi-temporale delle instabilità.

In particolare, due sono stati i punti significativi al fine di sviluppare modellazioni, e quindi scenari, attendibili. Il primo è relativo alla definizione della massa iniziale la cui geometria,

conseguenza degli assetti litologici e morfologici, è riferibile allo spessore della coltre, il secondo è invece relativo al modello dinamico prescelto nelle valutazioni. In riferimento al primo, la geometria delle aree sorgenti delle potenziali frane è stata definita, considerando la variabilità degli assetti, sulla base delle analisi sulla franosità pregressa, sugli attuali assetti in termini di pendenze e costituzione geologica dei versanti, caratteristiche geomorfologiche e copertura vegetale che forniscono indicazioni circa la possibile ripetitività dei fenomeni lungo gli analoghi assi di deflusso. In riferimento al secondo, nel successivo paragrafo sono definiti alcuni criteri e riferimenti che hanno guidato nella scelta e nell'utilizzo del modello dinamico DANEF nell'ambito della valutazione degli scenari.

4.2.4 Criteri per la modellazione dinamica delle frane da flusso

La propagazione di frane da flusso può essere analizzata attraverso metodi di simulazione dinamica per l'analisi del comportamento di runout. L'interesse verso questi modelli è cresciuto notevolmente negli ultimi decenni anche per le potenzialità nell'ambito delle valutazioni di pericolosità da frana applicate ad aspetti pianificatori o di mitigazione.

L'obiettivo principale dell'utilizzo di modelli dinamici è quello di valutare il processo di propagazione delle masse (runout) in riferimento al materiale coinvolto e alla geometria delle traiettorie e dei percorsi, al fine di prevedere limiti ed estensione di aree potenzialmente soggette ad invasione. Queste analisi sono particolarmente importanti per le frane ad elevata velocità, quali "valanghe detritiche" e "colate detritiche" che, propagandosi come flussi, sono in grado di muoversi a velocità estremamente rapide e invadere aree, spesso lontane dalle aree di innesco (Hungar et al., 2001).

Con i riferimenti detti, riproducendo nello spazio e nel tempo il moto di ogni parte di una certa massa franosa, un'analisi dinamica condotta attraverso specifici modelli di simulazione mira ad ottenere la distribuzione dei parametri di intensità della frana stessa, in funzione delle caratteristiche geometriche dell'area di innesco e di quelle del percorso (Hungar, 2002). A tale riguardo è bene evidenziare, che l'intensità delle frane è intesa quale quella definita da Hungar (1997) come un insieme di parametri quantitativi e qualitativi distribuiti spazialmente che determinano il potenziale distruttivo di un dato fenomeno di frana. Nello specifico, i parametri quantitativi possono essere riassunti in: a) Distanza di runout o di propagazione, che rappresenta lo spostamento totale dall'area di origine della frana; b) Velocità, da cui dipende il potenziale danno; c) Larghezza del corridoio di danneggiamento, consistente nella larghezza dell'area invasa dal flusso e soggetta al danno indotto da transito della massa; d) Altezza della massa in movimento, che influenza l'energia di impatto nella zona danneggiata; e) Spessore del materiale eroso dal flusso lungo il pendio,

responsabile dell'incremento di volume della massa di frana iniziale; f) Spessore dei depositi, dopo l'arresto del movimento di massa.

I metodi disponibili in letteratura per la stima dei parametri di intensità delle frane possono essere di vario tipo e tengono in considerazione, di volta in volta, specifici fattori di controllo del runout. Tra i modelli numerici disponibili in letteratura, il DAN-3D (Mc Dougall e Hungr, 2004) è un modello particolarmente flessibile da utilizzarsi per frane simili a flussi in quanto offre la possibilità di selezionare più reologie, anche per diversi segmenti del percorso, e definire lo spessore del materiale eroso durante il moto. Diversi esempi di “back-analysys” e di calibrazione del modello per determinate aree possono essere trovati in letteratura per l'area Campana (es. Revellino et al., 2004; Revellino et al. 2013). Il modello è stato utilizzato anche per la previsione di frane di prima generazione dopo la calibrazione in un contesto geomorfologico simile e per tipi di frana similari in Campania da Revellino et al. (2008) e in altri contesti (ad es. Brideauet al., 2019). Per tale motivo si è ritenuto di poter utilizzare tale modello per la definizione delle aree potenzialmente coinvolgibili dagli eventi di frana che hanno interessato e potrebbero interessare il settore nord-occidentale nell'isola di Ischia.

I vantaggi dell'utilizzo del DAN -3D nell'analisi della pericolosità da frana sono: a) Simulazione realistica del comportamento delle masse in frana dovute alla natura continua della modellazione; b) Possibilità di modificare la reologia del materiale durante il movimento; c) Stima della variazione delle caratteristiche geometriche e cinematiche durante il processo di frana; d) Simulazione delle aree di invasione delle frane in base alle caratteristiche topografiche del percorso senza definire preliminarmente la geometria della frana.

Pur consentendo una previsione delle caratteristiche dell'evento franoso, le relazioni costitutive del modello, che descrivono il comportamento dei materiali, sono caratterizzate da un certo grado di incertezza. La scelta di una reologia adeguata dovrebbe quindi essere supportata da prove di laboratorio o in situ o in alternativa da analisi a ritroso di instabilità avvenute in contesti geologici simili. Analogamente, alcune incertezze sono associate alla stima di alcuni dati di input (ad es. volume iniziale e parametri di resistenza dei materiali). Altre incertezze possono derivare dalla stima dell'ubicazione e dell'area d'innesco iniziali. A tal proposito è da notare che indagini morfologiche e/o strutturali unitamente all'analisi statistica delle caratteristiche morfologiche di eventi passati possono aiutare a definire i siti più suscettibili. Per quanto attiene, invece, alla combinazione di frane che si originano contemporaneamente da più sorgenti, il modello 3D utilizzato consente di poter prevedere tale possibilità.

Un punto cruciale per la validità e l'attendibilità della modellazione è la necessità di calibrare il modello per il tipo di frana e il contesto ambientale analizzato. La procedura di calibrazione ha lo

scopo di riuscire ad ottenere una certa affidabilità del modello e poterlo utilizzare nell'applicazione pratica. A tal fine, i risultati ottenuti dalla modellizzazione di casi reali devono essere testati criticamente e confermati dal confronto con parametri e misure reali. I parametri che possono essere misurati direttamente in situ o calcolati in back-analysis e utilizzati per il confronto attengono generalmente alle proprietà fisiche e meccaniche, alla geometria del percorso e del deposito, alla velocità e al volume mobilitato.

4.2.5 Modellazione della Frana di Via Celario

La modellazione della frana di via Celario è stata effettuata mediante l'utilizzo del software DAN-3D. Esso considera la massa in frana come 'fluido equivalente', ovvero come un materiale ipotetico governato da semplici relazioni reologiche interne e alla base, i cui parametri sono dedotti in back-analysis attraverso la metodologia trial-and-error su casi reali. Il DAN-3D risolve numericamente, in chiave lagrangiana, l'equazione del momento della quantità di moto in corrispondenza di un set di concetti colonnari di riferimento distribuiti attraverso la massa in frana.

Il software offre la possibilità di scegliere tra varie reologie quella che meglio corrisponde in termini di comportamento alle caratteristiche del materiale in frana. Proprio i parametri reologici insieme al dato topografico, fornito attraverso diversi files di input in formato *.GRD, permettono di dare il via alla simulazione. Data la similarità delle fenomenologie anche in termini di mobilità e più in generale di ambiente geomorfologico con gli eventi avvenuti nel 1998-1999 nell'area Sarno-Quindici-Cervinara, i dati di input utilizzati sono stati desunti anche da quelli precedentemente calibrati sugli eventi reali suddetti (Revellino et al., 2004; 2008; 2013). Il modello reologico utilizzato è il 'Voellmy model' con i parametri calibrati per gli eventi di frana campani.

In prima analisi è stata condotta la modellazione dinamica della frana principale di Via Celario in back-analysis con la finalità di ricostruzione della geometria del percorso e del deposito, delle velocità e del volume mobilitato. Il dato topografico in input, contenente l'informazione dettagliata riguardo il percorso dell'evento di frana, è stato definito considerando il modello digitale del terreno (DTM) ottenuto da rilievi LiDAR effettuati nell'immediato post-evento. Tuttavia, al fine di tenere in considerazione l'effetto dell'urbanizzato rispetto al movimento del flusso verso valle, a partire da una quota media di 250 m s.l.m., il DTM è stato sostituito con il dato DSM LiDAR pre-evento (rilevamento ministeriale effettuato tra il 2008 e il 2010). Ai fini modellistici, il dato topografico è stato ricampionato ad una risoluzione di 2x2 m. Altri parametri di input considerati per la modellazione sono elencati nella Tabella 4.2.1.

Tabella 4.2.1 - Parametri di input del modello dinamico DAN-3D

Parametri di input	
Volume area sorgente (m ³)	80
Numero di particelle (-)	2 000
Spessore massimo erodibile (m)	3.00
Tasso di erosione (m ⁻¹)	0.009
Peso di volume iniziale (kN/m ³)	16
Angolo d'attrito (°)	20
Coefficiente di attrito dinamico	0.07-0.06
Coefficiente di turbolenza (m/s ²)	130-200

I risultati della modellazione, in termini di volume totale, spessore medio e *runout*, sono riassunti nella Tabella 4.2.1. In Figura 4.2.2, 4.2.3 e 4.4.4 sono rappresentati rispettivamente i risultati ottenuti in termini di geometria dell'evento, spessore massimo, velocità massima e durata dell'evento. L'analisi è stata interrotta a 180 secondi, quando non si verificava alcun movimento del deposito. La durata della modellazione è stata anche confrontata con il segnale sismico registrato dalla stazione INGV.

Tabella 4.2.2 - parametri di output del modello dinamico DAN-3D

Output della modellazione	
Volume finale (m ³)	70 100
Spessore medio del deposito (m)	4.4
Distanza massima percorsa (m)	1 300
Durata modellazione (s)	180

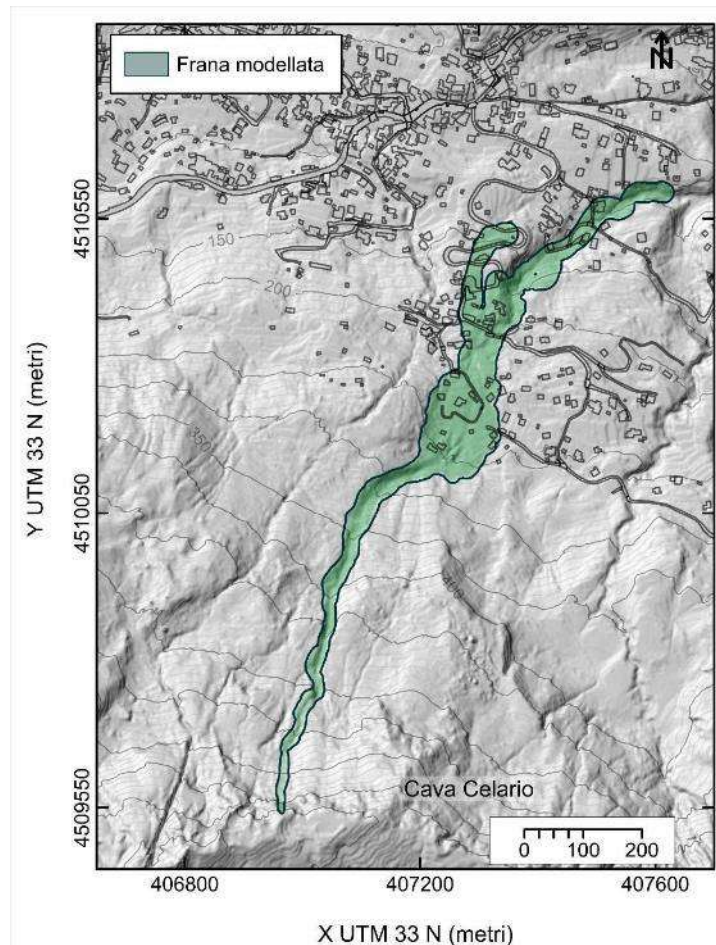


Figura 4.2.2 - Geometria di frana modellata a 180 s

Per quanto riguarda la geometria di frana, questa si presenta incanalata lungo il versante con un'espansione nella zona di diminuzione dell'acclività del versante (quota media 250 m s.l.m.). Qui il flusso si biforca, ad est coinvolge il parcheggio Rarone e Via Santa Barbara ad ovest, mentre ad est il flusso subisce un nuovo incanalamento. Gli spessori finali del deposito sono minimi nella zona di deflusso lungo il versante, mentre aumentano alla base del versante dove si ottengono spessori massimi dell'ordine di 6 – 7 m in porzioni limitate. Spessori importanti sono ottenuti anche localmente nelle zone più distali del deposito. Per quanto infine attiene alle velocità massime raggiunte, queste mostrano i valori maggiori a partire da quota 400 m s.l.m. corrispondente circa alla metà del versante, dove tra l'altro osservazioni di campo hanno evidenziato la presenza di diverse balze rocciose, messe a nudo dal flusso detritico (Fig. 4.2.5), che ha probabilmente impresso al flusso un'accelerazione. La velocità tende a diminuire alla base del versante per poi aumentare di nuovo nella seconda zona di incanalamento del flusso.

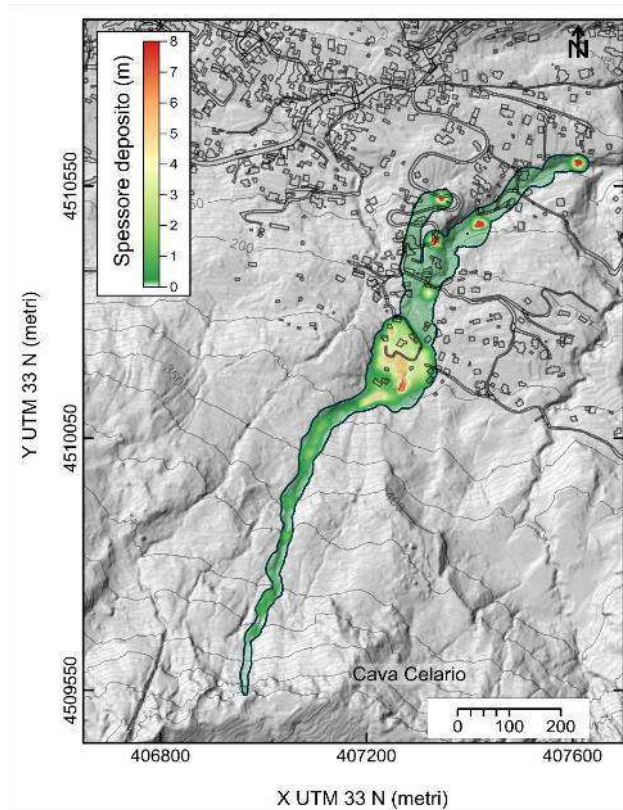


Figura 4.2.3- Distribuzione dello spessore del deposito della frana modellata a 180 s

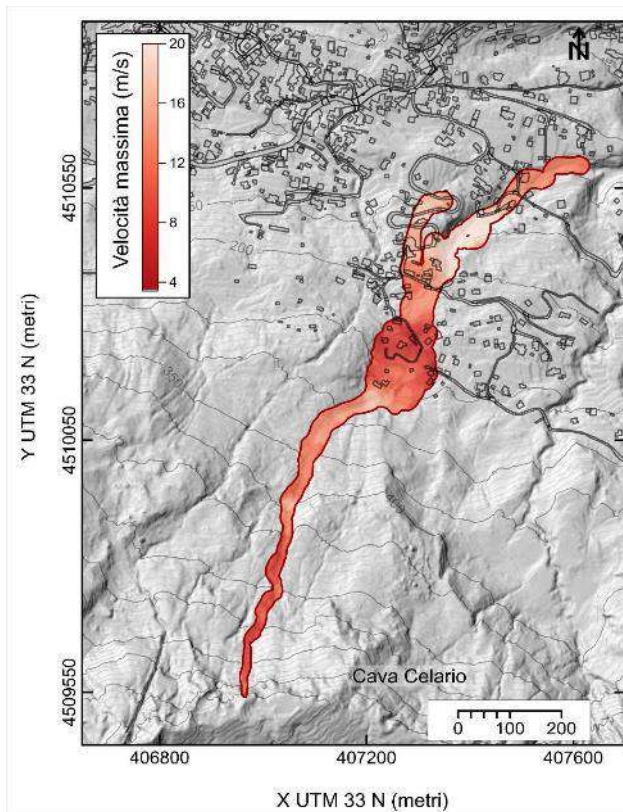


Figura 4.2.4- Distribuzione delle velocità ottenute dalla modellazione a 180 s



Figura 4.2.5- Foto del substrato stratificato affiorante nel canale di frana ad una quota di circa 400 m s.l.m.

A titolo di confronto, i risultati ottenuti dalle modellazioni e la perimetrazione effettuata in fase emergenziale dell'evento sono stati riportati in Figura 4.2.6. Per quanto riguarda la distanza di propagazione, questa è fortemente comparabile con le reali distanze raggiunte dall'evento in fase di colata detritica. La geometria della frana modellata mostra una sottostima lungo il canale principale, probabilmente a causa dei diversi contributi laterali nella porzione ovest del canale, che non sono stati considerati dal modello in input. Diversamente, nella porzione inferiore del versante, laddove il flusso subisce gli effetti della diminuzione delle acclività, la geometria modellata sovrastima l'areale coinvolto dal flusso. In termini di areale coinvolto, è stata misurata una superficie interessata dall'evento pari a 62 721 m², mentre la modellazione restituisce un'area coinvolta di 67 913 m², per una percentuale di sovrapposizione pari a circa 92%.

Il confronto tra gli spessori dei depositi stimati e simulati mostra una buona corrispondenza delle aree a maggiore accumulo (Fig. 4.2.7). In particolare, nell'area di espansione del flusso sono stati misurati spessori fino a 6.0 m, che si ritrovano anche nei risultati della modellazione (fino ad un massimo di 7.0 m) in prossimità della sezione di chiusura del canale, mentre nella zona più distale lo spessore si attesta attorno ai 4 m, parzialmente in accordo con i dati misurati (3.0 m). Infine, nell'area del parcheggio Rarone, dove accumuli di 3.0 m di materiale sono stati rinvenuti, il modello mostra una zona preferenziale di accumulo, che tuttavia, in questo caso, presenta valori più elevati di quelli misurati. Infine, le velocità modellate sono state confrontate con quelle calcolate utilizzando l'Equazione (Chow, 1959):

$$V = [(gdr)/b]^{0.5}$$

dove V è la velocità in m/s, g è l'accelerazione gravitazionale, d è l'altezza del deposito di superelevazione, r è il raggio di curvatura dal centro del canale e b la larghezza del canale. Il valore così calcolato nella zona del gomito di frana (quota 300 m s.l.m.) è di circa 8 m/s, a fronte di una velocità modellata di 12 m/s nello stesso punto.

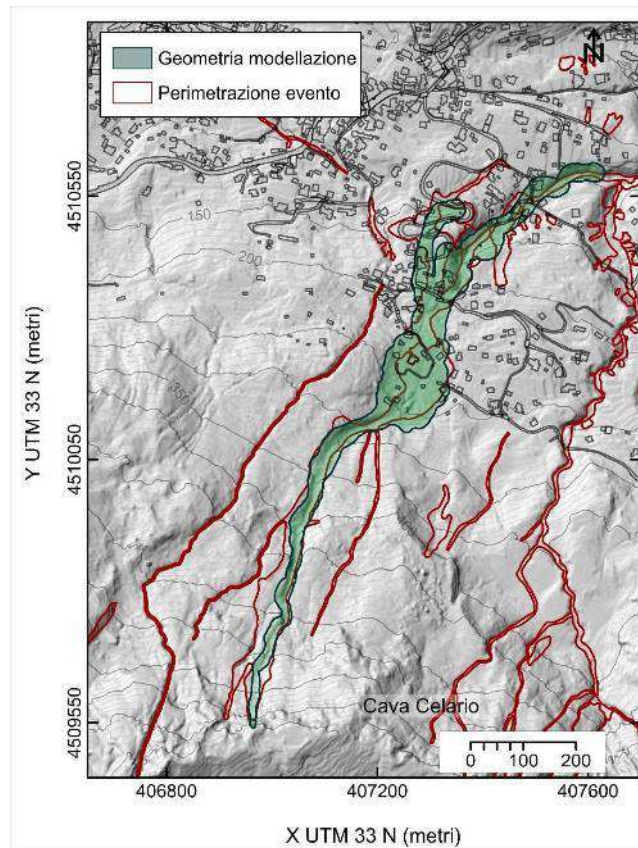


Figura 4.2.6 - Confronto tra la geometria di frana reale (in rosso) e quella modellata (in verde)

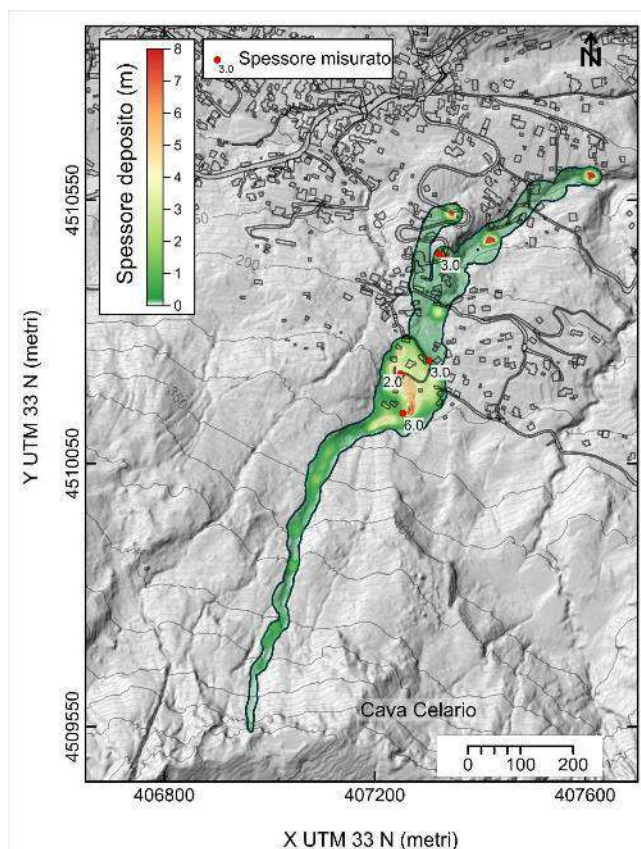


Figura 4.2.7 - Confronto spessori frana modellata e reale

4.2.6 Applicazione ai bacini del versante settentrionale del Monte Epomeo

Per la definizione delle aree maggiormente suscettibili ad essere invase dai flussi, il DAN 3D è stato utilizzato in chiave previsionale sulla base dei parametri reologici utilizzati per la modellazione della frana del Celario. Il software è stato utilizzato per simulare il comportamento dinamico di un numero definito di eventi potenziali di frana interessanti i valloni del settore settentrionale del Monte Epomeo, che hanno consentito di definire possibili scenari di pericolosità e per i quali sono stati ottenuti i principali parametri di intensità. È importante specificare che le modellazioni realizzate rappresentano alcuni degli scenari possibili, in particolar modo nelle aree d'innescò e immediatamente a valle di esse; essi rappresentano, però, scenari caratterizzati da magnitudo elevata, essendo stati utilizzati valori dei dati input cautelativi.

I dati di input utilizzati sono stati desunti anche da quelli precedentemente utilizzati per la frana di via Celario. Per quanto attiene, invece, agli spessori di materiale potenzialmente coinvolgibili nelle instabilità iniziali ed erodibili lungo il percorso, questi sono stati desunti da osservazioni di campo effettuate durante alcuni dei sopralluoghi alle aree colpite dagli eventi del novembre 2022. Da tali osservazioni risulta uno spessore molto variabile, da pochi decimetri nelle porzioni alte del versante,

a qualche metro laddove le incisioni si approfondiscono in modo marcato e risultano essere riempite di materiali detritici.

Le potenziali aree sorgenti sono state definite, sulla base delle condizioni di franosità pregressa, mediante analisi geomorfologica degli elementi di controllo della franosità (presenza di scarpate), anche sviluppata attraverso dati cartografici (modelli digitali del terreno LiDAR e ortofoto post-evento) e, ancora una volta, osservazioni condotte in campo. Esse sono state individuate per lo più nelle cornici sommitali del versante settentrionale del Monte Epomeo per lo più caratterizzate dalla presenza di scarpate rocciose verticali o sub-verticali localizzate a monte di incisioni più o meno pronunciate, e in alcune porzioni più basse del versante sempre in corrispondenza di aree caratterizzate da un elevato angolo di pendio (Fig. 4.2.8 e 4.2.9). Il volume iniziale mobilizzato è stato imposto compreso tra 50 e 70 m³. Questi valori sono quelli associati anche alla modellazione svolte in back analysis sugli eventi del novembre 2022.

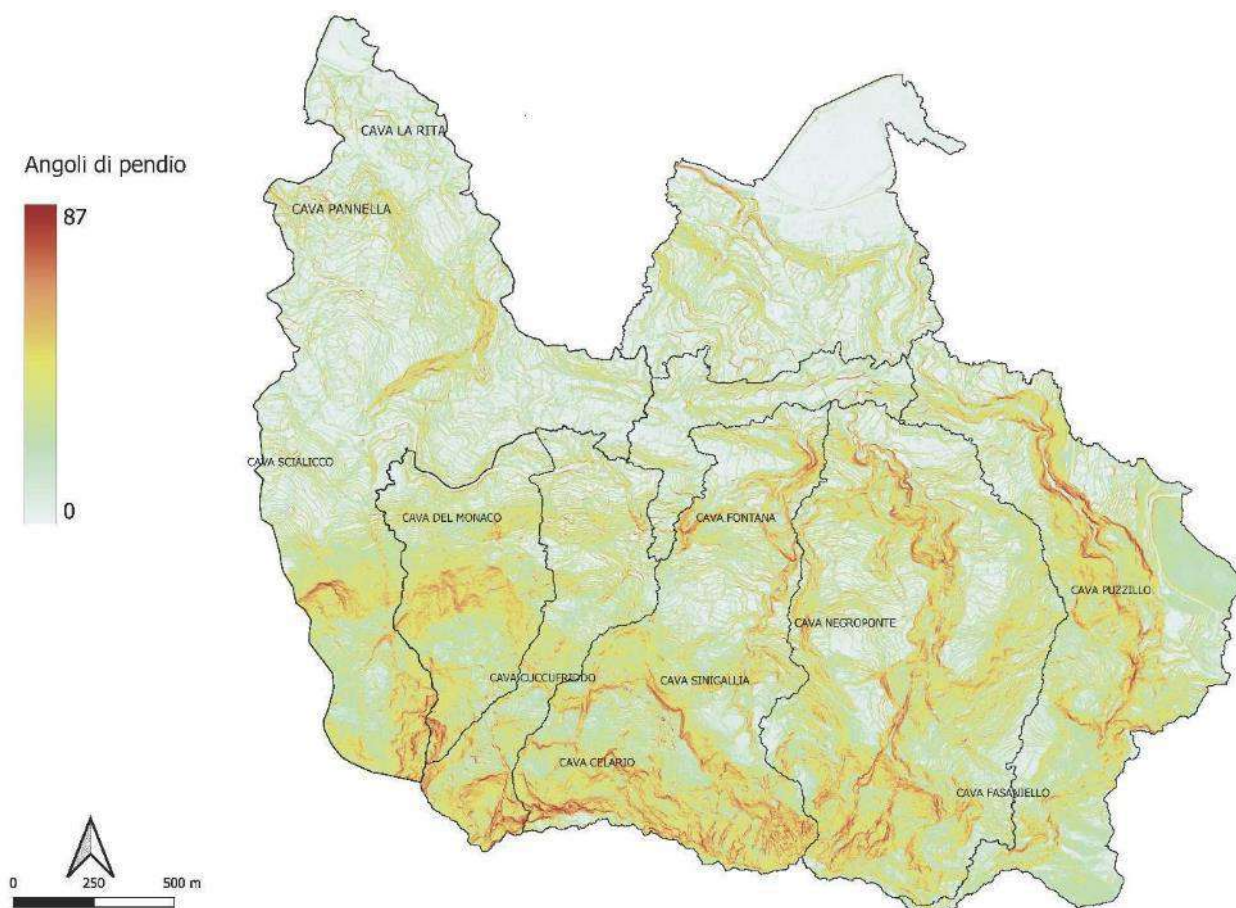


Figura 4.2.8 - Carta delle acclività del Monte Epomeo.

Nello specifico, sulla base della zonazione effettuata nei diversi bacini idrografici che caratterizzano la porzione settentrionale del Monte Epomeo, le modellazioni effettuate sono state 18, così suddivise:

1. Cava del Puzzillo: due eventi modellati, il primo nella porzione più elevata del bacino ad una quota di circa 450 m s.l.m. e il secondo a quota 400 m s.l.m.;
2. Cava Fasaniello-Ervaniello: tre possibili inneschi in aree sommitali del bacino a quote rispettivamente di 580 m, 500 m e 410 m s.l.m.;
3. Cava Sinigallia: due eventi modellati, entrambi in area sommitale del bacino (quota di circa 650 e 600 m s.l.m.);
4. Cava Celario: due eventi modellati rispettivamente immediatamente ad est e ad ovest del vallone Celario da cui si è innescata la frana del 22 Novembre 2022, e due eventi ipotizzati nella parte più bassa del versante, a quote di 400 m e 430 m s.l.m, in corrispondenza di aree a forte acclività.;
5. Cava Cuccufreddo: quattro eventi modellati nelle porzioni sommitali del bacino (alla quota di 760 m, due eventi a 670 m e 520 m s.l.m.);
6. Cava del Monaco, due eventi modellati nella parte alta del versante e uno in una zona intermedia del versante (quote di 700 m, 560 m 450 m s.l.m.).

Il modello reologico utilizzato è il 'Voellmy model' con i parametri calibrati per gli eventi di frana campani (Revellino et al., 2004; 2008; 2013), già testati per la modellazione della frana principale di Via Celario.

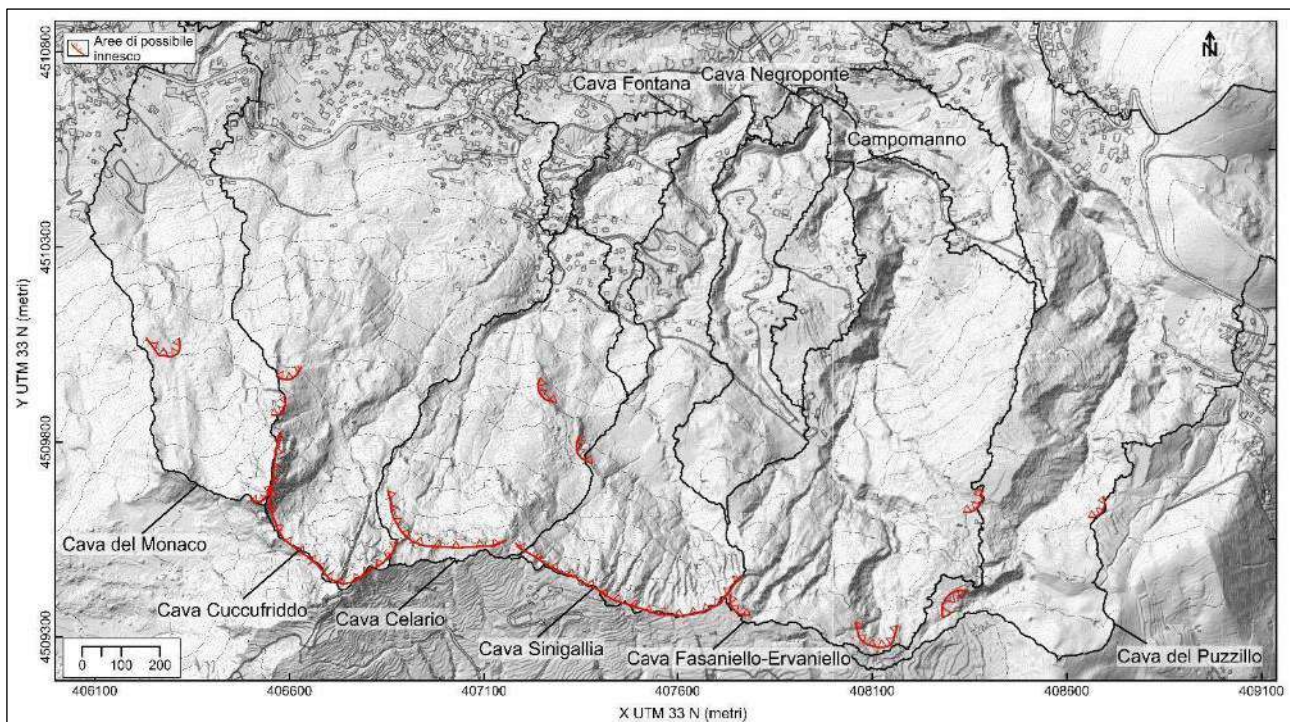


Figura 4.2.9 - Carta delle possibili zone di innesco.

Nelle Figure 4.2.10 e 4.2.11 sono illustrati possibili scenari di pericolosità in termini di distanze raggiunte dal flusso, definiti sulla base delle modellazioni effettuate. Nello specifico, considerata la marcata variabilità in termini di spessore di materiale, le modellazioni sono state condotte considerando due diverse ipotesi, corrispondenti a due scenari di intensità sulla base dello spessore massimo erodibile:

- I. scenario di massima intensità (scenario a – Fig. 4.2.10), corrispondente ad uno spessore massimo erodibile di 3,00 m, e
- II. scenario di media intensità (scenario b – Fig. 4.2.11), corrispondente ad uno spessore massimo erodibile di 0,50 m. Tale ipotesi condiziona il volume finale ottenuto dalle modellazioni ed influisce sullo scenario finale in termini di valori di runout massimo del deposito.

In particolare, i risultati ottenuti in termini di volume finale e spessore medio del deposito per ciascuna modellazione, sono sintetizzati nella Tabella 4.2.3 per lo scenario a e nella Tabella 4.2.4 per lo scenario di modellazione b. Le mappe di modellazione sono mostrate in Appendice.

Per lo scenario a, i risultati ottenuti differiscono in termini di areale invaso e volumi finali in relazione al bacino considerato. In particolare, per i bacini Cava del Puzzillo e Cava Fasaniello-Ervaniello i flussi modellati restano confinati nei valloni, in alcuni casi non raggiungendo neanche la base del versante. In Cava Sinigallia, la modellazione ID bac_sin_2a mostra un'espansione alla base del versante con il coinvolgimento di un'ampia porzione di territorio urbanizzato e parziale incanalamento del flusso; i volumi finali ottenuti sono dell'ordine di migliaia di metri cubi. Le modellazioni di Cava Celario, sia quelle nella porzione alta del versante che in quella intermedia, non mostrano criticità. Da segnalare il fatto che lo spessore massimo erodibile nel vallone Celario è importo pari a zero essendo stato già tutto il materiale eroso durante gli eventi del novembre 2022. Infine, i risultati ottenuti in Cava Cuccufreddo e Cava del Monaco mostrano le maggiori criticità, con un'espansione del flusso nella fascia pedemontana del versante, coinvolgendo, soprattutto nel caso di Cava Cuccufreddo (ID modellazione bac_cucc_1a, bac_cucc_2a, bac_cucc_3a), anche una discreta area di territorio urbanizzato.

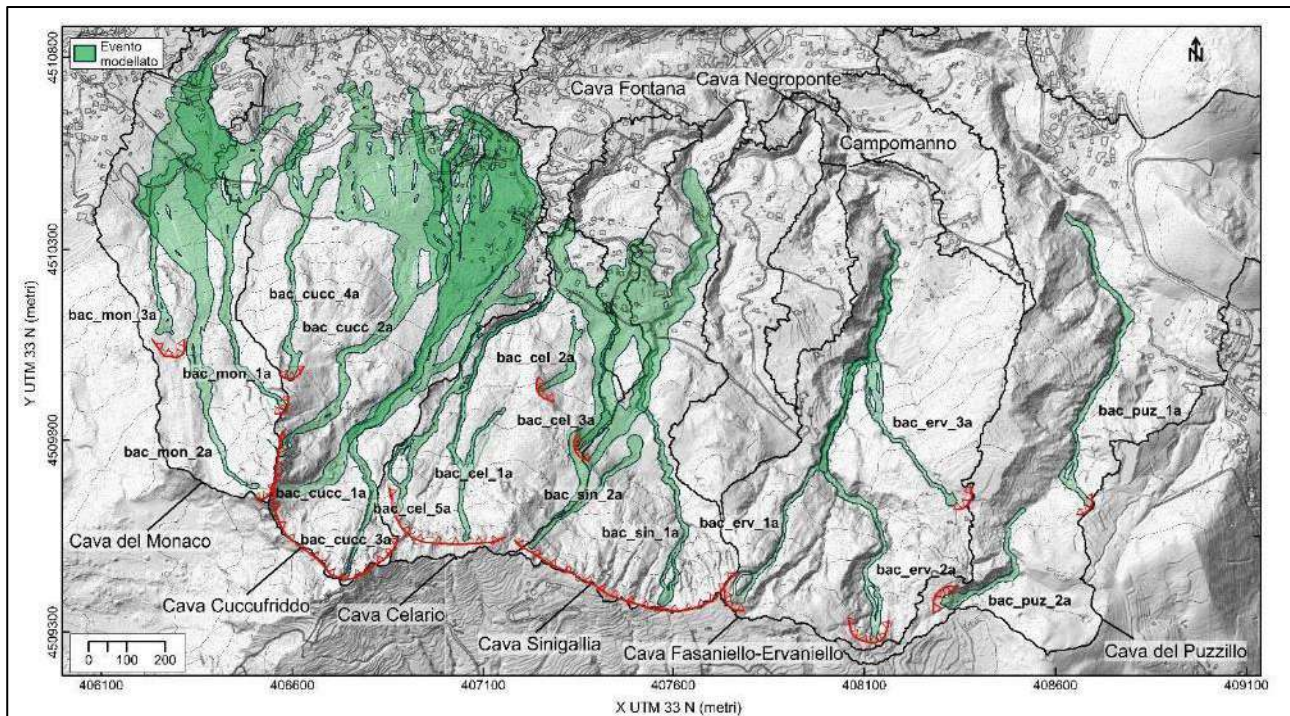


Figura 4.2.10 - Scenario di massima intensità (spessore massimo erodibile: 3,00 m).

Tabella 4.2.3 - Codice ID, volume iniziale, finale e spessore medio del deposito delle modellazioni effettuate in riferimento allo scenario di massima intensità (scenario a)

Bacino idrografico	Codice ID	Volume iniziale (m ³)	Volume finale (m ³)	Spessore medio deposito (m)
Cava Celario	bac_cel_1a	48.00	270.00	0.10
Cava Celario	bac_cel_2a	54.00	250.00	0.25
Cava Celario	bac_cel_3a	54.00	300.00	0.20
Cava Celario	bac_cel_5a	48.00	400.00	0.15
Cava Sinigallia	bac_sin_1a	70.00	3500.00	1.40
Cava Sinigallia	bac_sin_2a	48.00	18600.00	0.70
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_erv_1a	64.00	7300.00	2.60
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_erv_2a	75.00	18500.00	2.30
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_erv_3a	75.00	1800.00	0.70

Cava Cuccufriddo	bac_cucc_1a	72.00	30000.00	1.75
Cava Cuccufriddo	bac_cucc_2a	72.00	32000.00	0.90
Cava Cuccufriddo	bac_cucc_3a	64.00	27500.00	1.10
Cava Cuccufriddo	bac_cucc_4a	48.00	1056.00	0.20
Cava del Puzzillo	bac_puz_1a	75.00	4200.00	1.00
Cava del Puzzillo	bac_puz_2a	70.00	500.00	0.35
Cava del Monaco	bac_mon_1a	75.00	33500.00	1.20
Cava del Monaco	bac_mon_2a	75.00	107000.00	2.00
Cava del Monaco	bac_mon_3a	75.00	3300.00	0.65

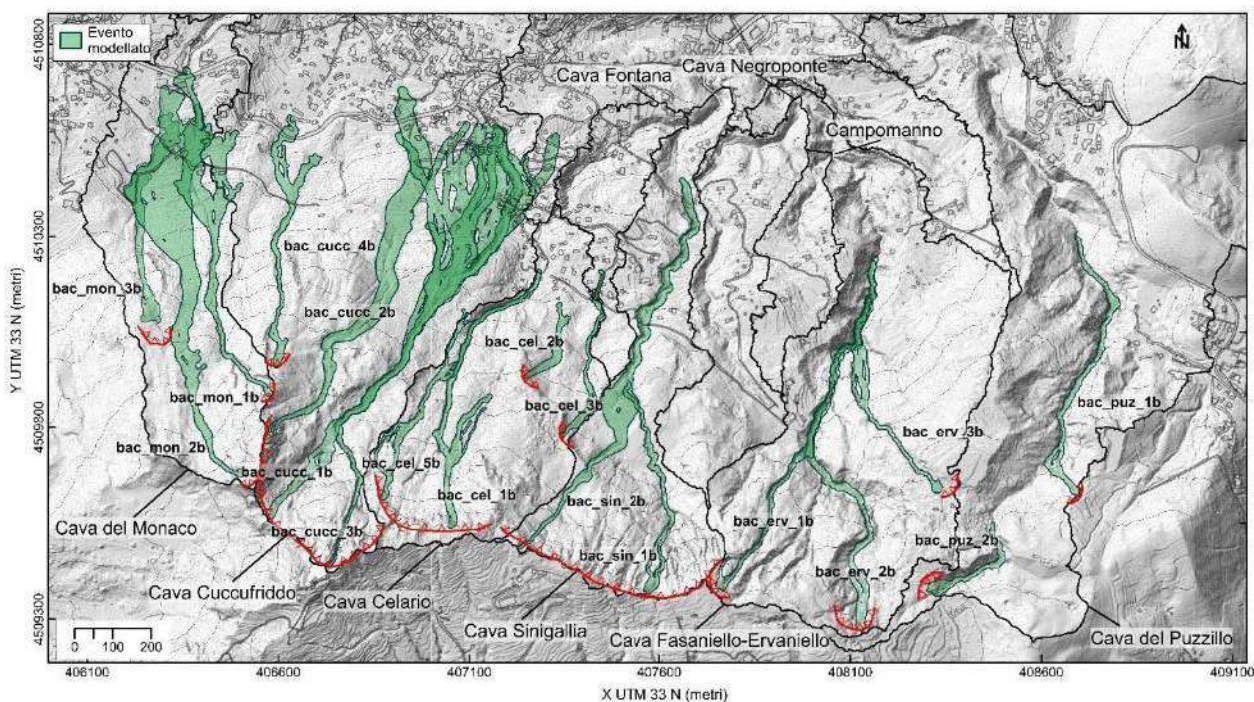


Figura 4.2.11 - Scenario di media intensità (spessore massimo erodibile: 0,50 m).

Tabella 4.2.4 - Codice ID, volume iniziale, finale e spessore medio del deposito delle modellazioni effettuate in riferimento allo scenario di media intensità (scenario b)

Bacino idrografico	Codice ID	Volume iniziale (m ³)	Volume finale (m ³)	Spessore medio deposito (m)
Cava Celario	bac_cel_1b	48.00	270.00	0.10
Cava Celario	bac_cel_2b	54.00	250.00	0.25
Cava Celario	bac_cel_3b	54.00	300.00	0.18
Cava Celario	bac_cel_5b	48.00	406.00	0.15
Cava Sinigallia	bac_cucc_1b	48.00	7500.00	0.90
Cava Sinigallia	bac_cucc_2b	72.00	8600.00	0.40
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_cucc_3b	64.00	5000.00	0.20
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_cucc_4b	48.00	900.00	0.20
Cava Fasaniello-Ervaniello	bac_erv_1b	72.00	2300.00	1.00
Cava Cuccufrippo	bac_erv_2b	75.00	4400.00	1.10
Cava Cuccufrippo	bac_erv_3b	75.00	1500.00	0.60
Cava Cuccufrippo	bac_sin_1b	72.00	2200.00	1.10
Cava Cuccufrippo	bac_sin_2b	48.00	660.00	9.50
Cava del Puzzillo	bac_puz_1b	75.00	2200.00	0.70
Cava del Puzzillo	bac_puz_2b	75.00	2600.00	0.50
Cava del Monaco	bac_mon_1b	75.00	8100.00	0.90
Cava del Monaco	bac_mon_2b	75.00	22000.00	0.80
Cava del Monaco	bac_mon_3b	75.00	2600.00	0.50

Diversamente, lo scenario b restituisce zone di invasione più contenute rispetto al caso precedente, anche se le maggiori criticità si riscontrano ancora nei pressi di Cava Cuccufrippo e Cava del Monaco. I bacini Cava del Puzzillo, Cava Fasaniello-Ervaniello, Cava Sinigallia e Cava Celario si caratterizzano da un flusso incanalato che in alcuni casi si arresta lungo il versante. Cava Cuccufrippo (ID modellazione bac_cucc_1b, bac_cucc_2b, bac_cucc_3b) e Cava del Monaco (ID modellazione

bac_mon_2b) mostrano un'espansione del flusso nella fascia pedemontana del versante meno marcata rispetto al caso precedente, visibile anche dal minore territorio urbanizzato coinvolto dai flussi.

Per ogni scenario modellato sono definiti anche gli spessori massimi raggiunti dal flusso (rispettivamente Fig. 4.2.12 e 4.2.13 per gli scenari a e b). La diminuzione nello spessore massimo del deposito (passando dallo scenario a) allo scenario b) evidenzia in modo significativo la variazione di intensità dei fenomeni modellati.

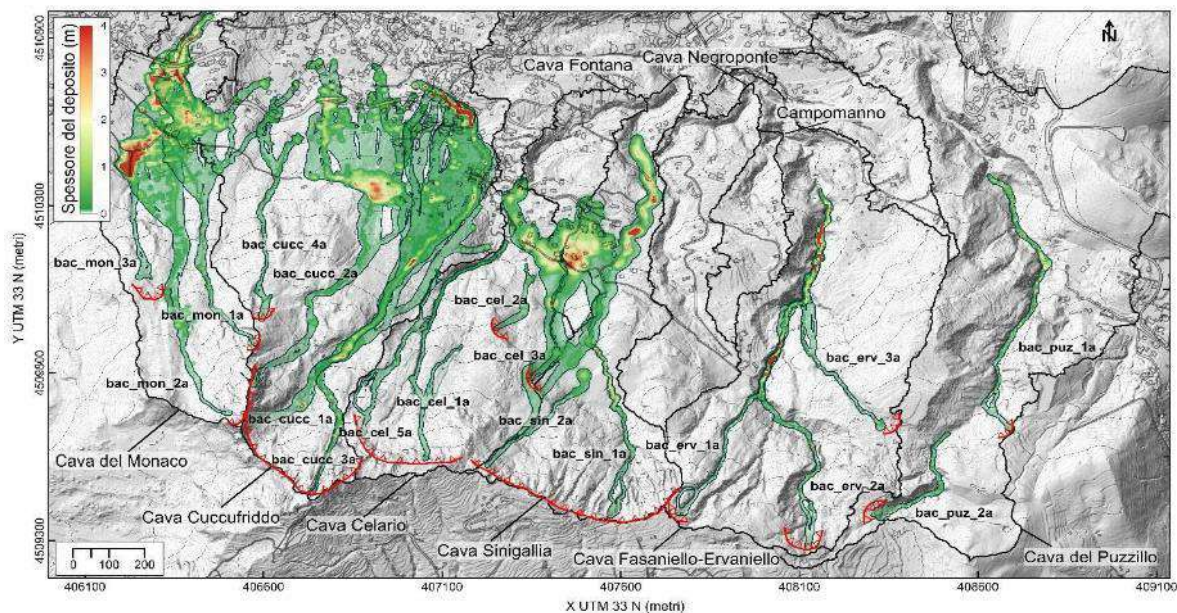


Figura 4.2.12 - Spessori massimi per lo scenario di massima intensità (spessore massimo erodibile: 3,00 m).

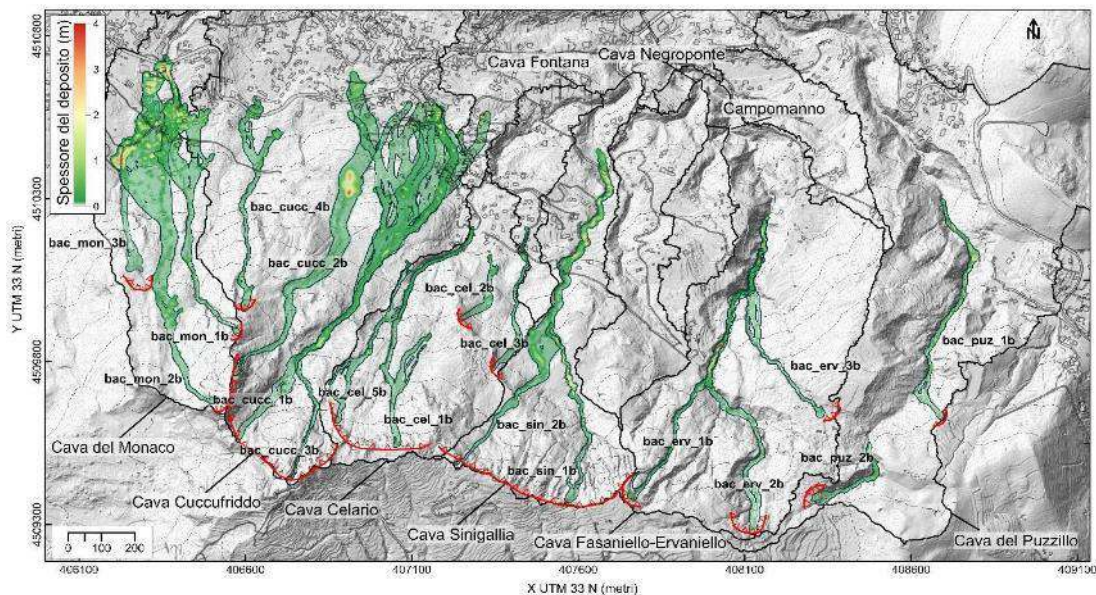


Figura 4.2.13 - Spessori massimi per lo scenario di media intensità (spessore massimo erodibile: 0,50 m).

La Figura 4.2.12 mostra gli spessori più elevati per alcuni dei fenomeni incanalati di Cava Fasaniello-Ervaniello, per l'evento bac_sin_2a in Cava Sinigallia nelle zone in cui il flusso tende ad incanalarsi, nella porzione più distale dell'evento bac_cucc_1a e in un'area caratterizzata dalla diminuzione di acclività del versante per quanto invece concerne l'evento bac_cucc_2a. Infine le modellazioni di Cava del Monaco mostrano un accumulo di deposito in zone concave presenti alla base del versante e all'interno di canali di deflusso.

Lo scenario b si caratterizza da spessori massi che superano il metro solo in alcuni casi, come per esempio nel caso dei flussi incanalati di Cava Fasaniello-Ervaniello, e nel caso di Cava del Monaconella parte bassa del versante.

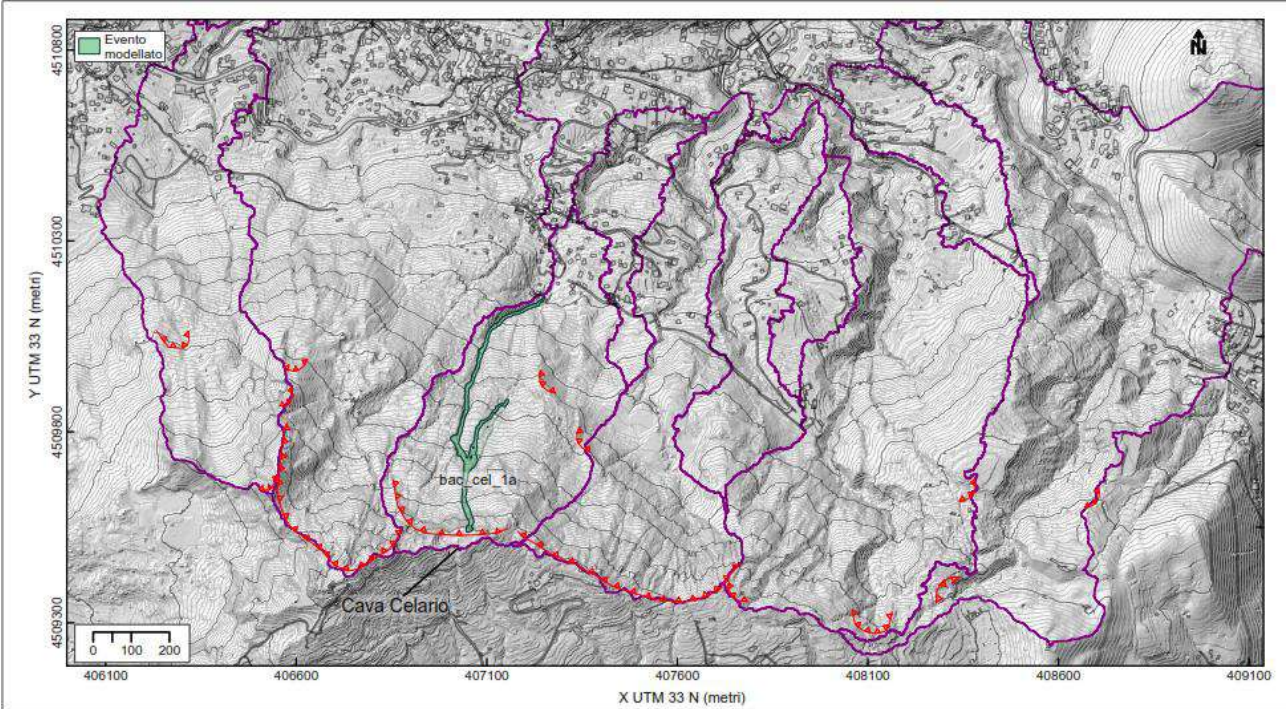
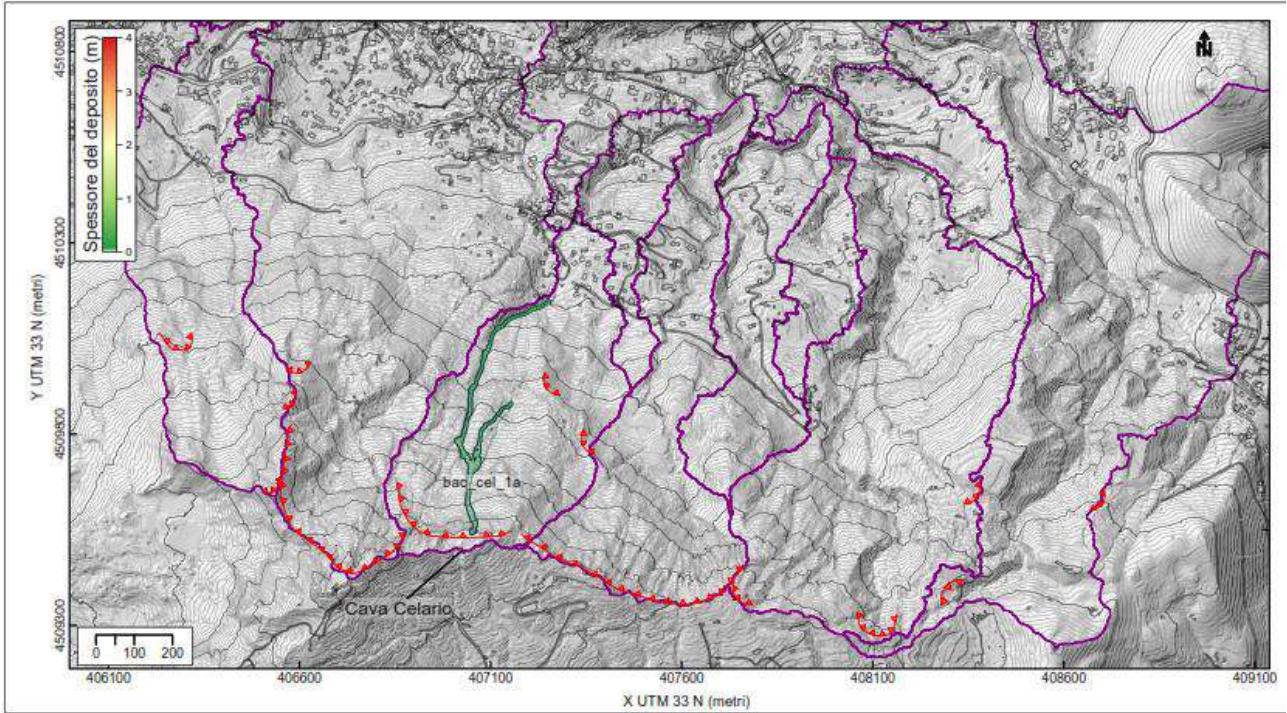
4.2.7 Riferimenti bibliografici

1. Brideau, M.-A., Stead, D., Millard, T.H., Ward, B.C. 2019. Field characterisation and numerical modelling of debris avalanche runout on Vancouver Island, British Columbia, Canada *Landslides*. 16(5), pp. 875-891
2. Calcaterra D., Parise M., Palma B. (2003) - Combining historical and geological data for the assessment of the landslide hazard: A case study from Campania, Italy. *Natural Hazards and Earth System Science* 3 (1-2), pp. 3-16
3. Guadagno F.M., Martino S., Scarascia Mugnozza G. (2003) - Influence of man-made cuts on the stability of pyroclastic covers (Campania - Southern Italy): a numerical modelling approach. *Environmental Geology*, 43, 371-384.
4. Guadagno F.M., Forte R., Revellino P., Fiorillo F., Focareta M. (2005) - Some aspects of the initiation of debris avalanches in the Campania region: the role of morphological slope discontinuities and the development of failure. *Geomorphology*, 66 (2005), 237-254
5. Hungr O. (2002). Analytical models for slides and flows. *Procs*, 2nd. International Symposium on Landslide Risk Mitigation and Protection of Cultural and Natural Heritage, UNESCO and Kyoto University, 21-25 January 2002, Kyoto, Japan;
6. Hungr O. (1997). Some methods of landslide hazard intensity mapping. *Procs.*, Landslide Risk Workshop, R.Fell and D.M. Cruden, Eds., Balkema, Rotterdam , 215-226;
7. Hungr O., McDougall S., Bovis M. (2005) Entrainment of material by debris flows. In: *Debris-flow Hazards and Related Phenomena*. Springer Praxis Books. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/3-540-27129-5_7. Publisher Name Springer, Berlin
8. Hungr O., Evans S.G., Bovis M.J., Hutchinson J.N. 2001 A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience*, 7, 221-238.
9. McDougall, S., and Hungr, O. 2004. A model for the analysis of rapid landslide motion across three-dimensional terrain. *Canadian Geotechnical Journal*, 41(6): 1084–1097.
10. McDougall, S., and Hungr, O. 2005. Dynamic modelling of entrainment in rapid landslides. *Canadian Geotechnical Journal*, 42(5): 1437–1448.

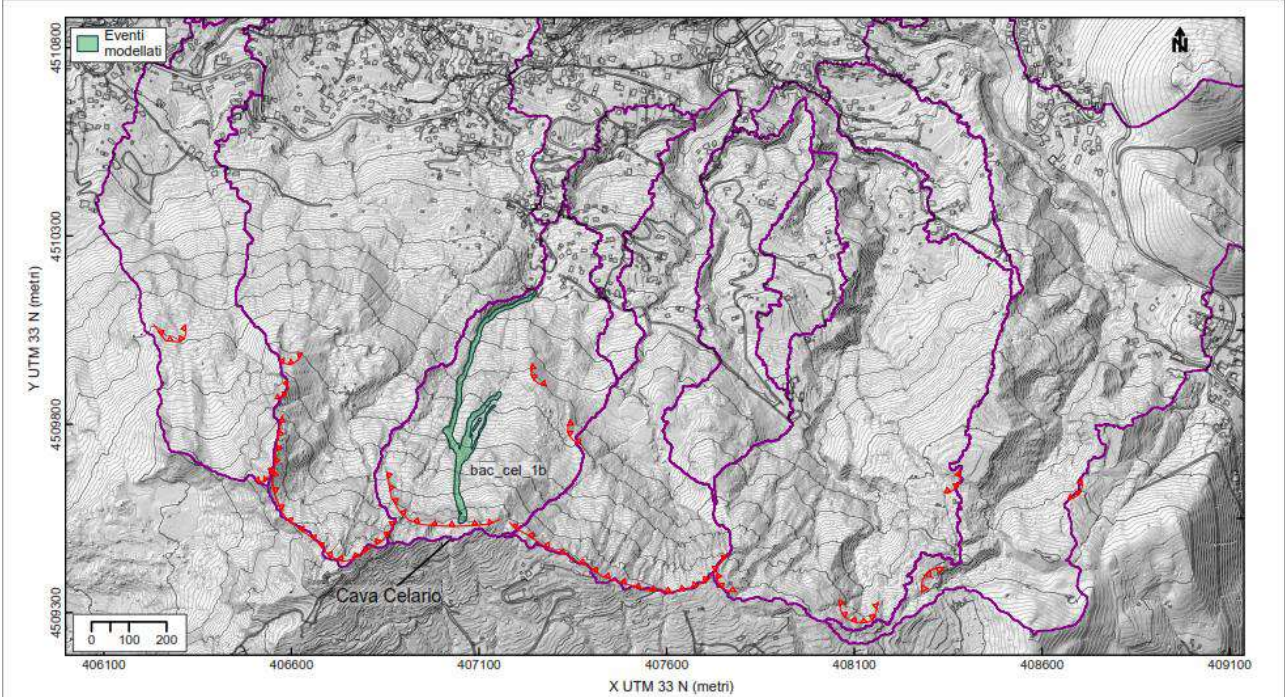
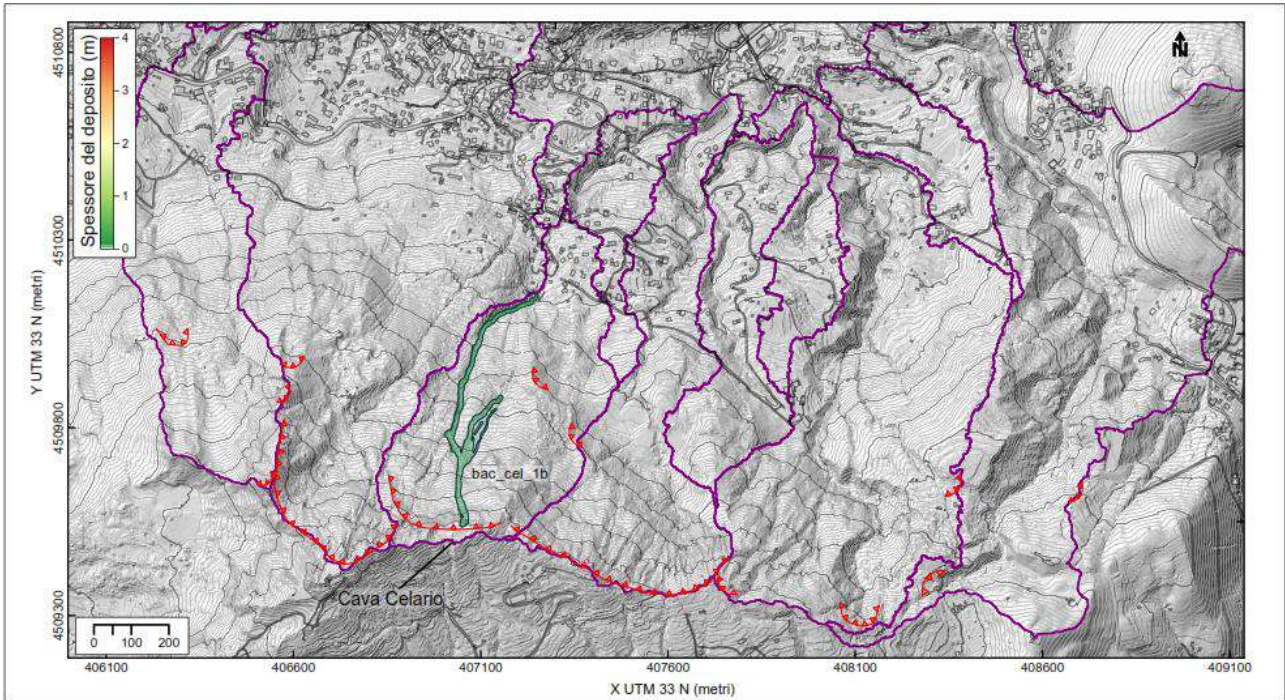
11. Pierson (2005) Hyperconcentrated flow — transitional process between water flow and debris flow. In: Debris-Flow Hazards and Related Phenomena Matthias Jakob and Oldrich Hungr (eds.), Springer and Praxis editorials. ISBN: 978-3-540-20726-9.
12. Revellino, P., Hungr, O., Guadagno, F.M., and Evans, S.G. 2004. Velocity and runout simulation of destructive debris flows and debris avalanches in pyroclastic deposits, Campania region, Italy. *Environmental Geology*, 45: 295–311.
13. Revellino P., Guadagno F. M., Hungr O. (2008). Morphological methods and dynamic modelling in landslide hazard assessment of the Campania Apennine carbonate slope. *Landslides*. 5, 59-70
14. Revellino P., Guerriero L., Grelle G., Hungr O., Fiorillo F., Esposito L., Guadagno F.M. (2013) Initiation and propagation of the 2005 debris avalanche at Nocera Inf. (Southern Italy). *Italian Journal of Geosciences*, 132, 3, 366-379.

APPENDICE

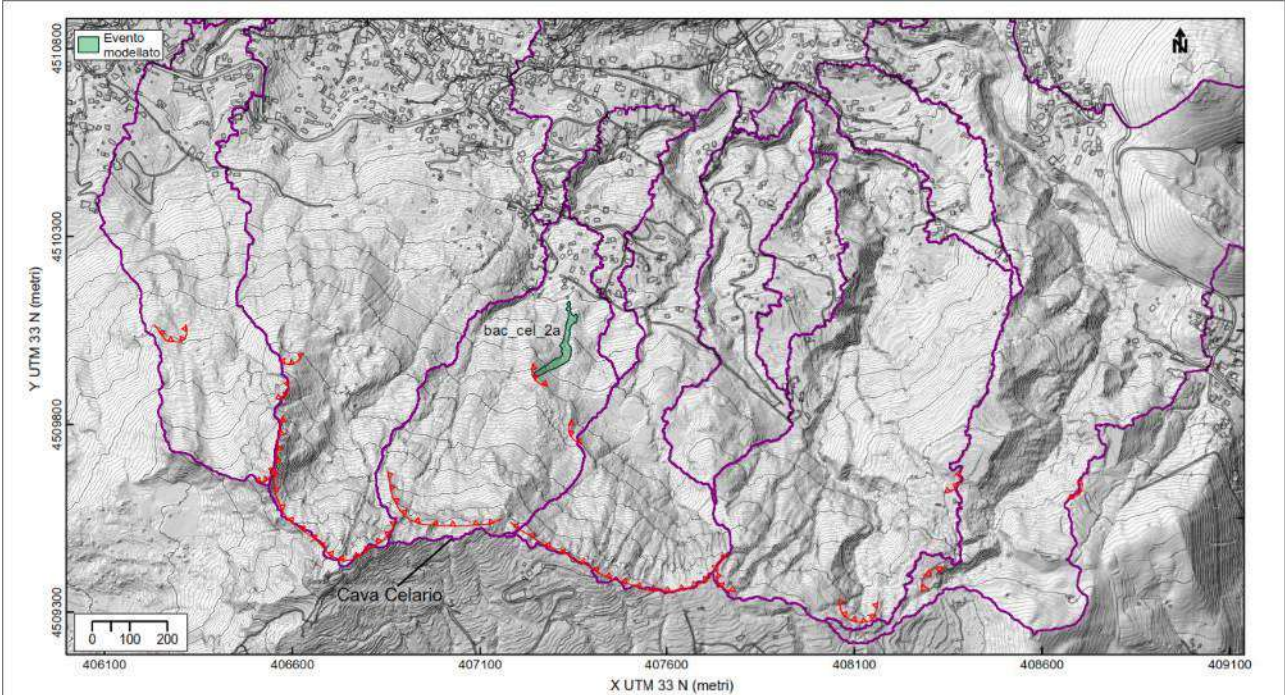
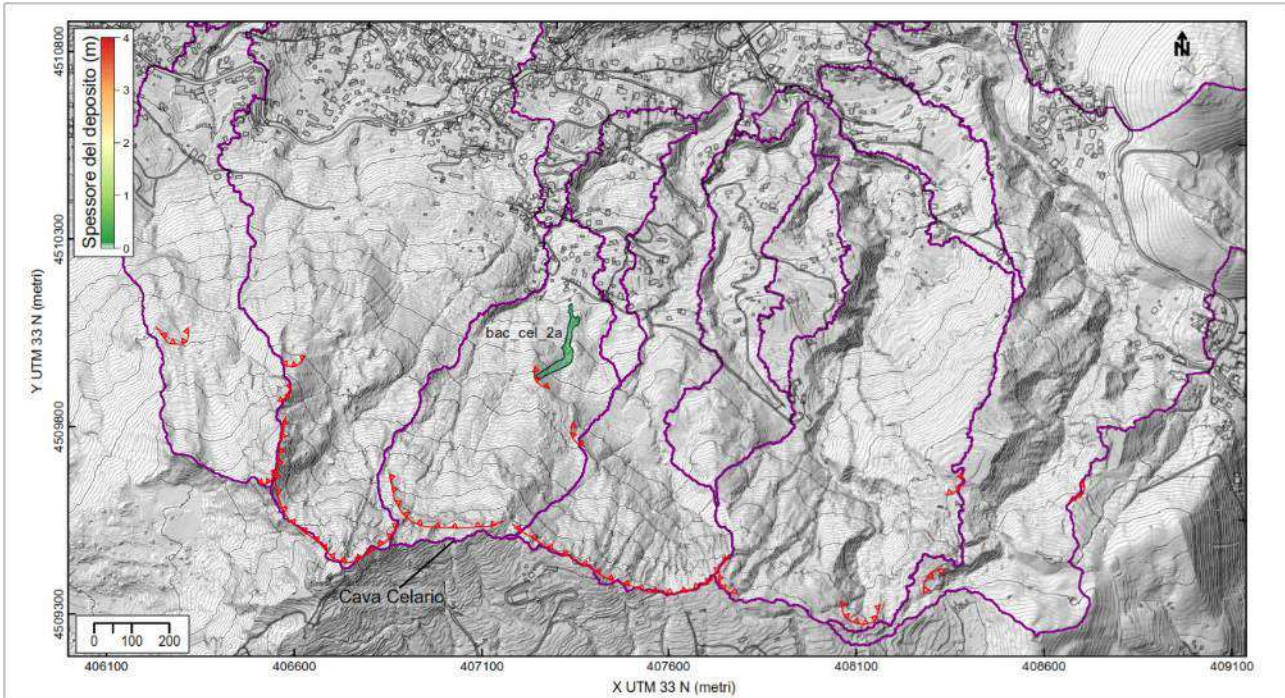
bac_cel_1a



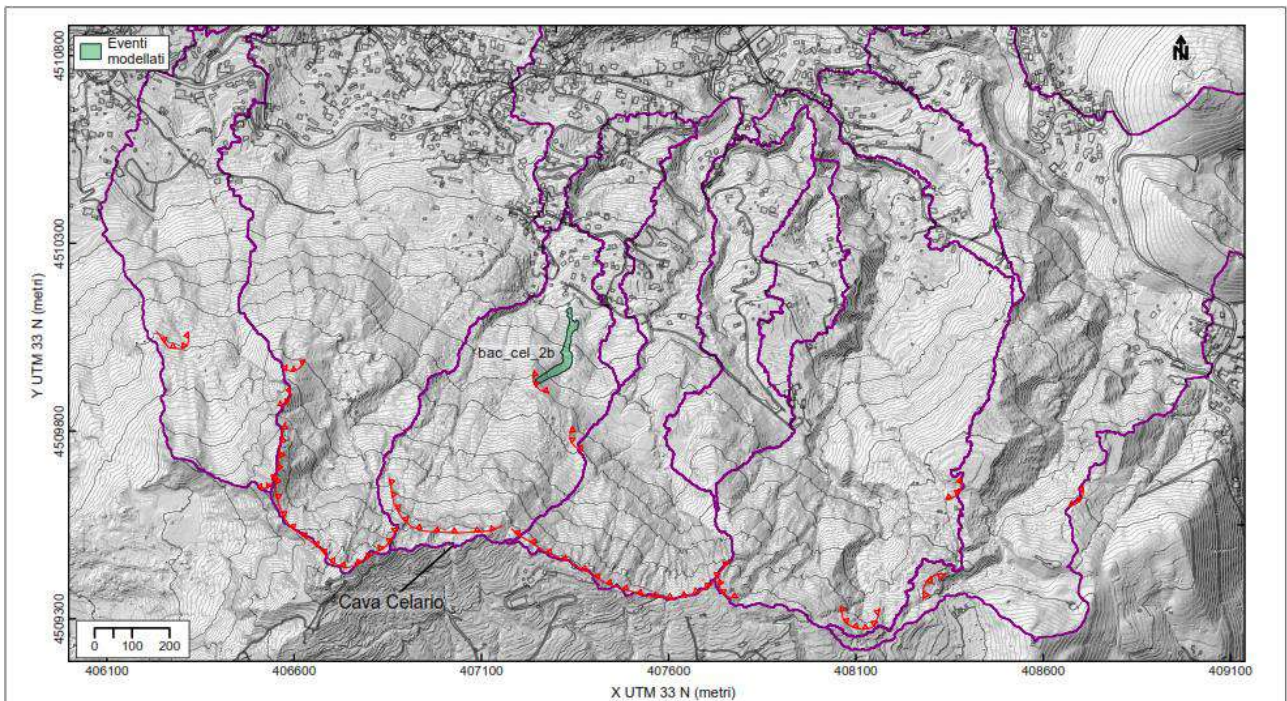
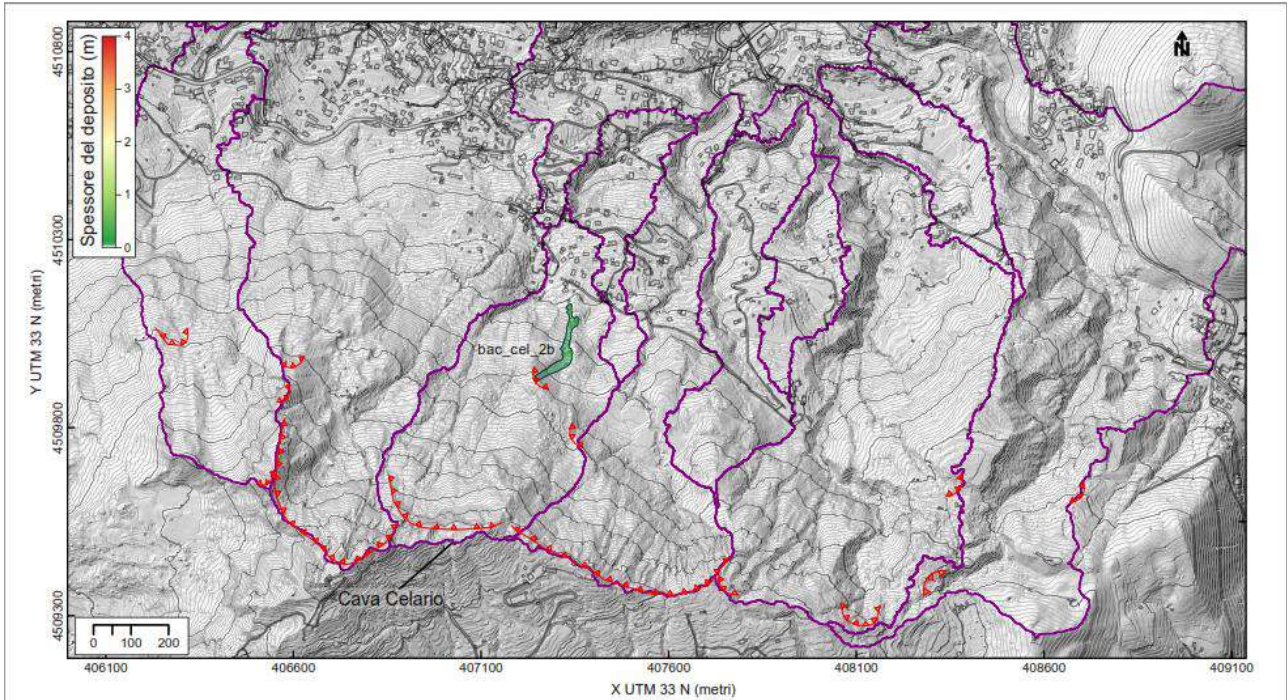
bac_cel_1b



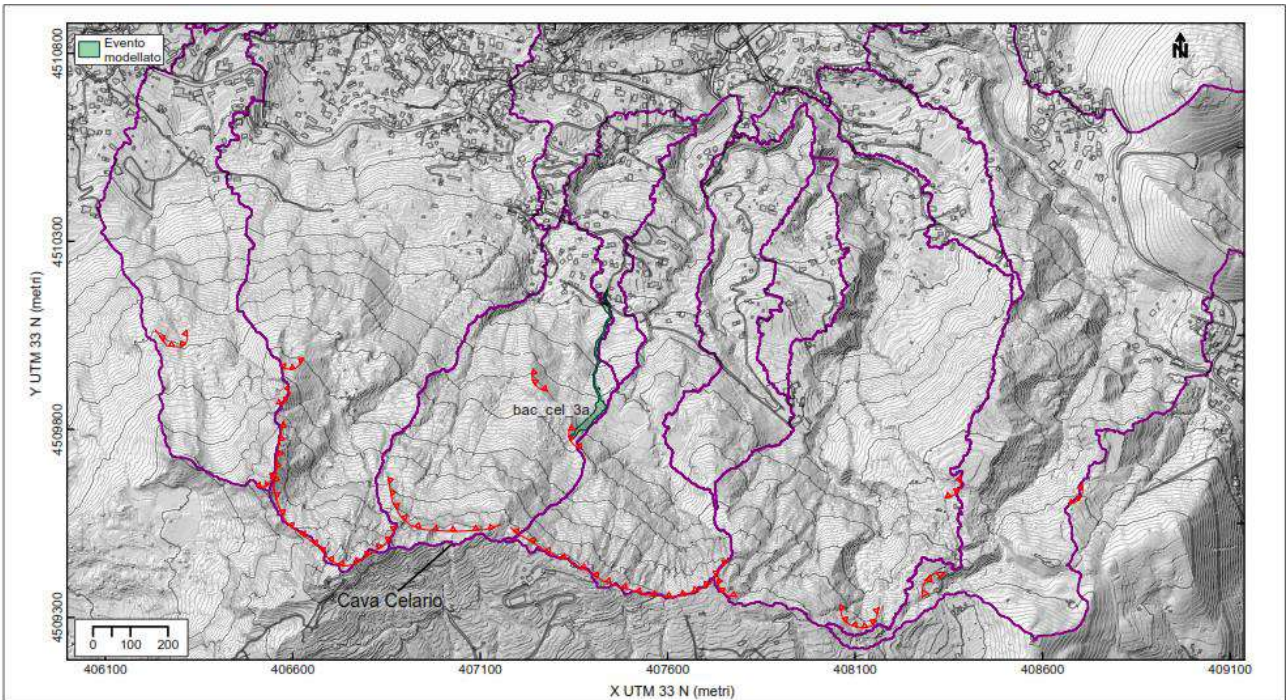
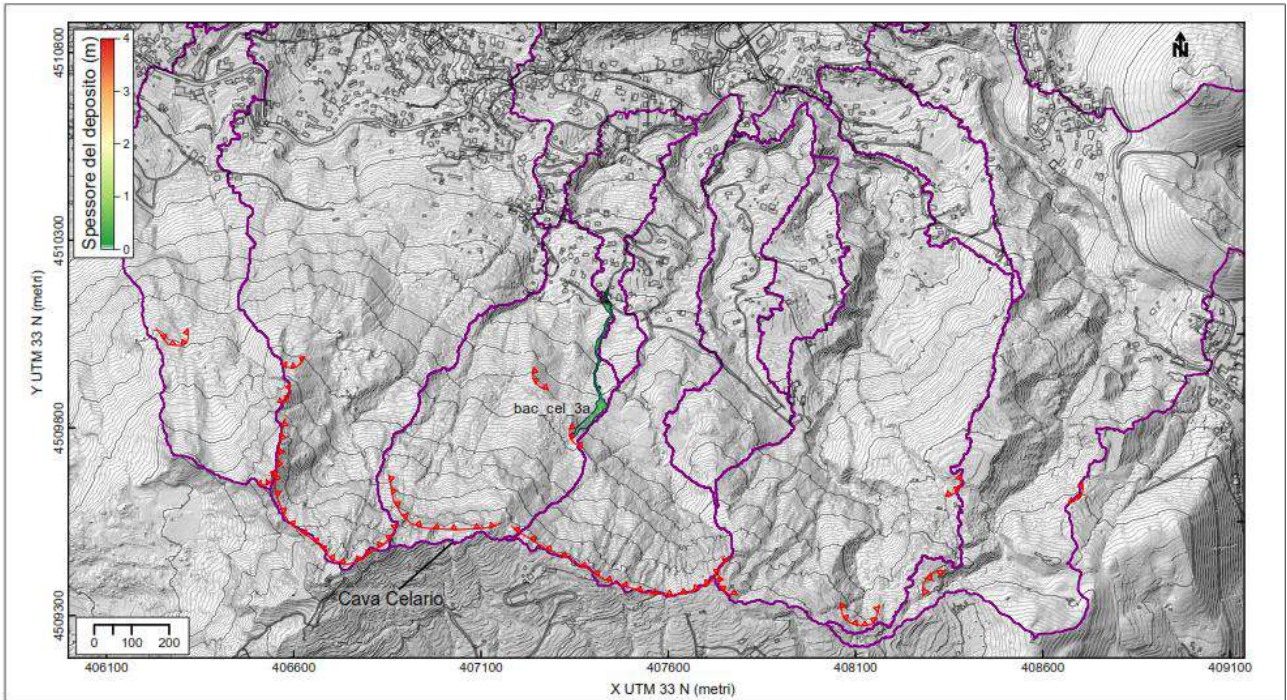
bac_cel_2a



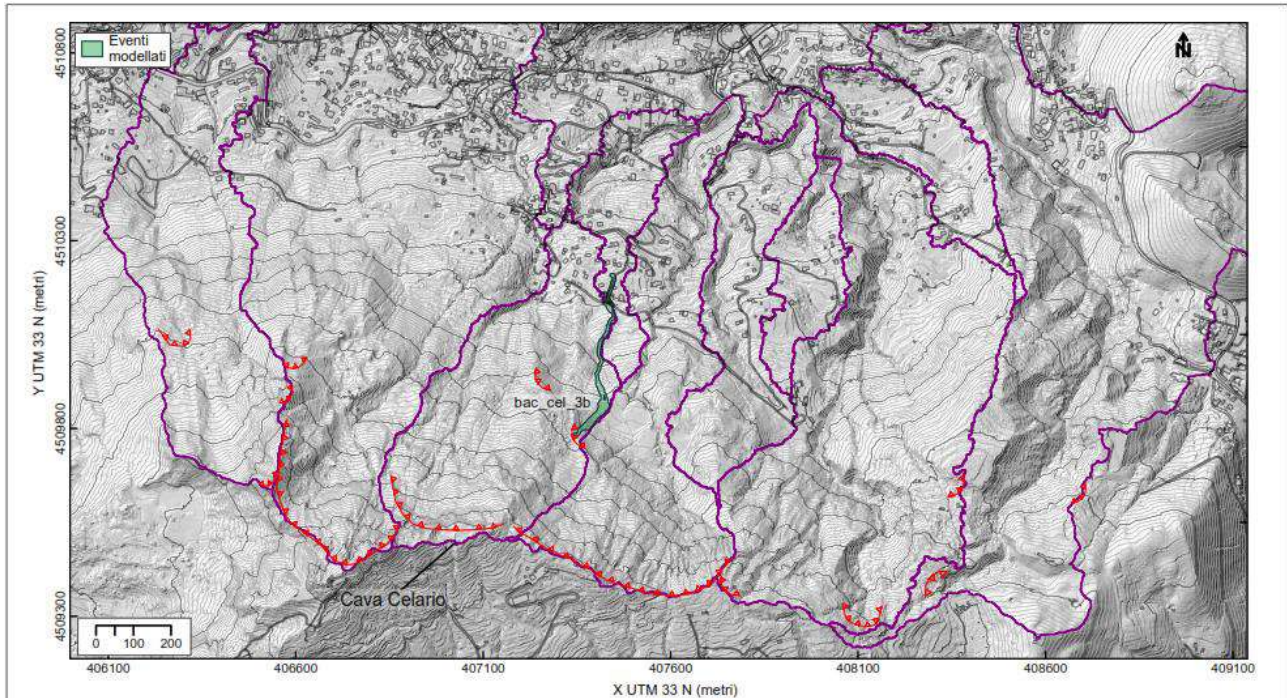
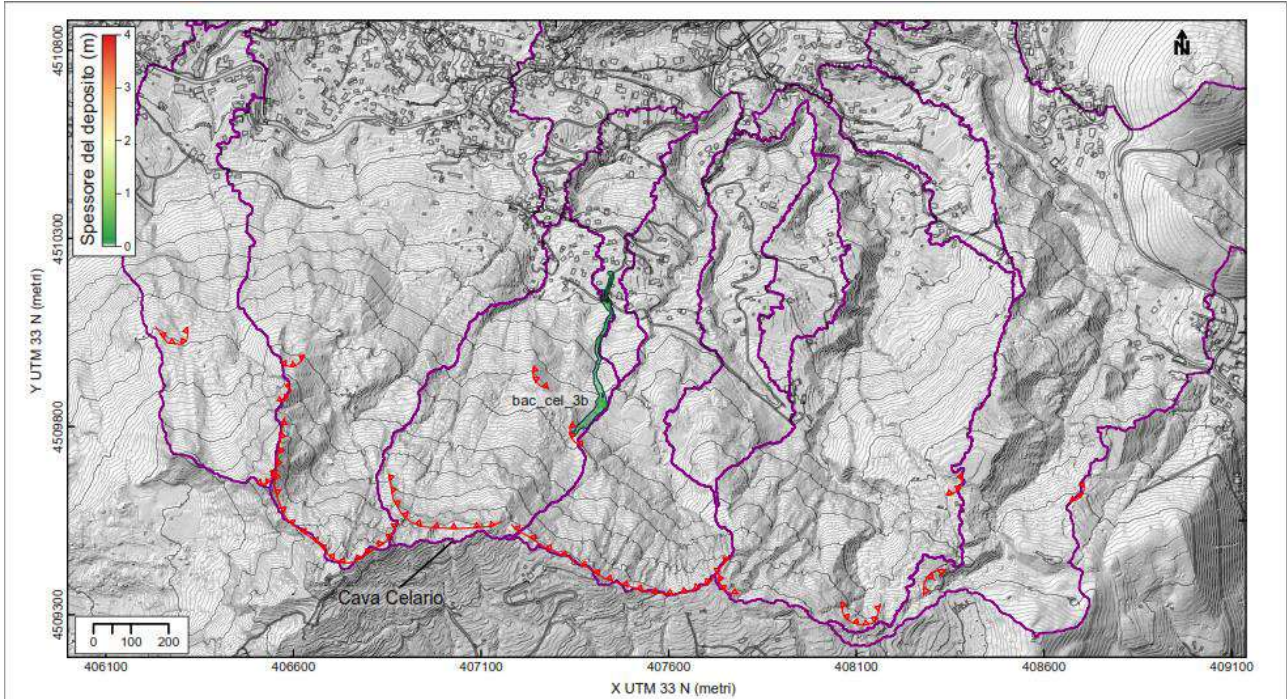
bac_cel_2b



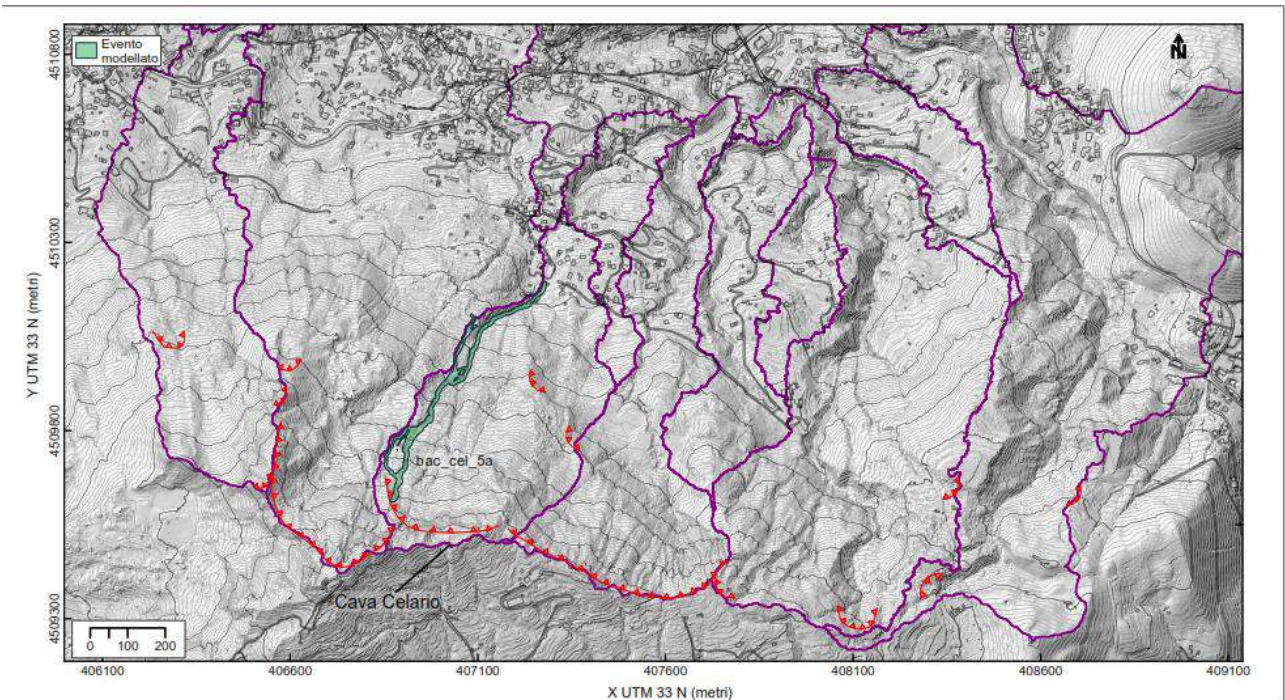
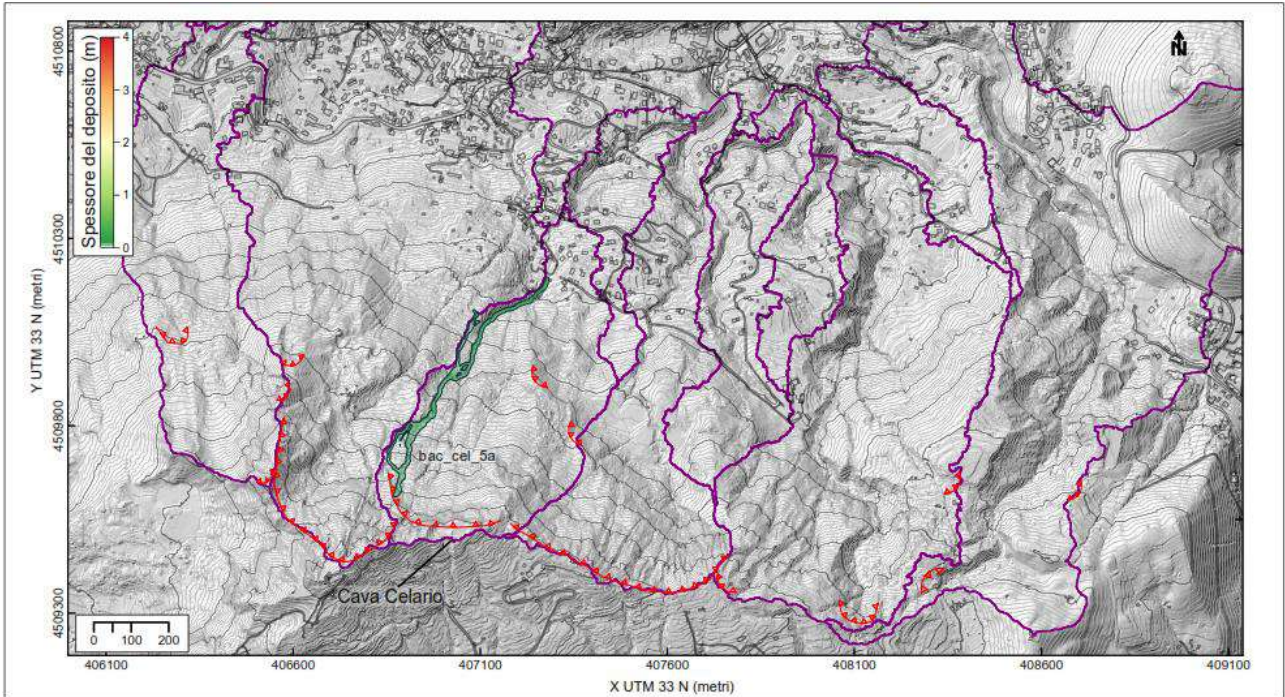
bac_cel_3a



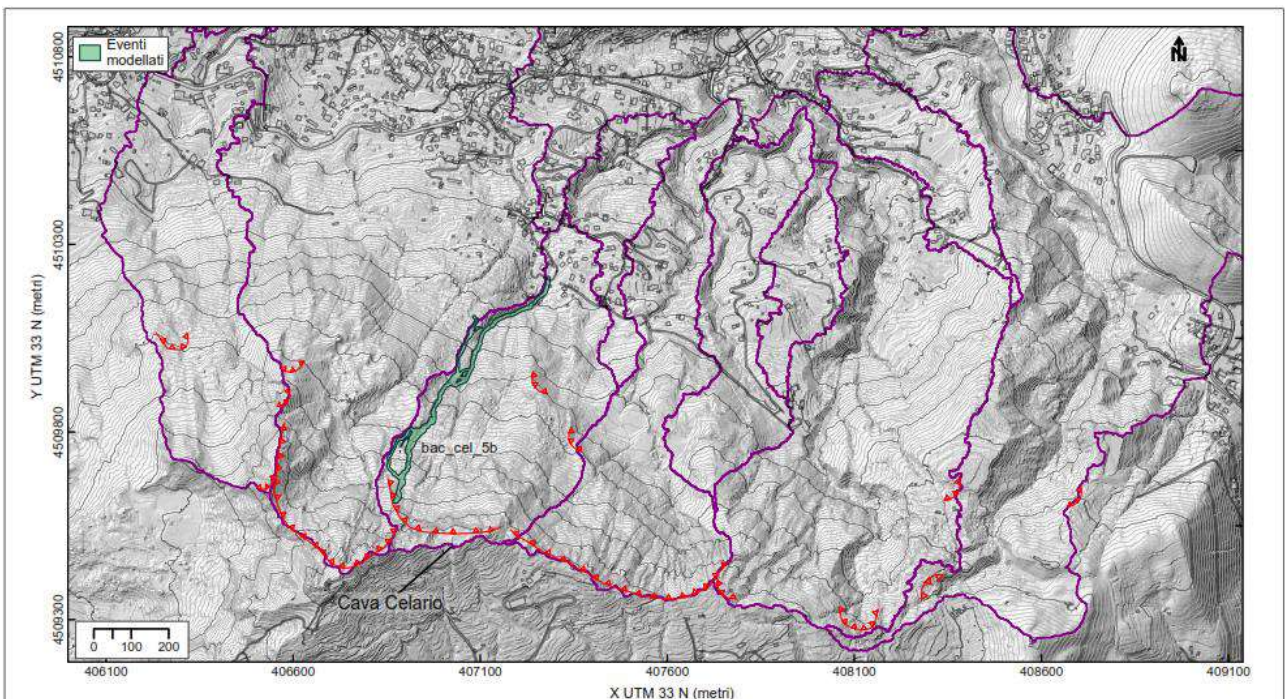
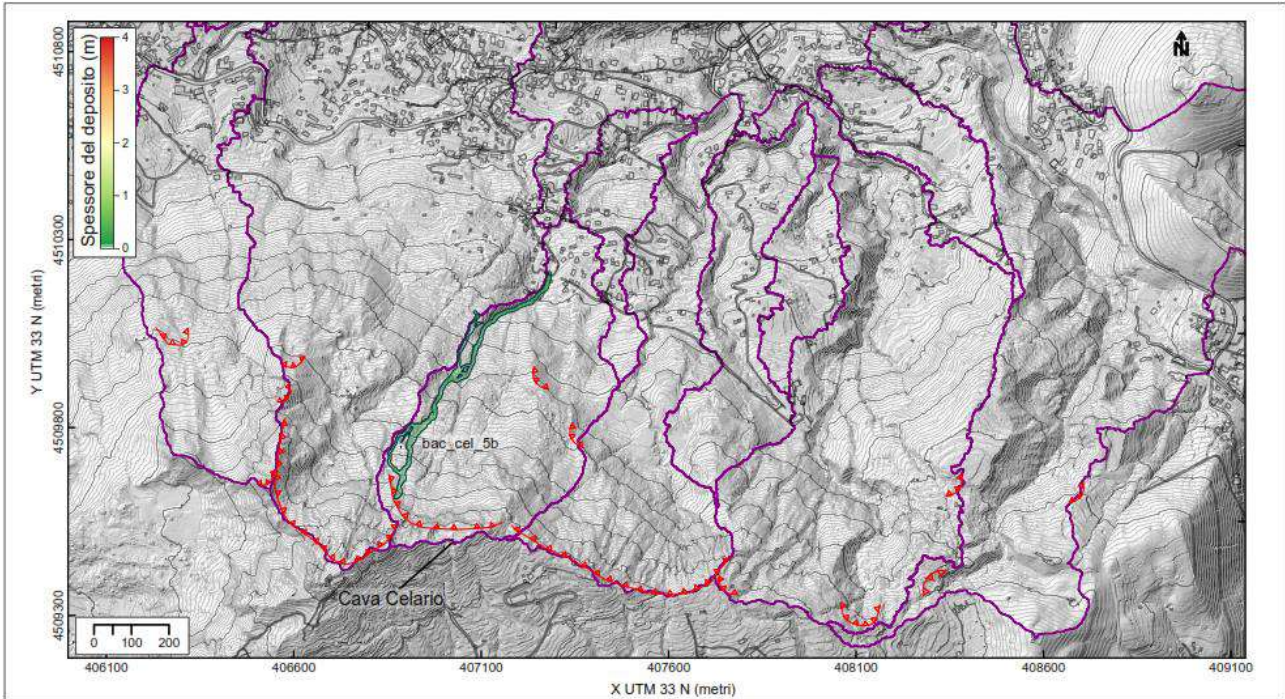
bac_cel_3b



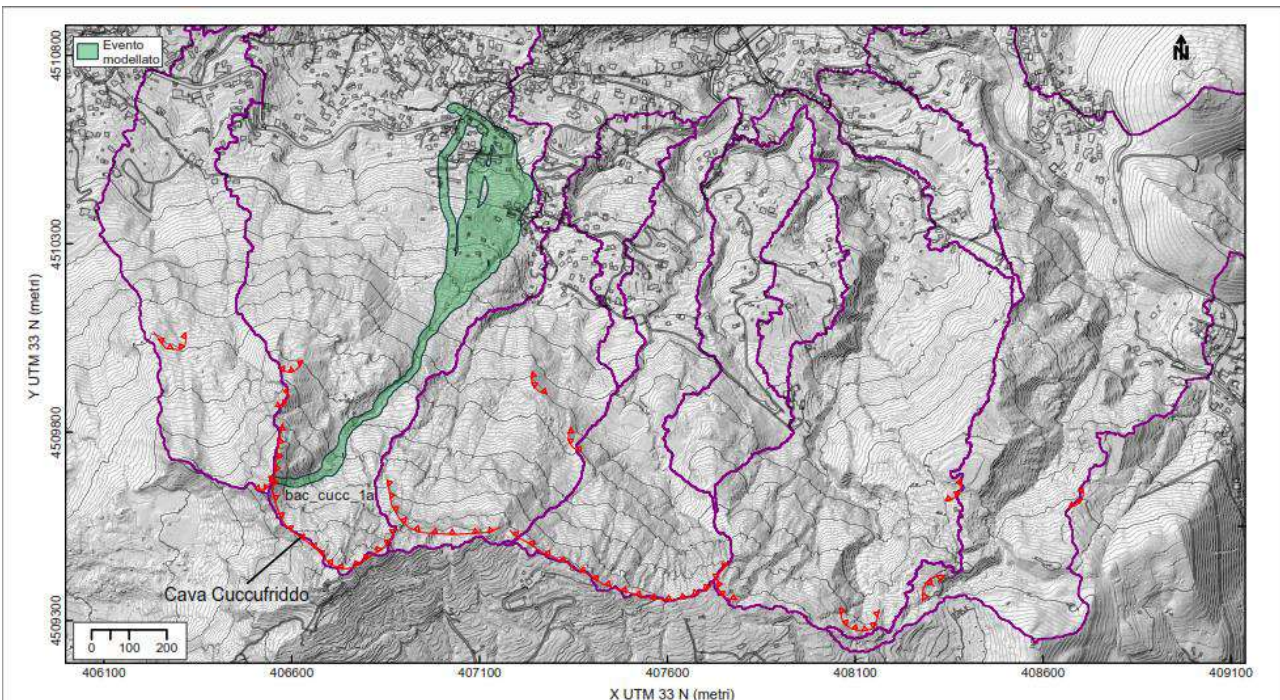
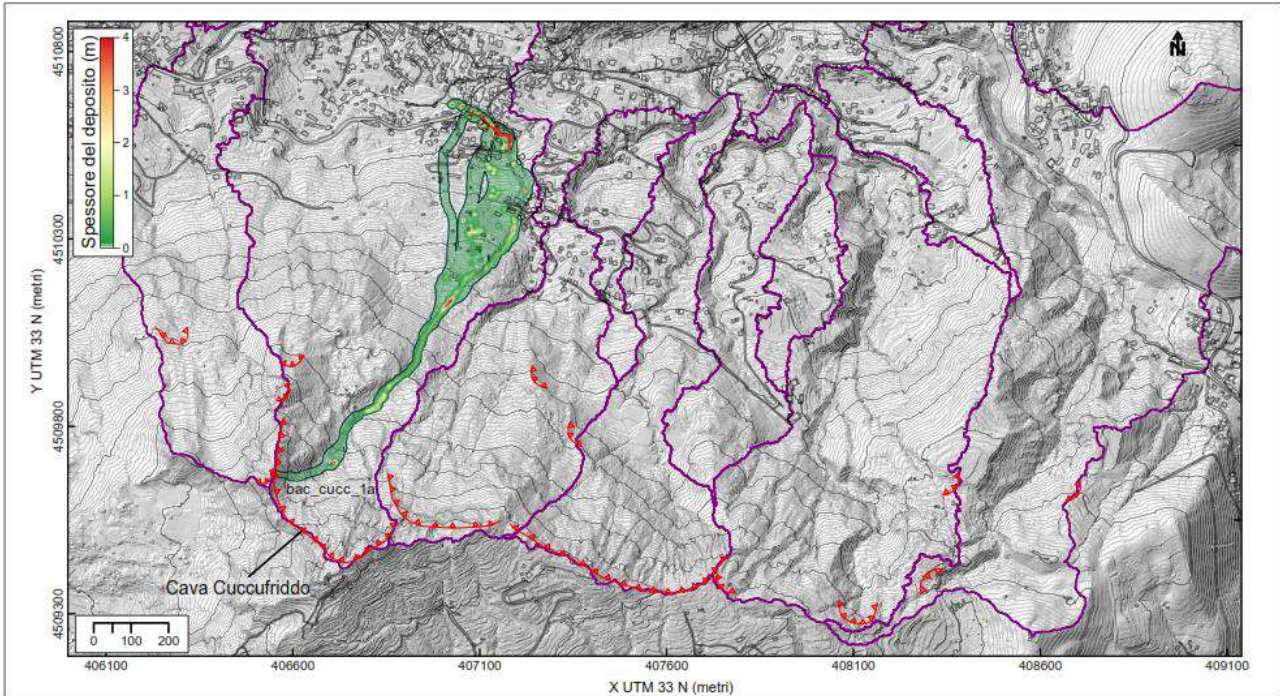
bac_cel_5a



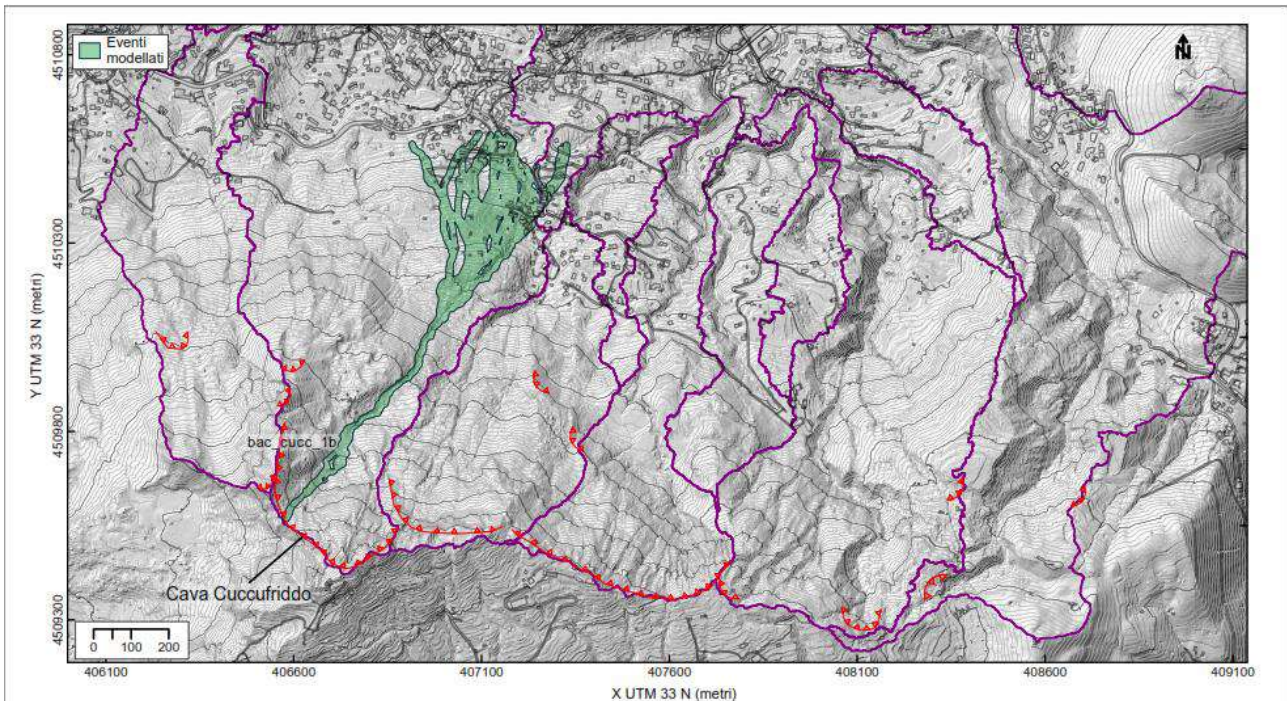
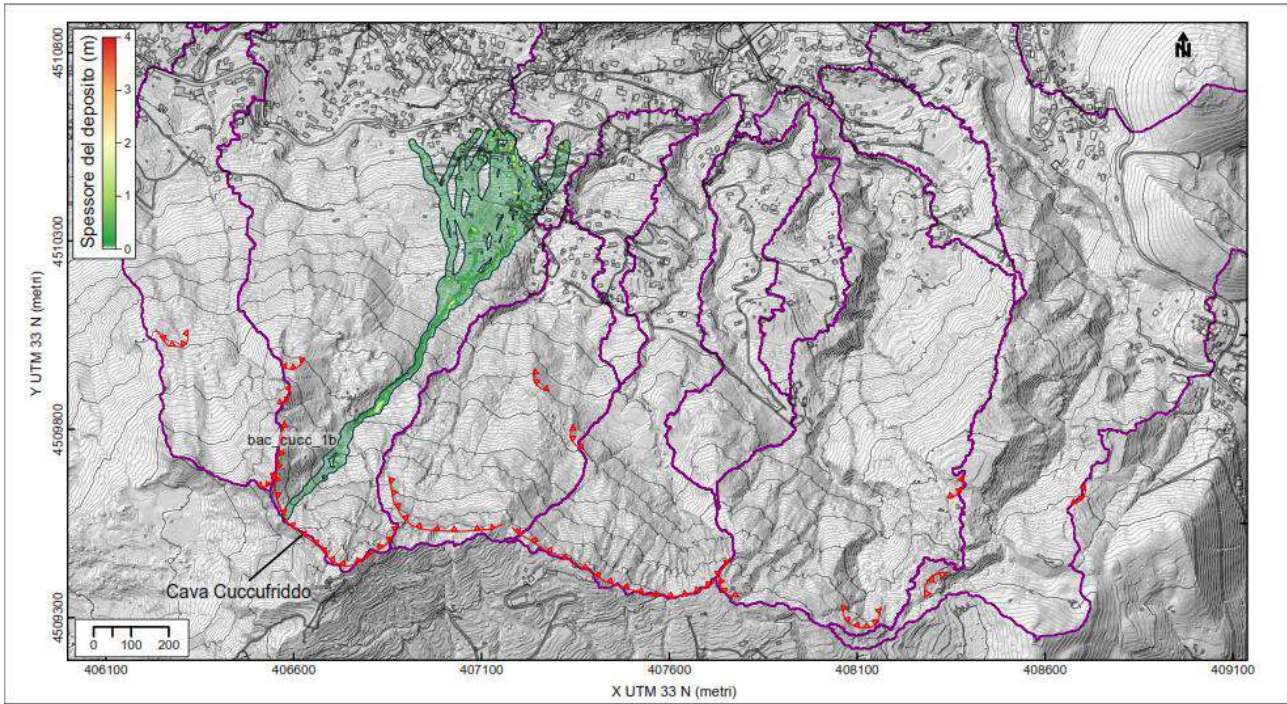
bac_cel_5b



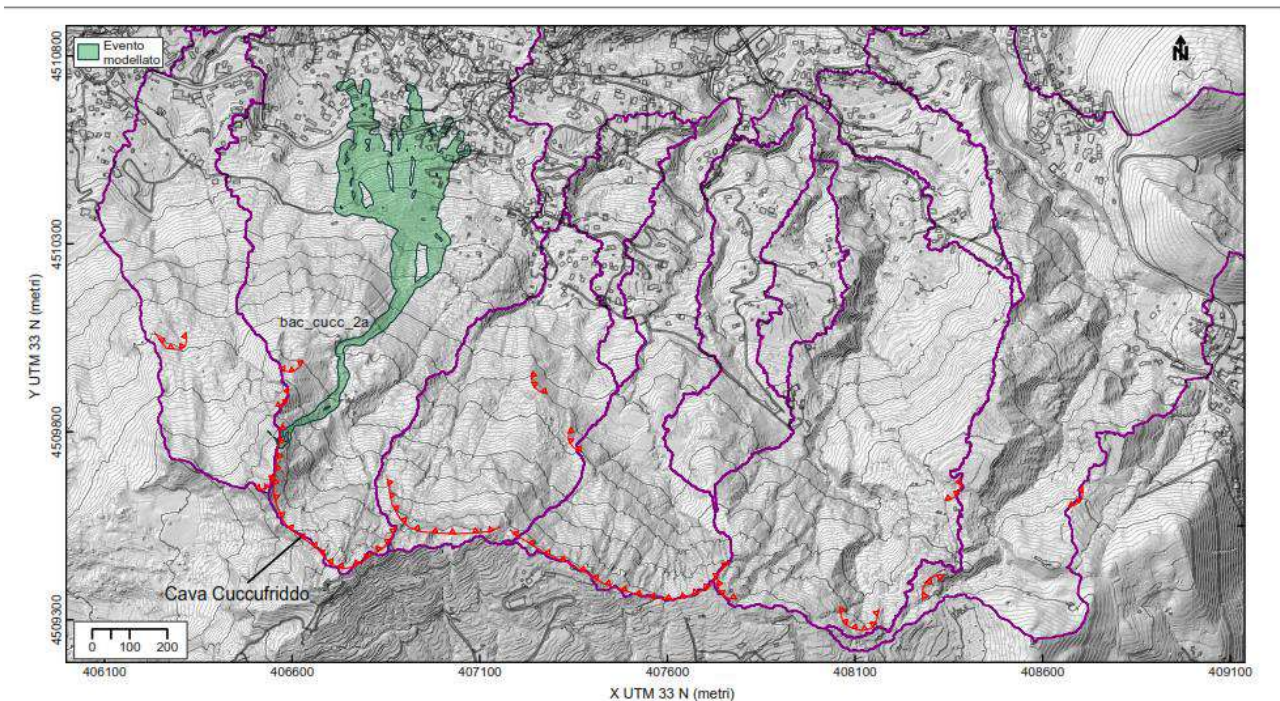
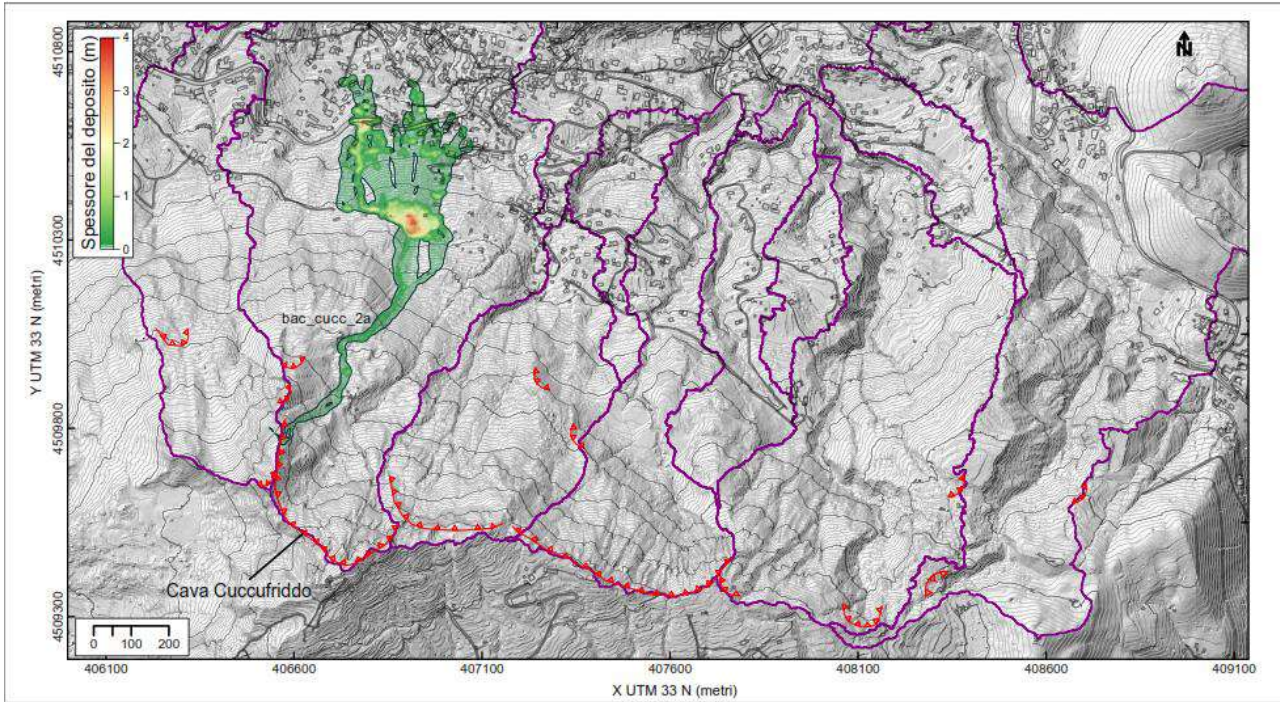
bac_cucc_1a



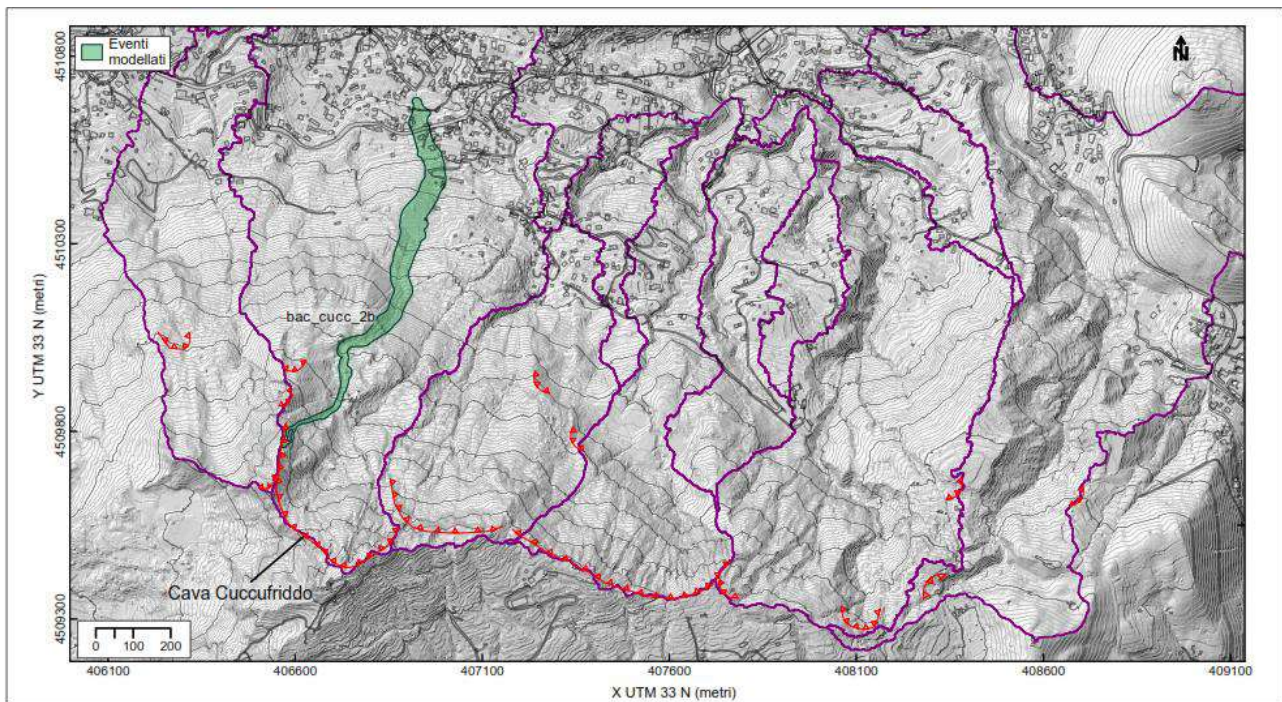
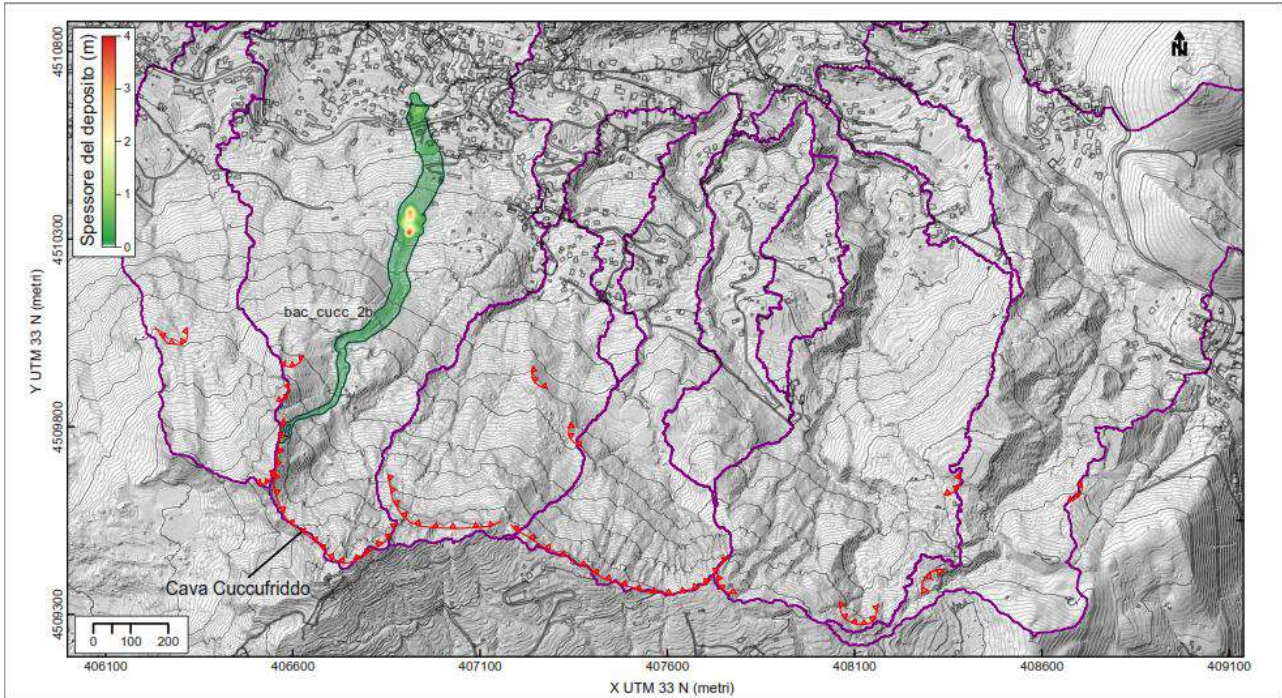
bac_cucc_1b



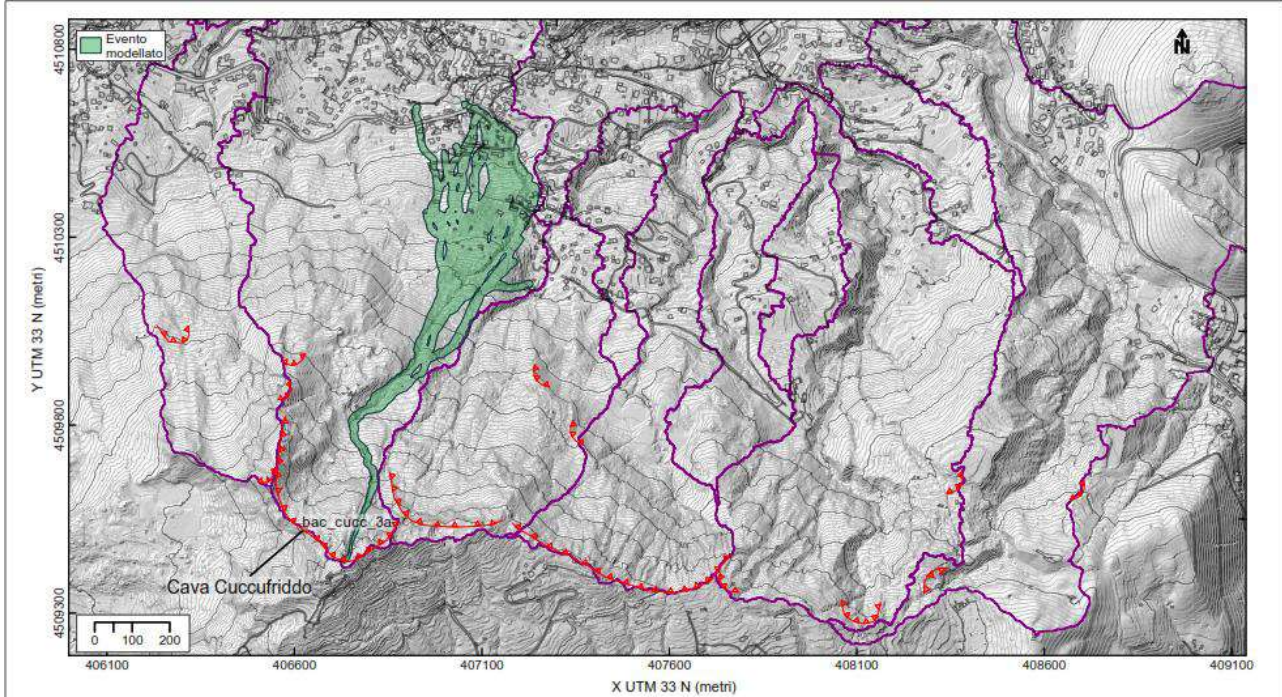
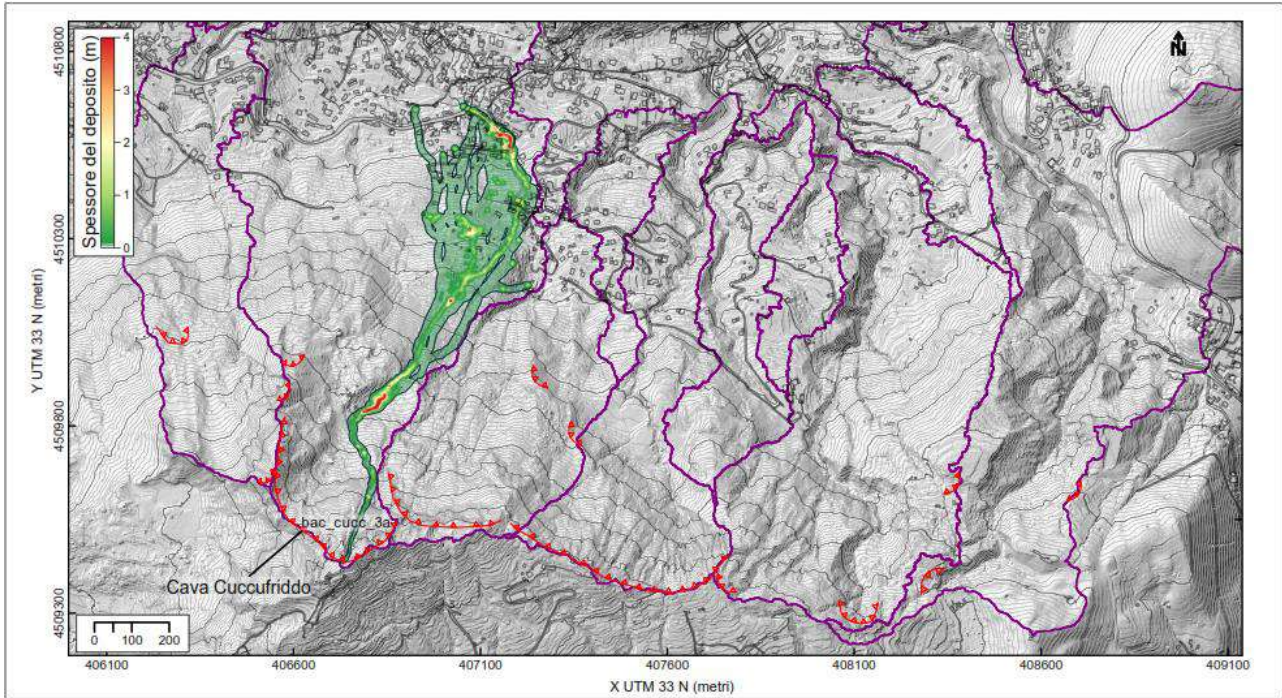
bac_cucc_2a



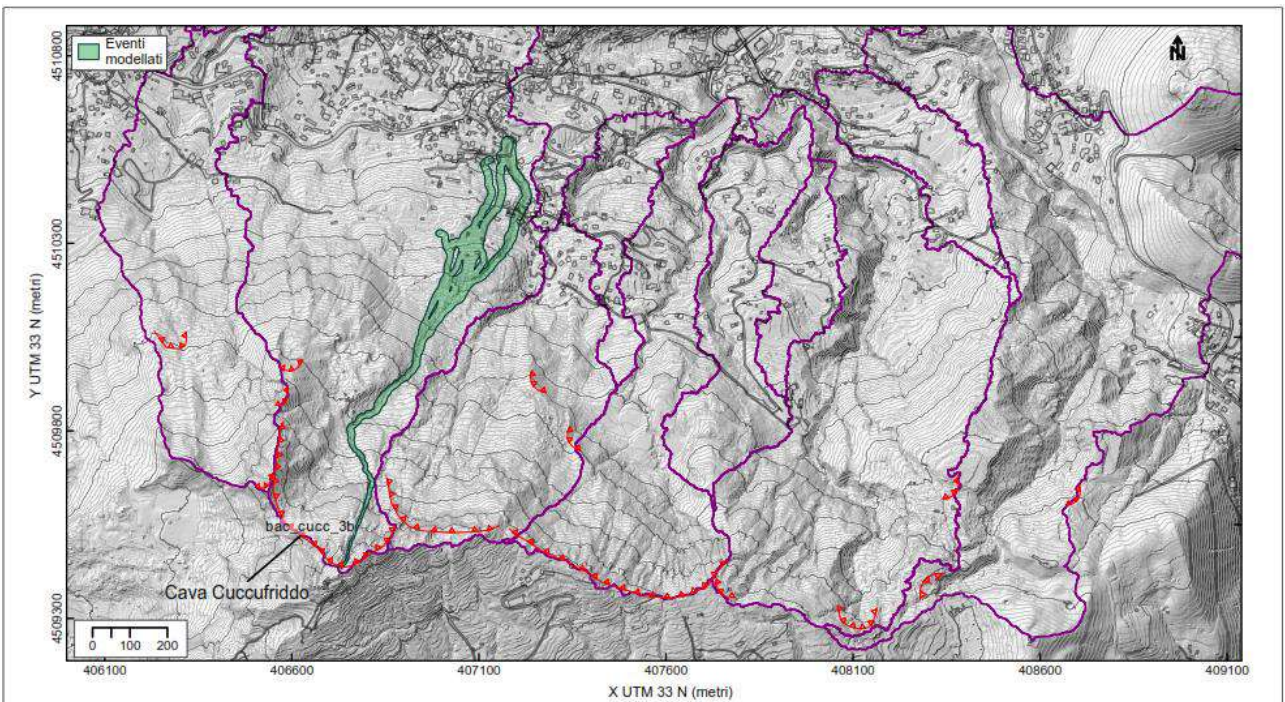
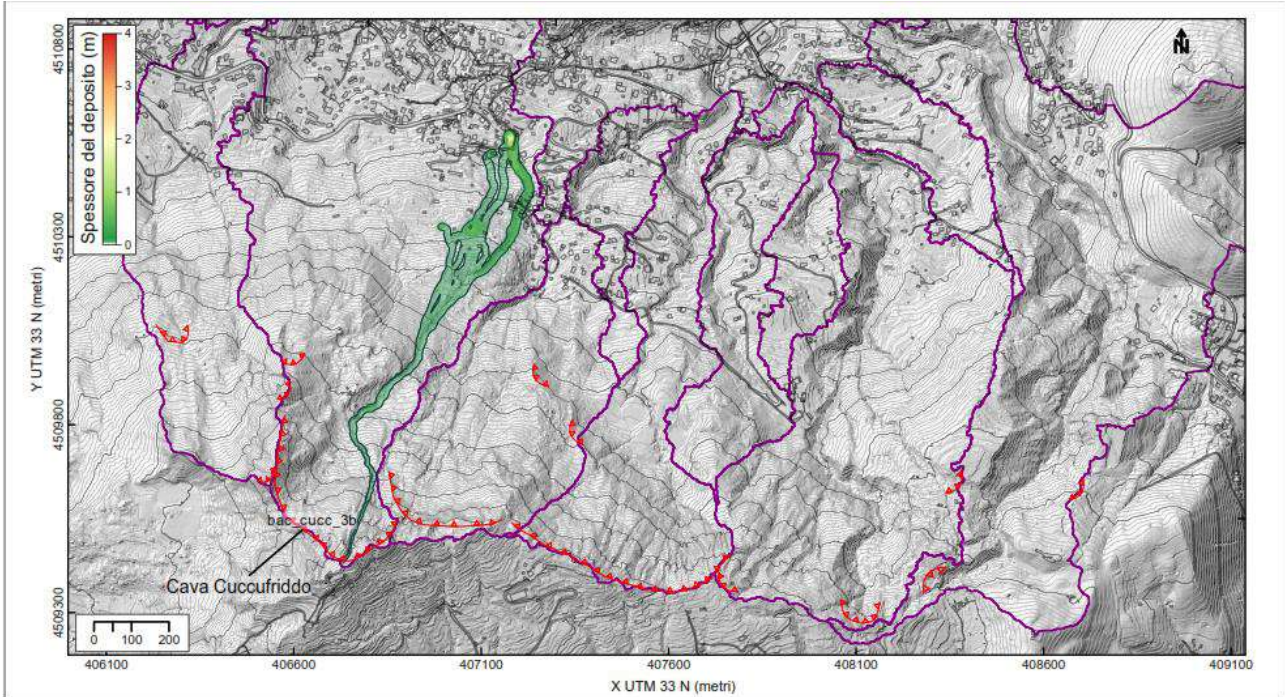
bac_cucc_2b



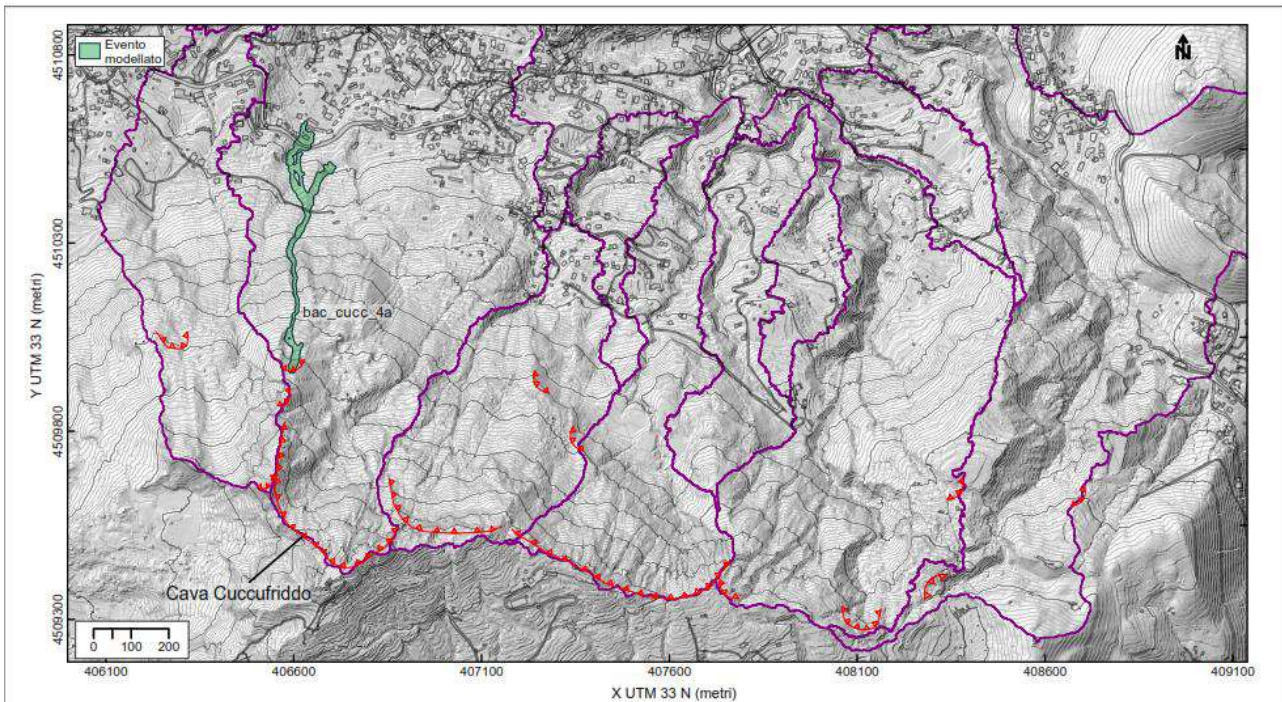
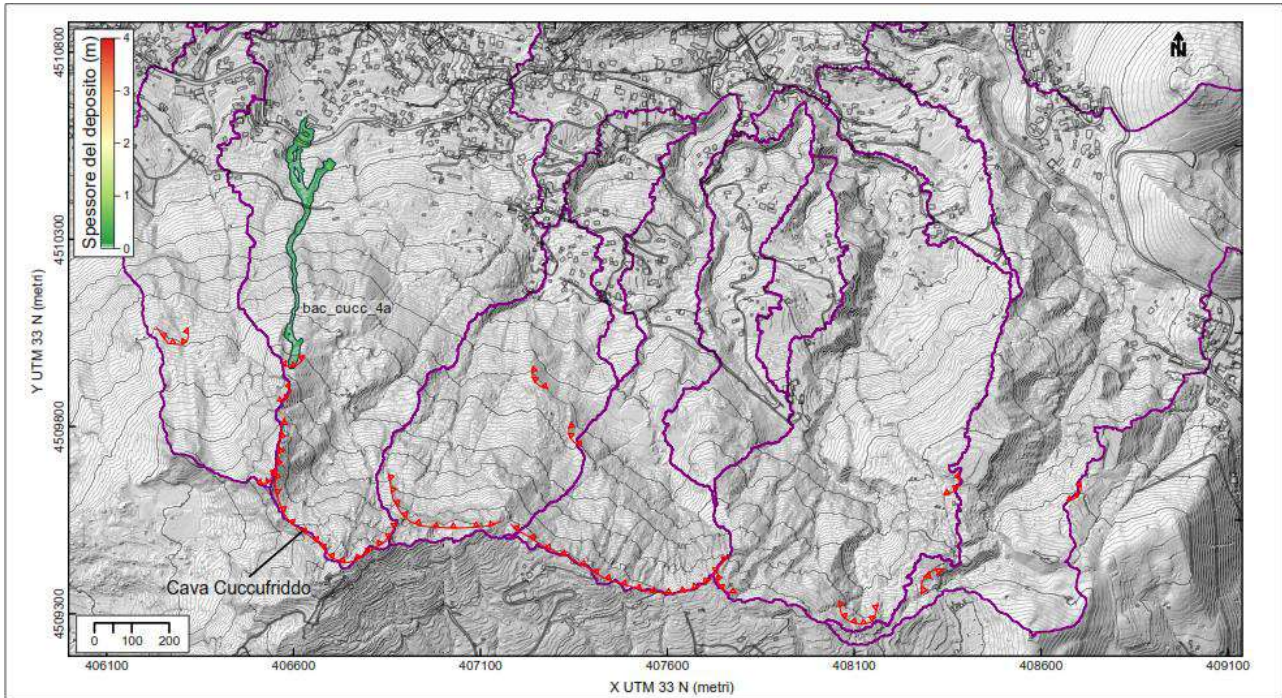
bac_cucc_3a



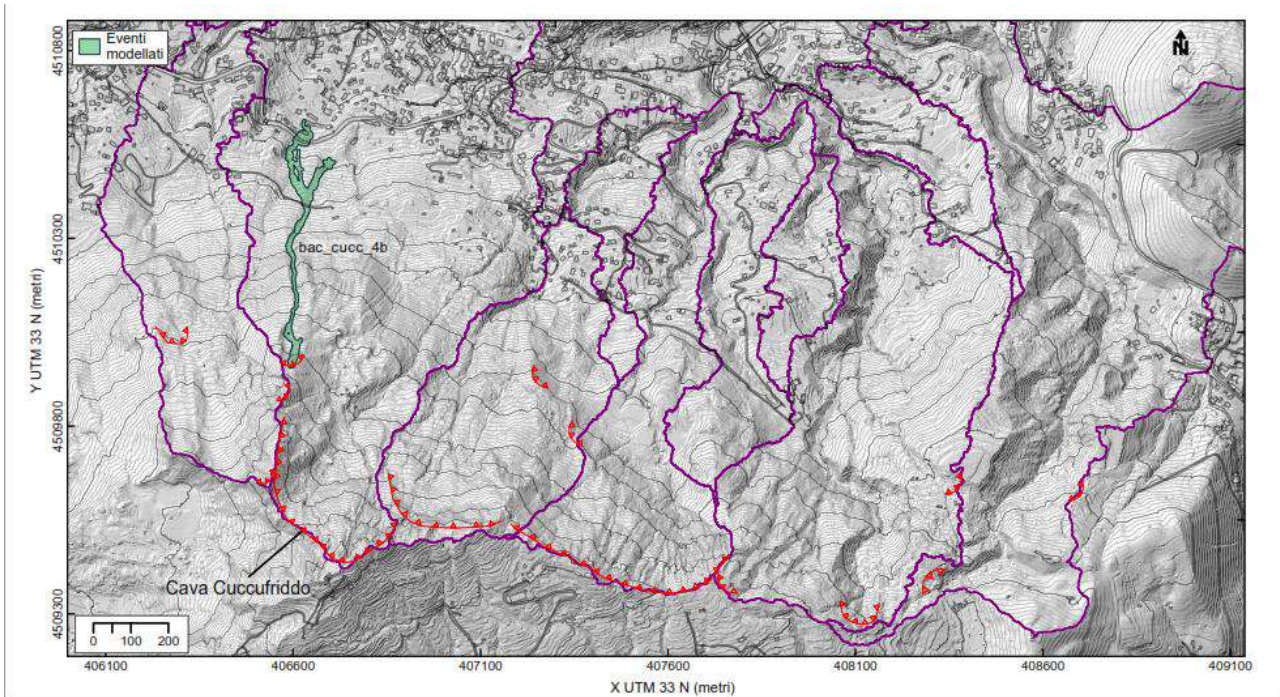
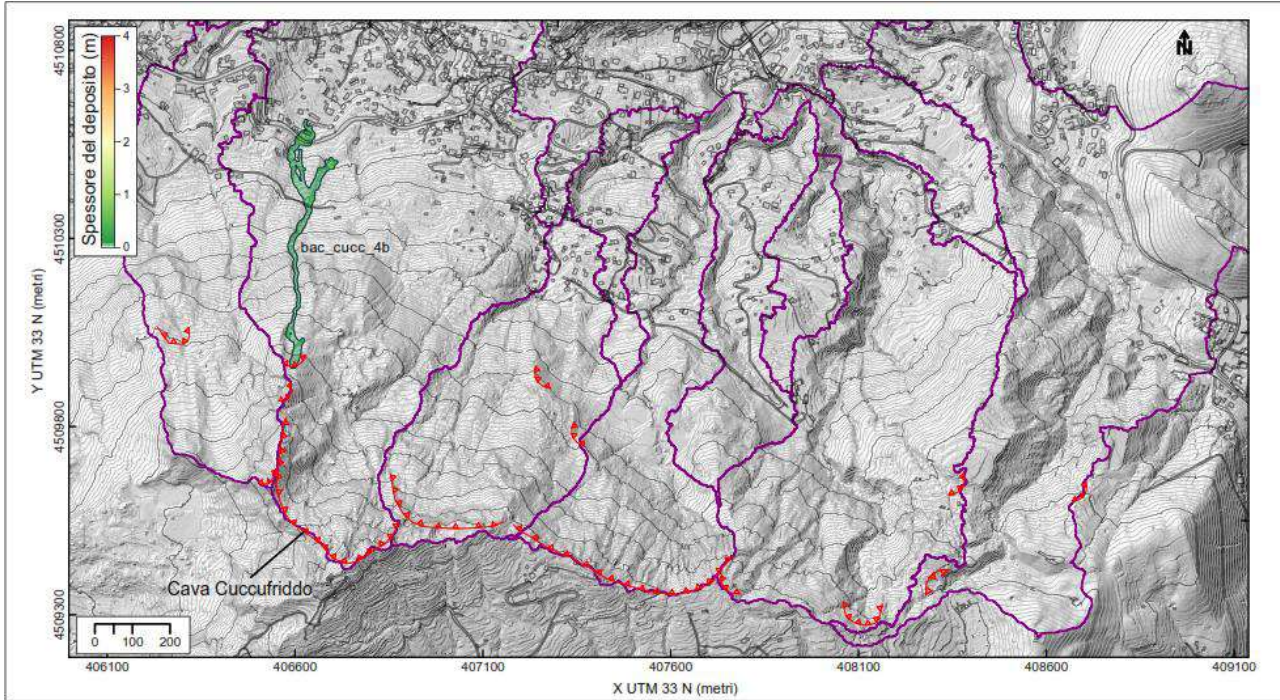
bac_cucc_3b



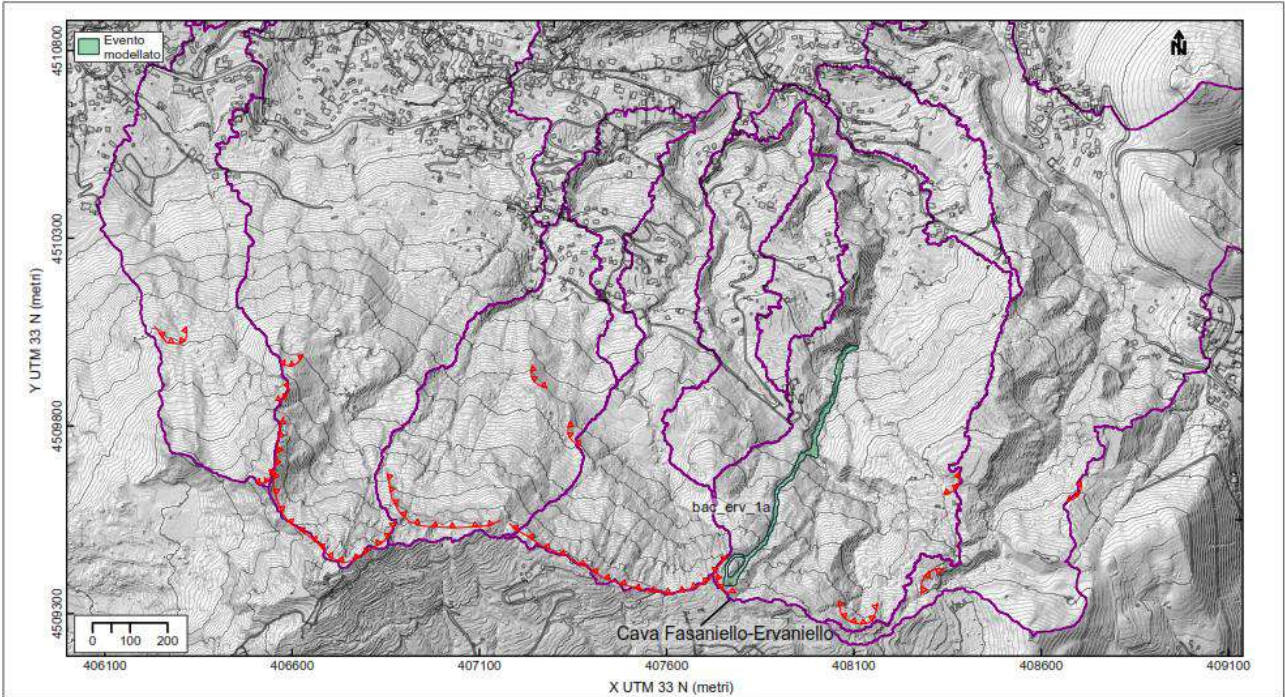
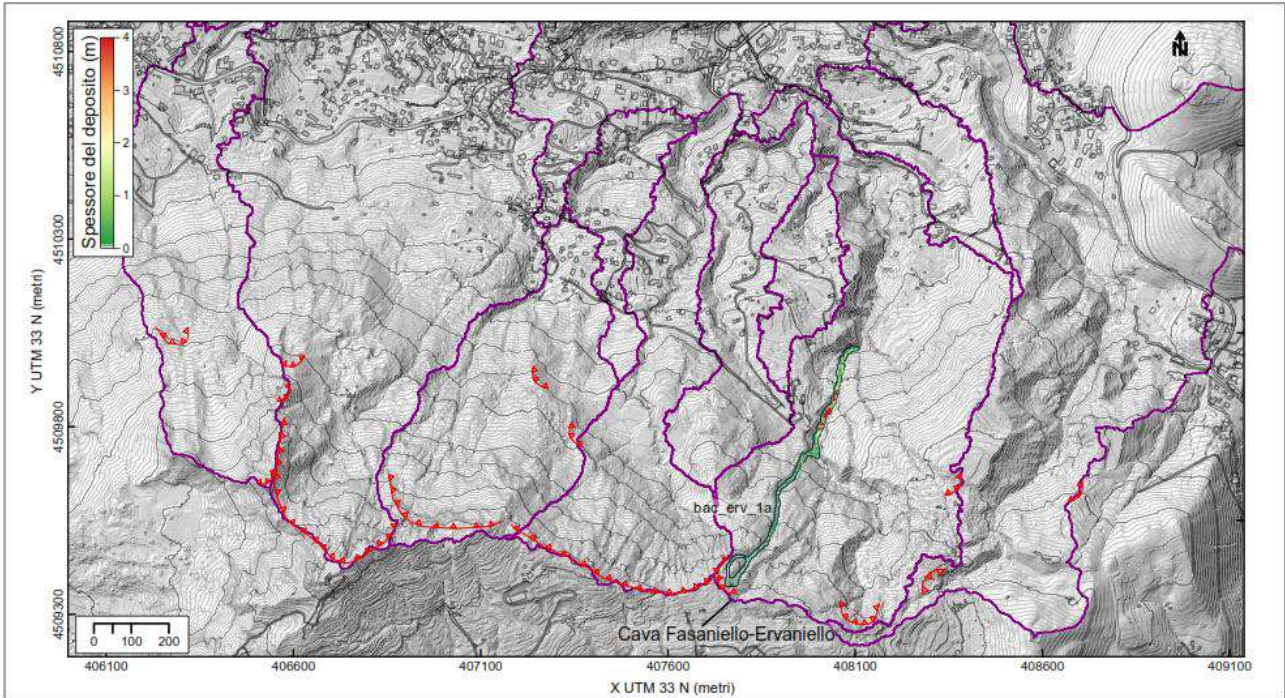
bac_cucc_4a



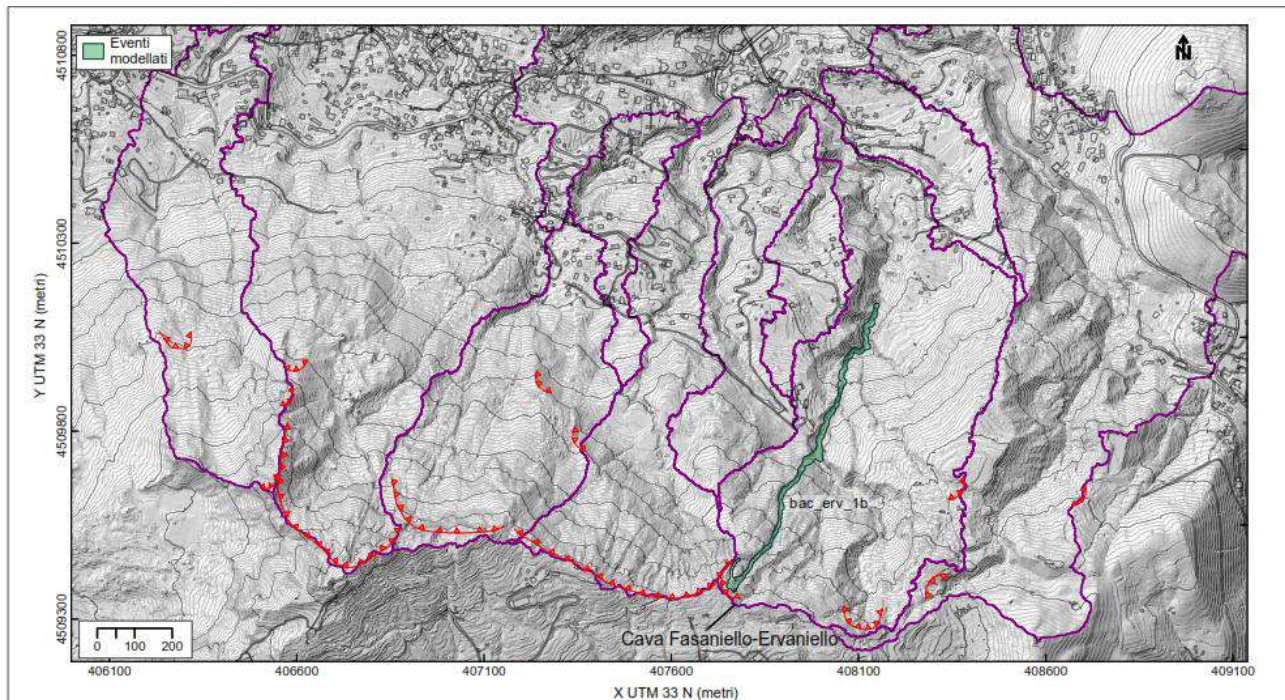
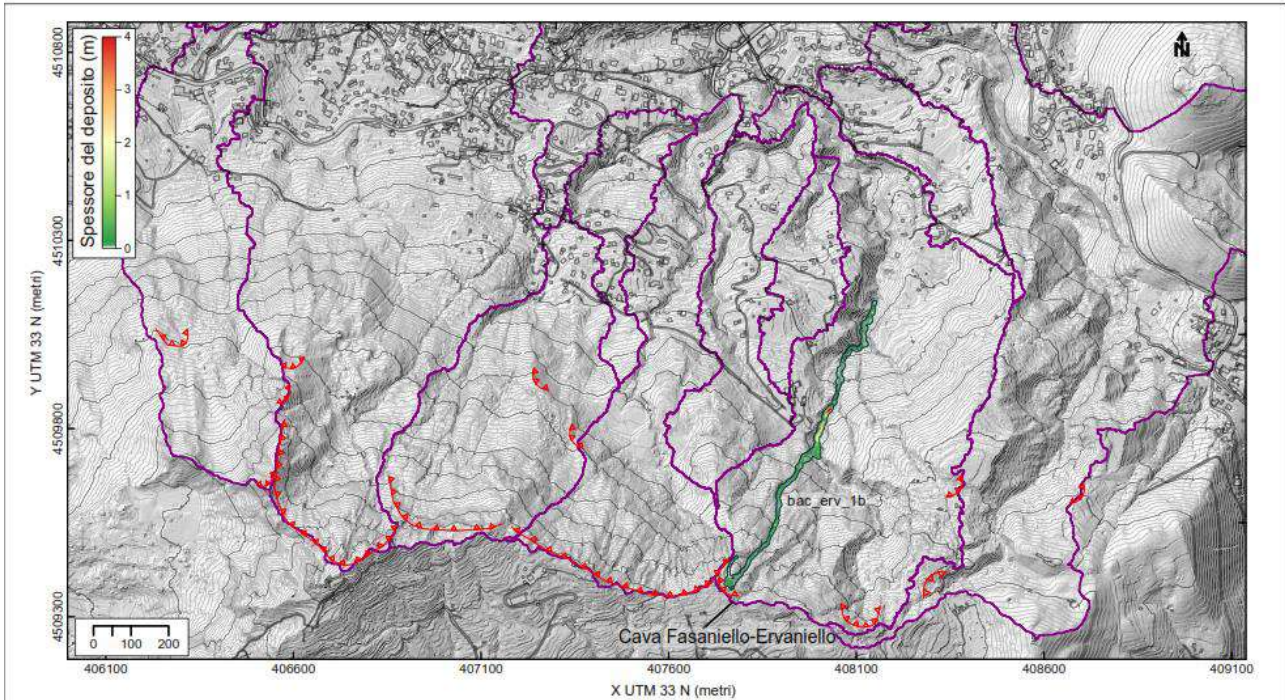
bac_cucc_4b



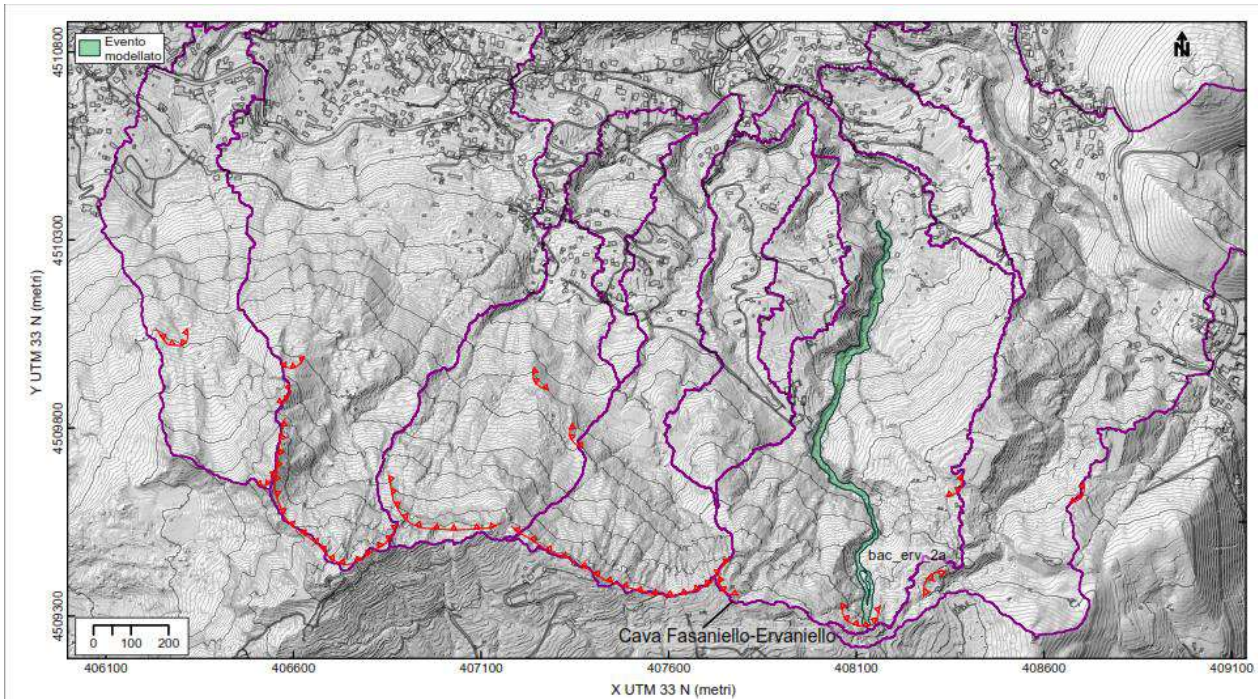
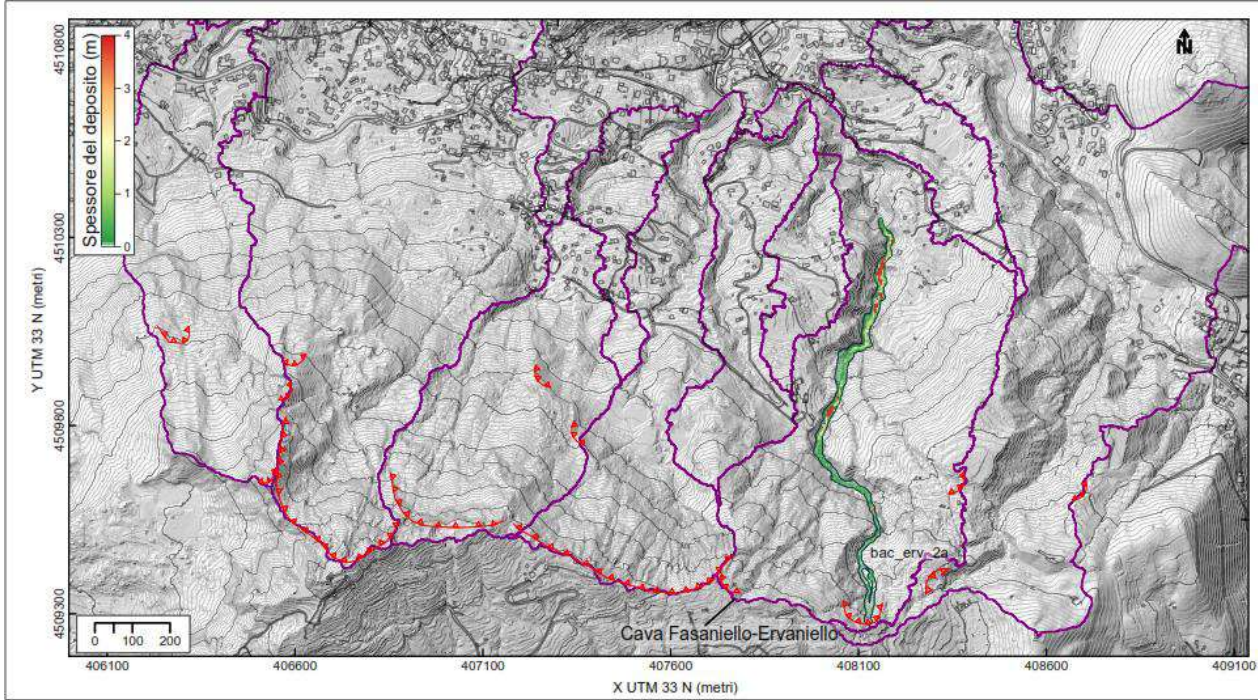
bac.erv.1a



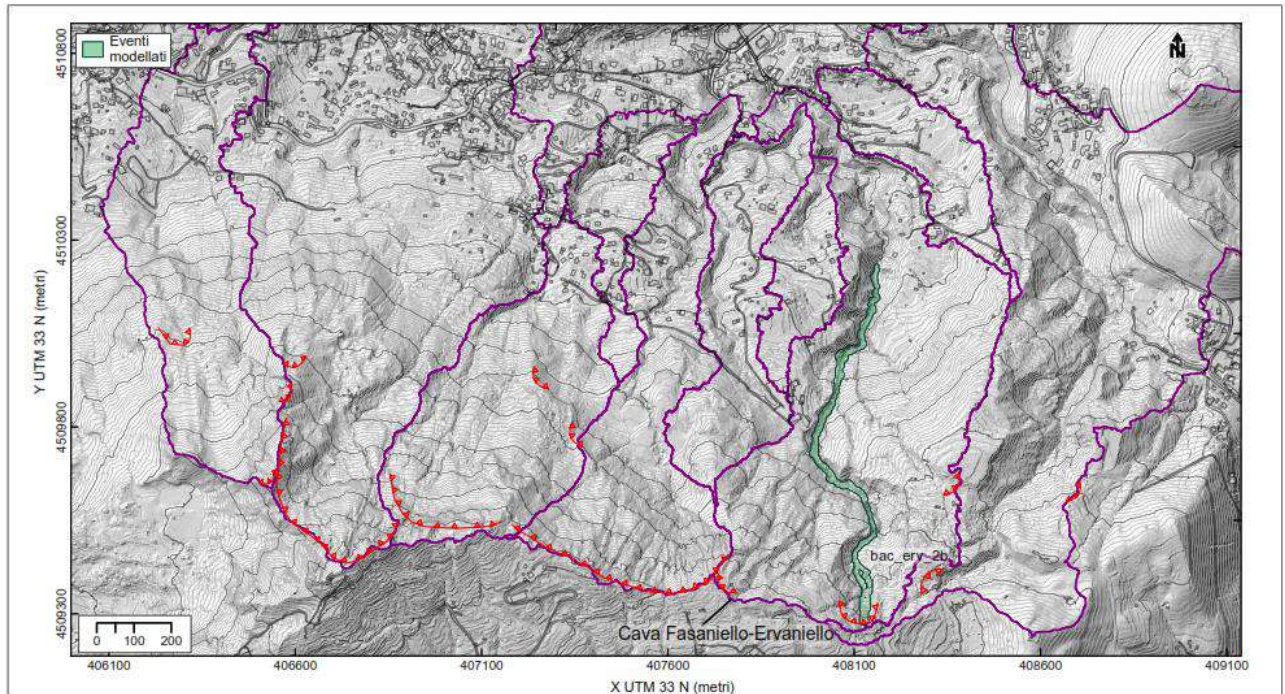
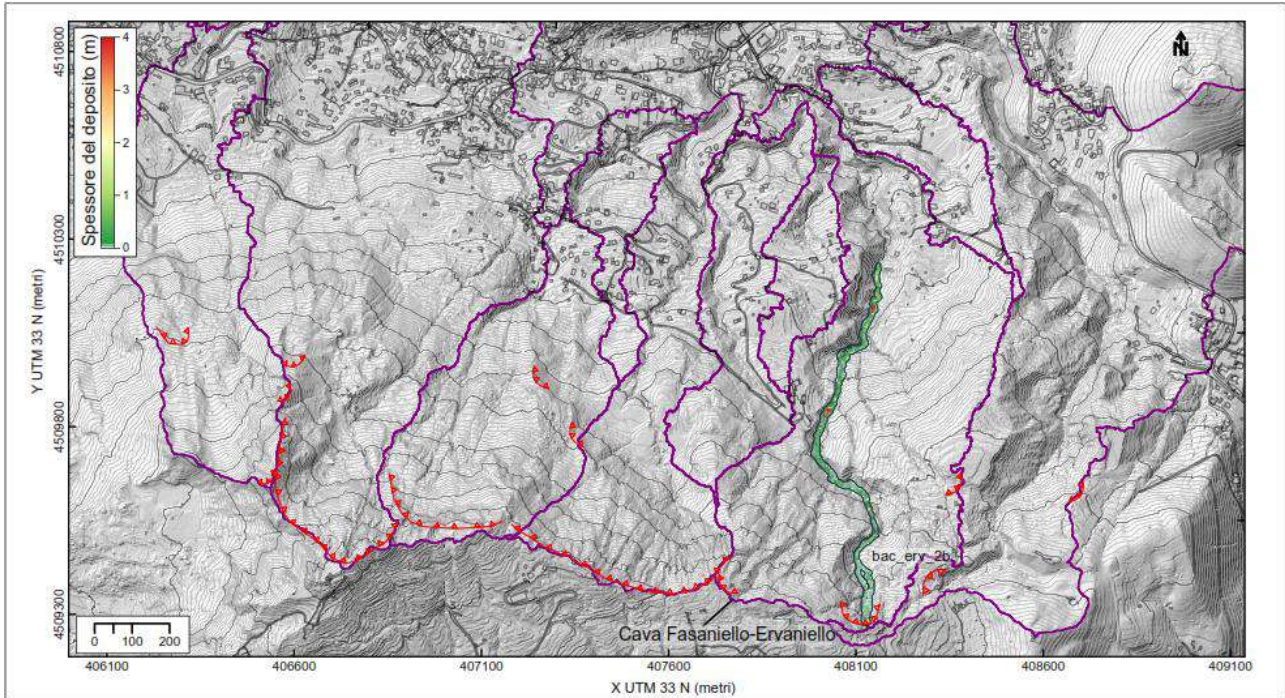
bac.erv.1b



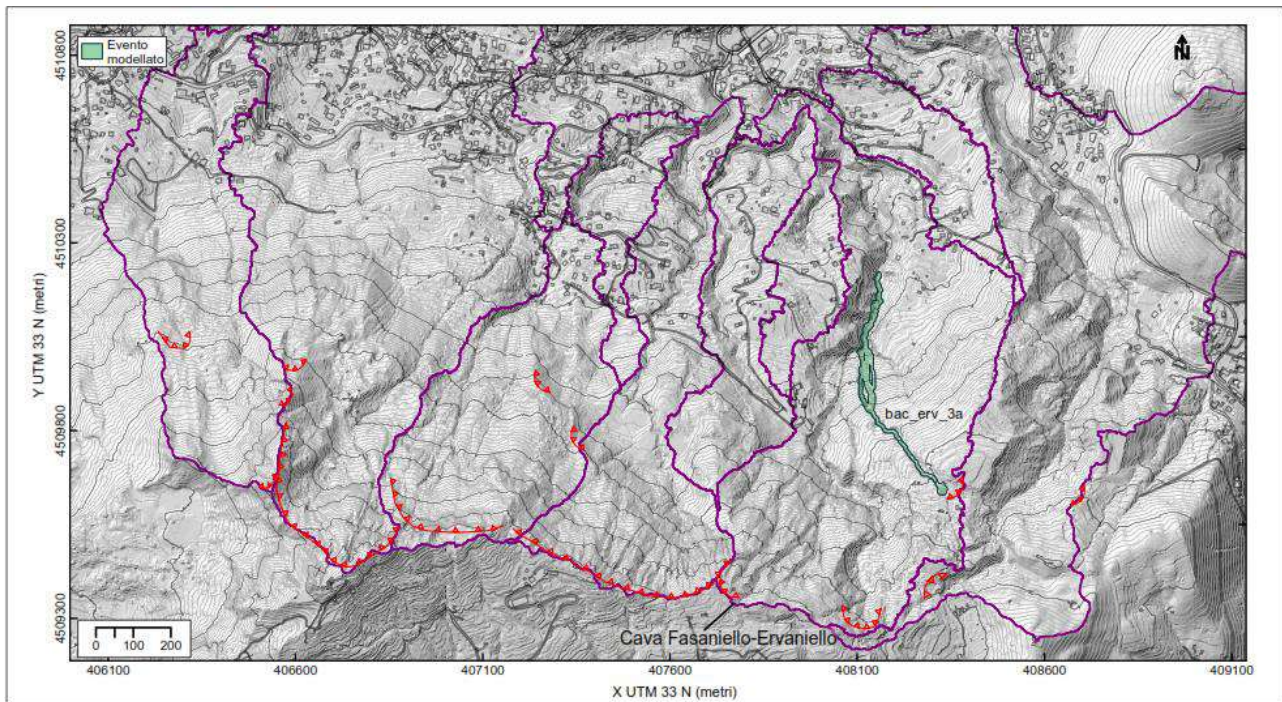
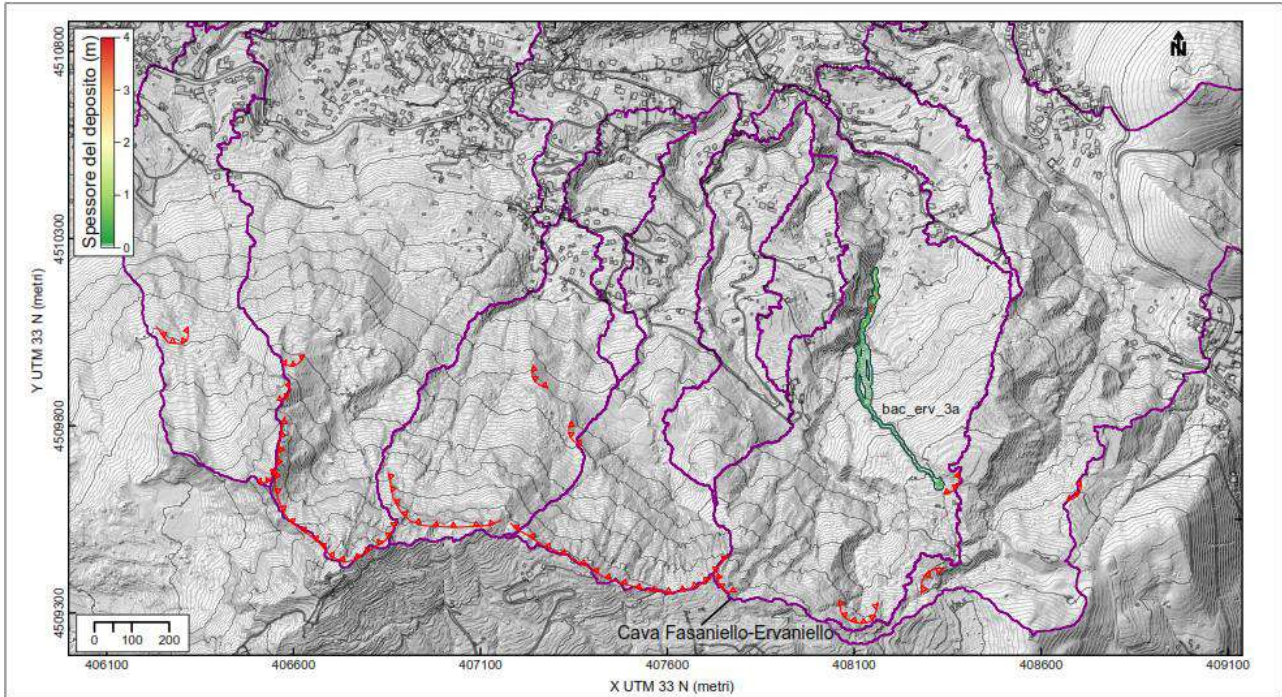
bac.erv.2a



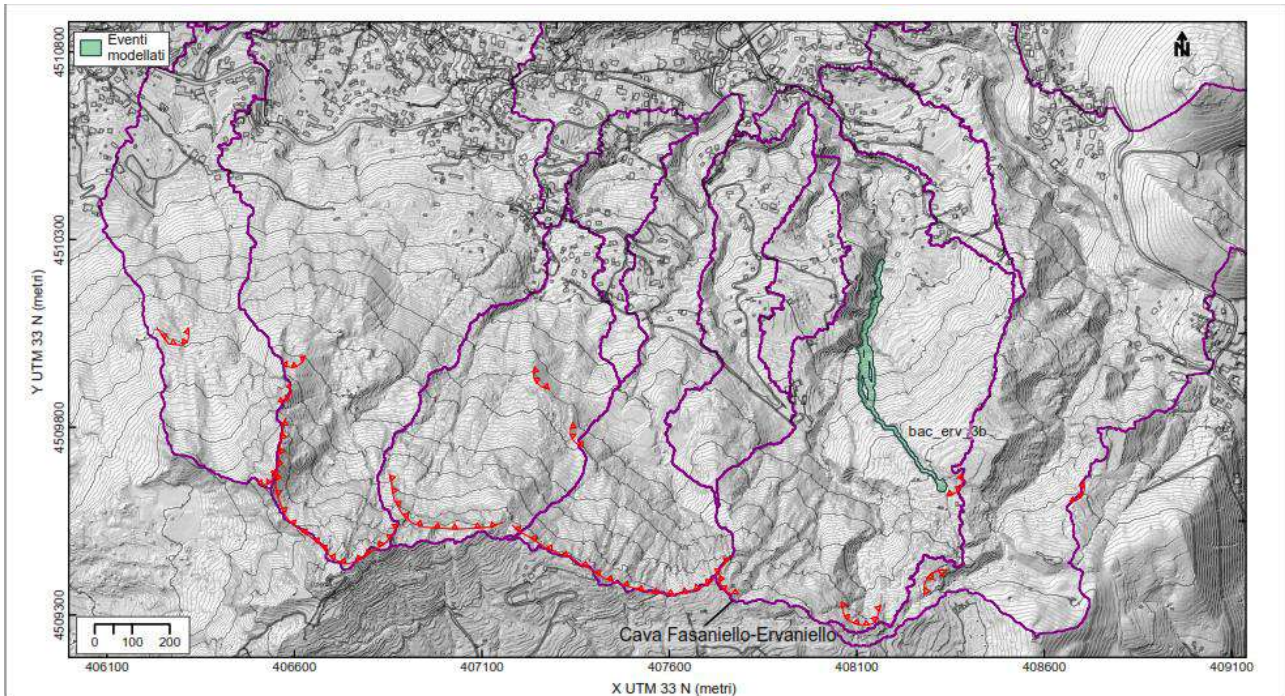
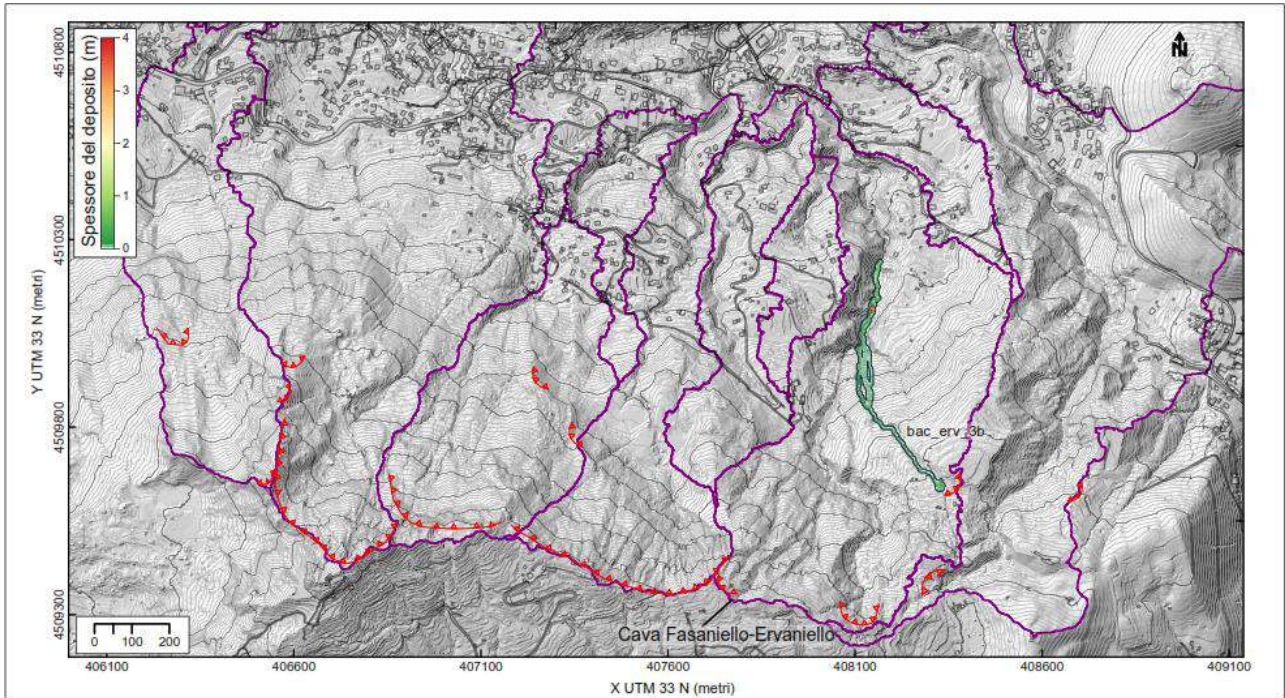
bac.erv.2b



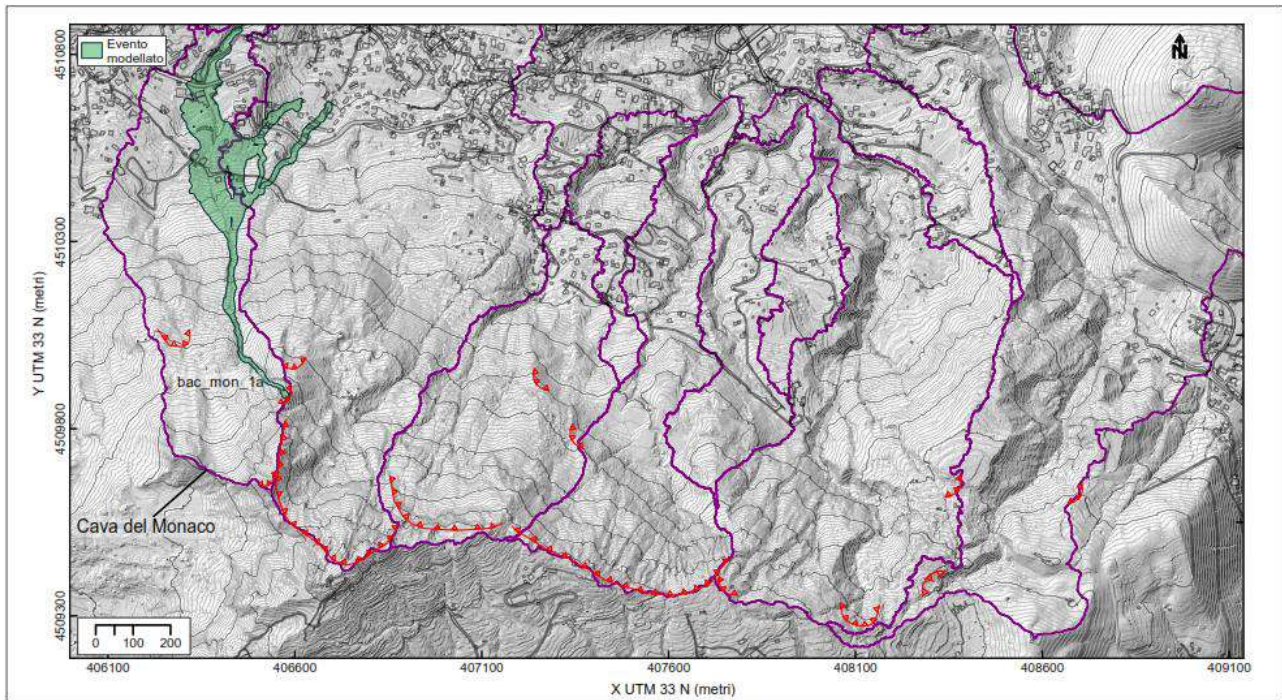
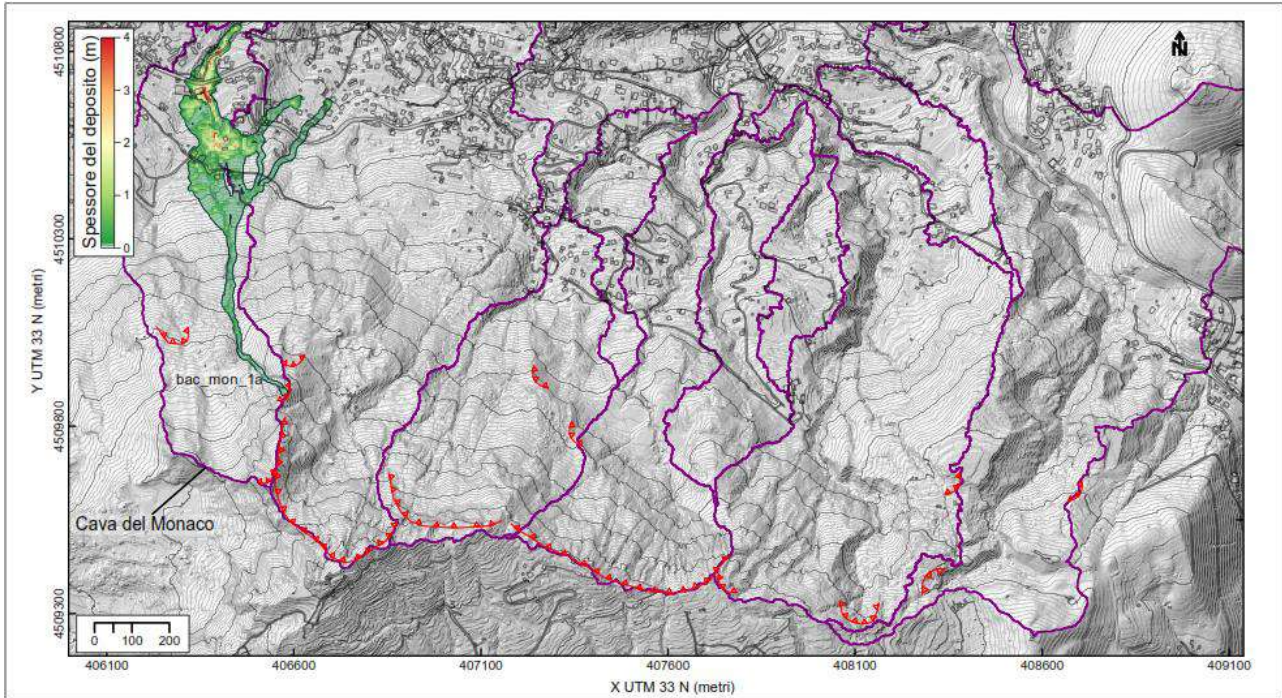
bac.erv.3a



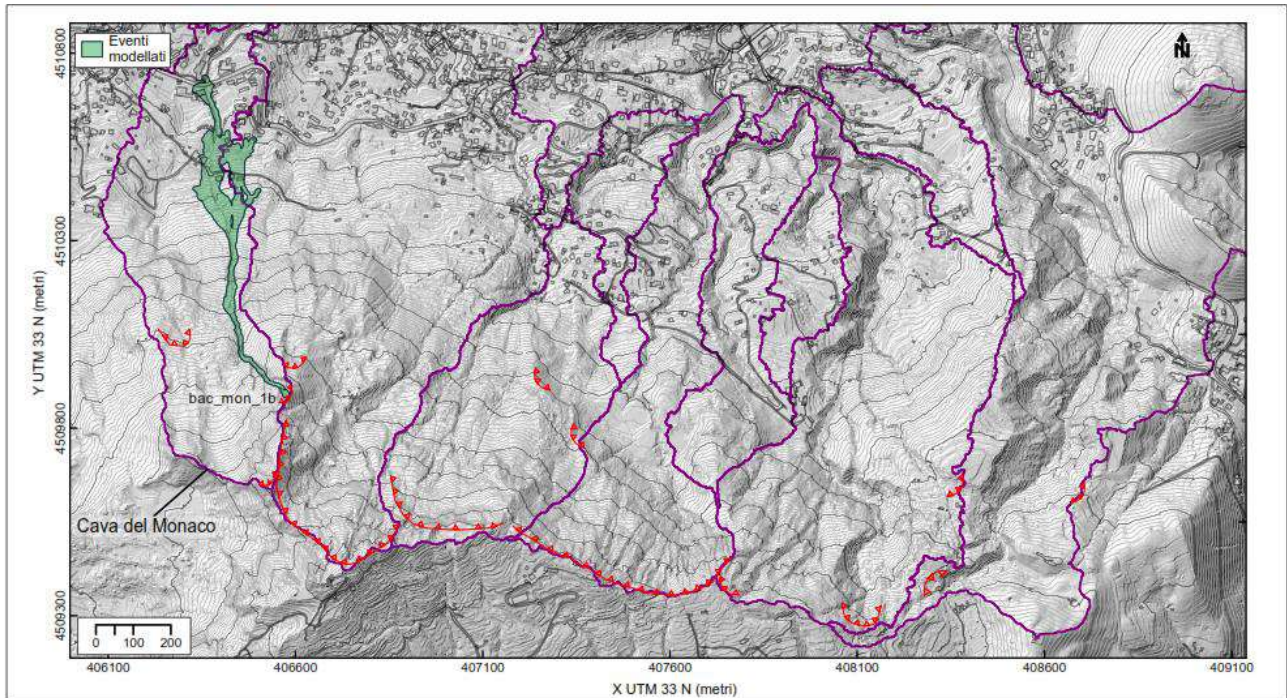
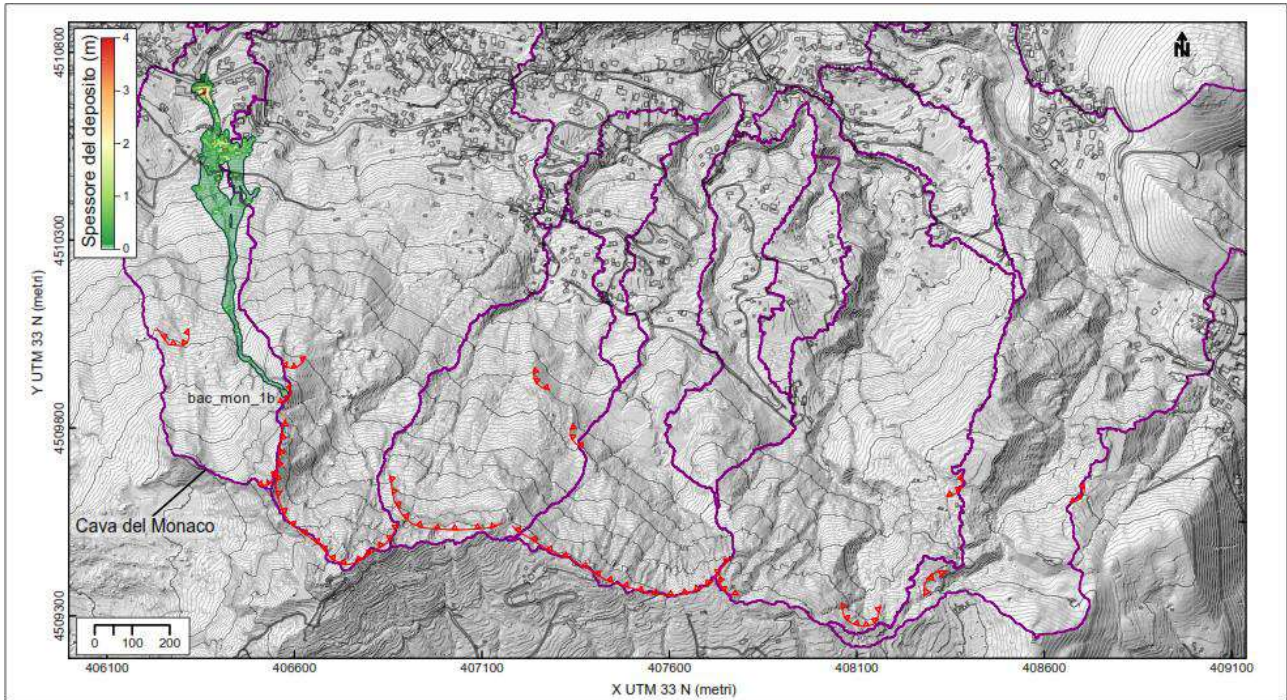
bac.erv.3b



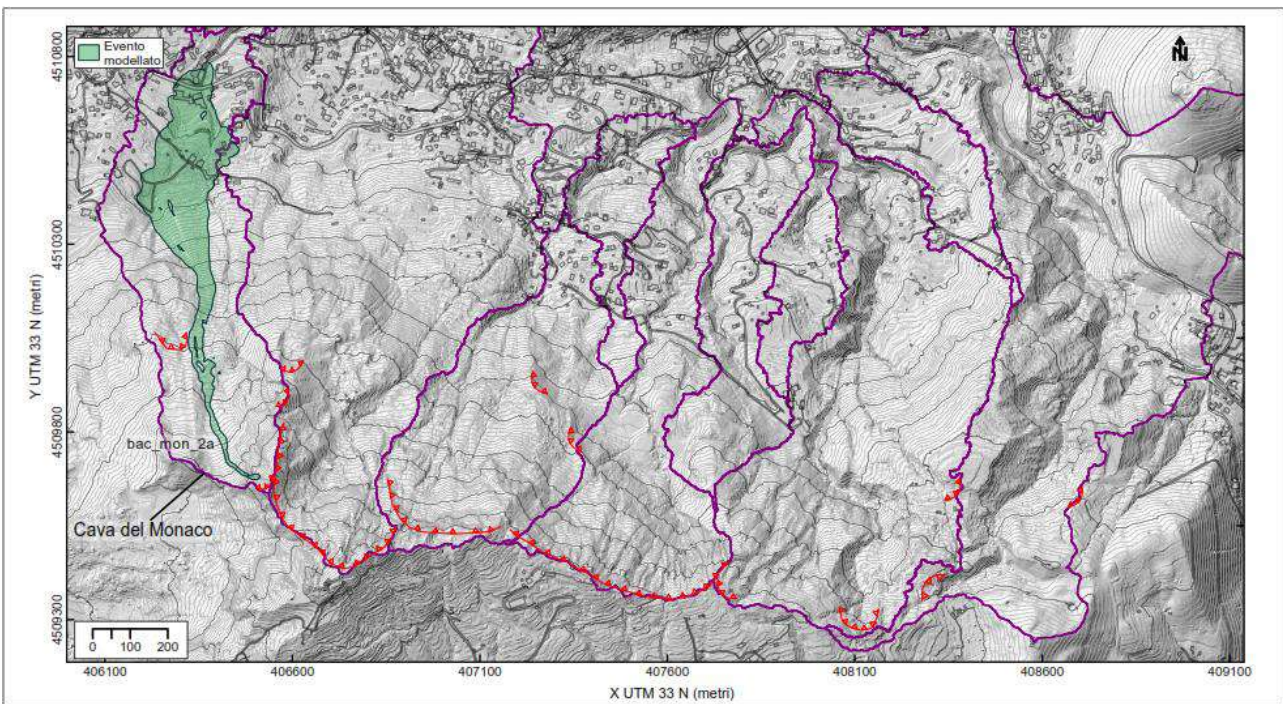
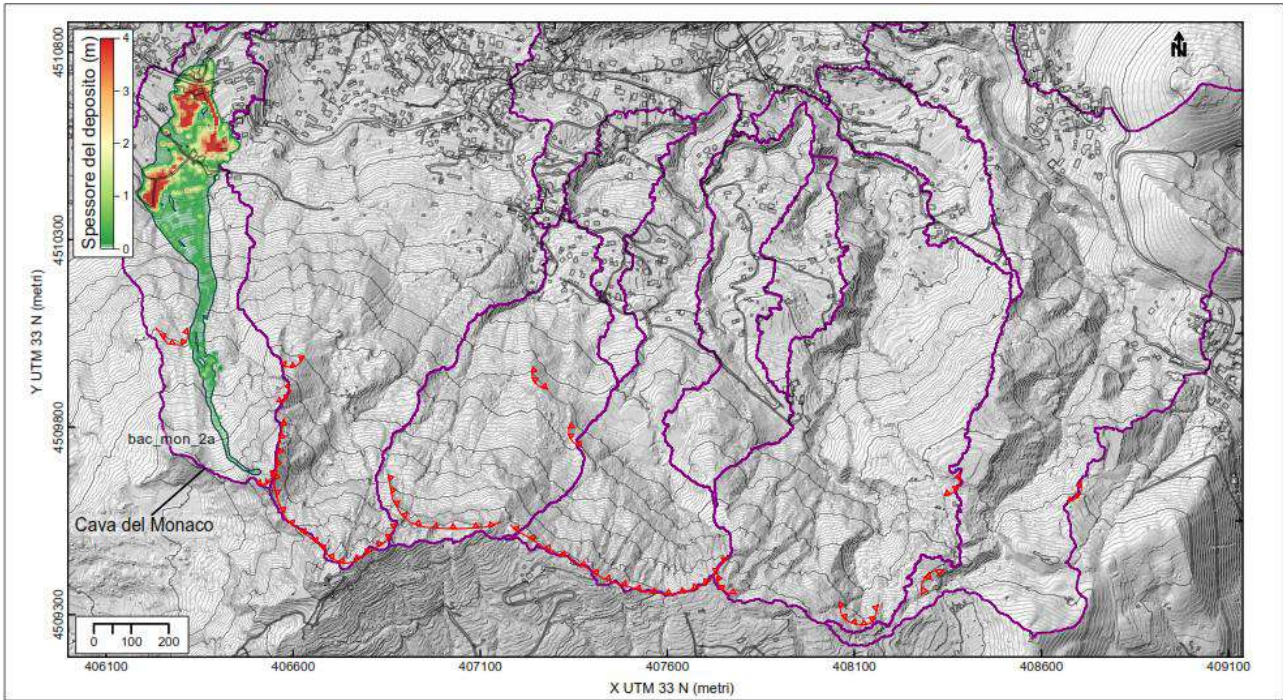
bac.mon.1a



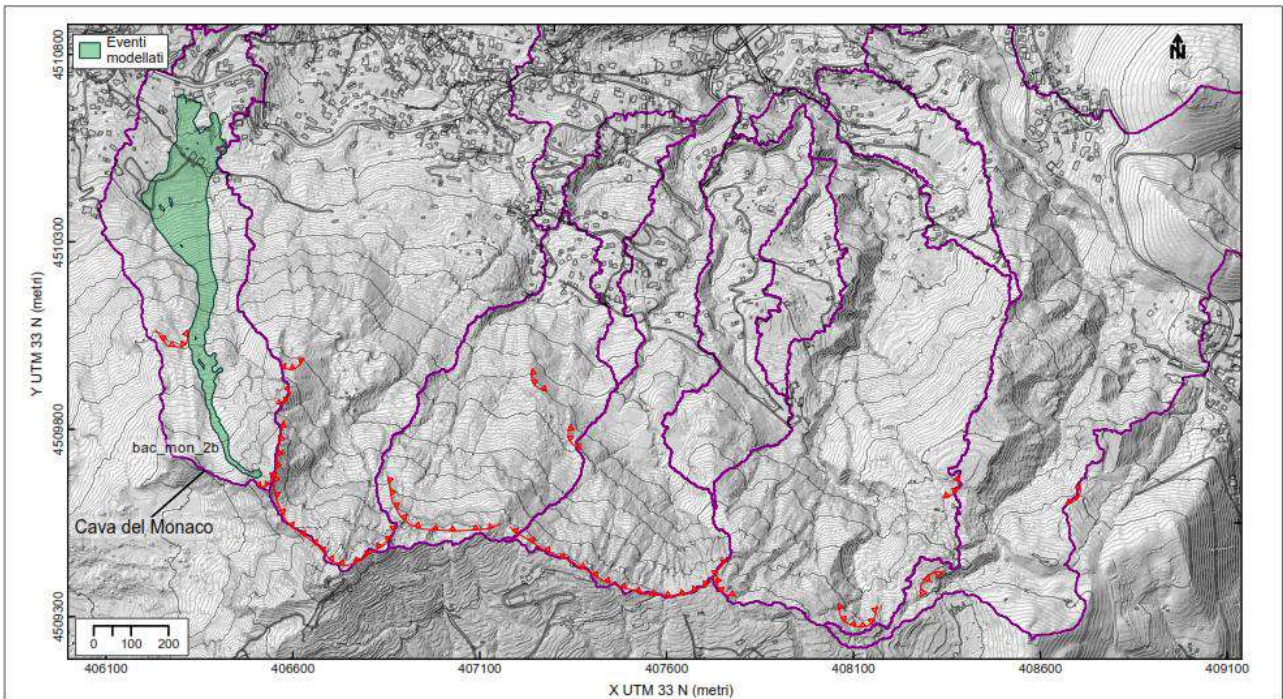
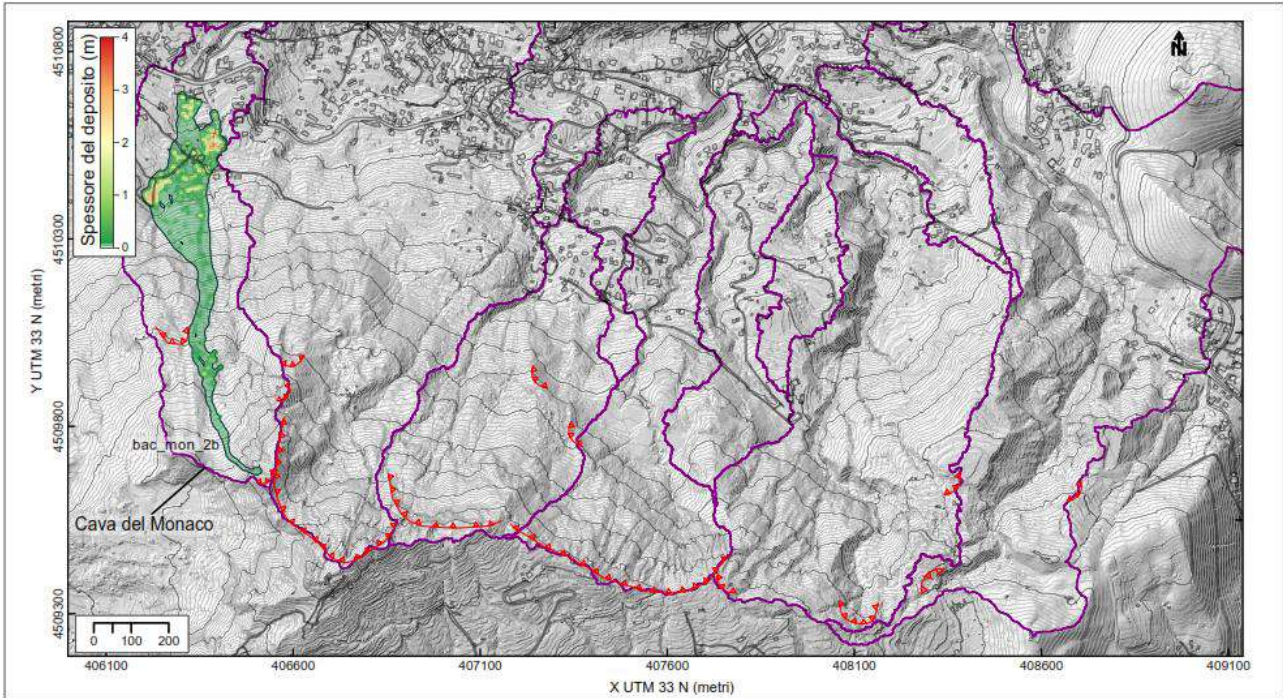
bac.mon.1b



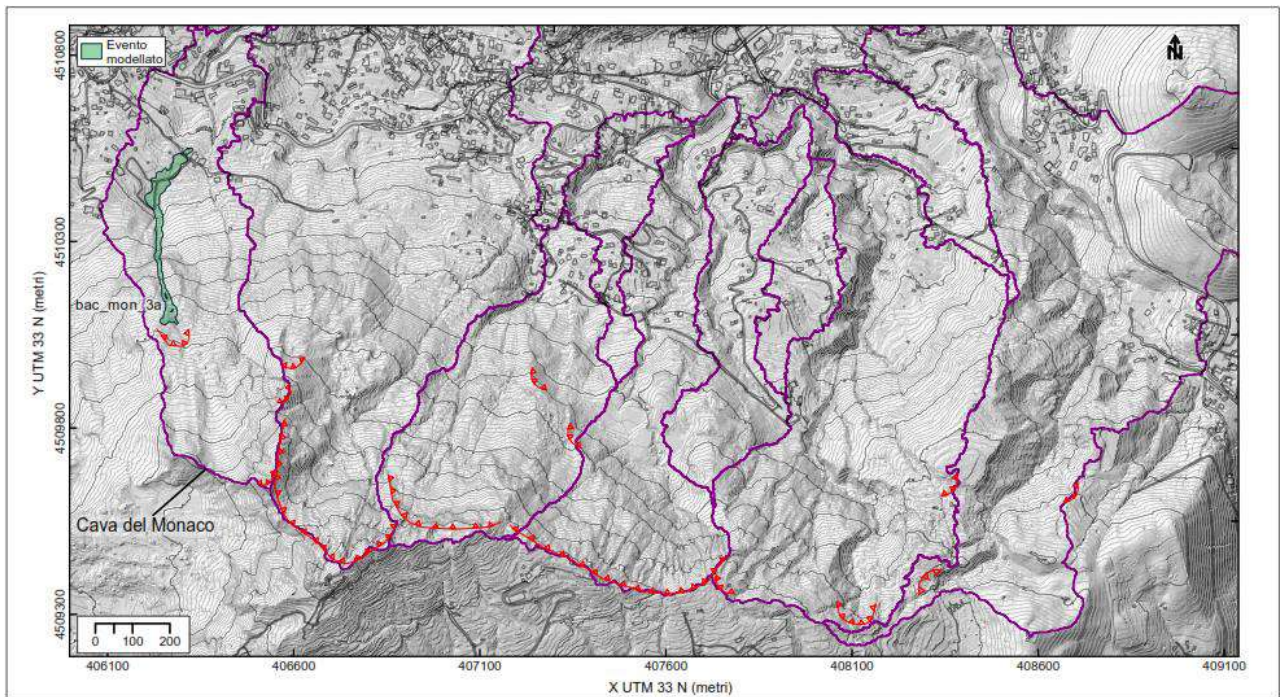
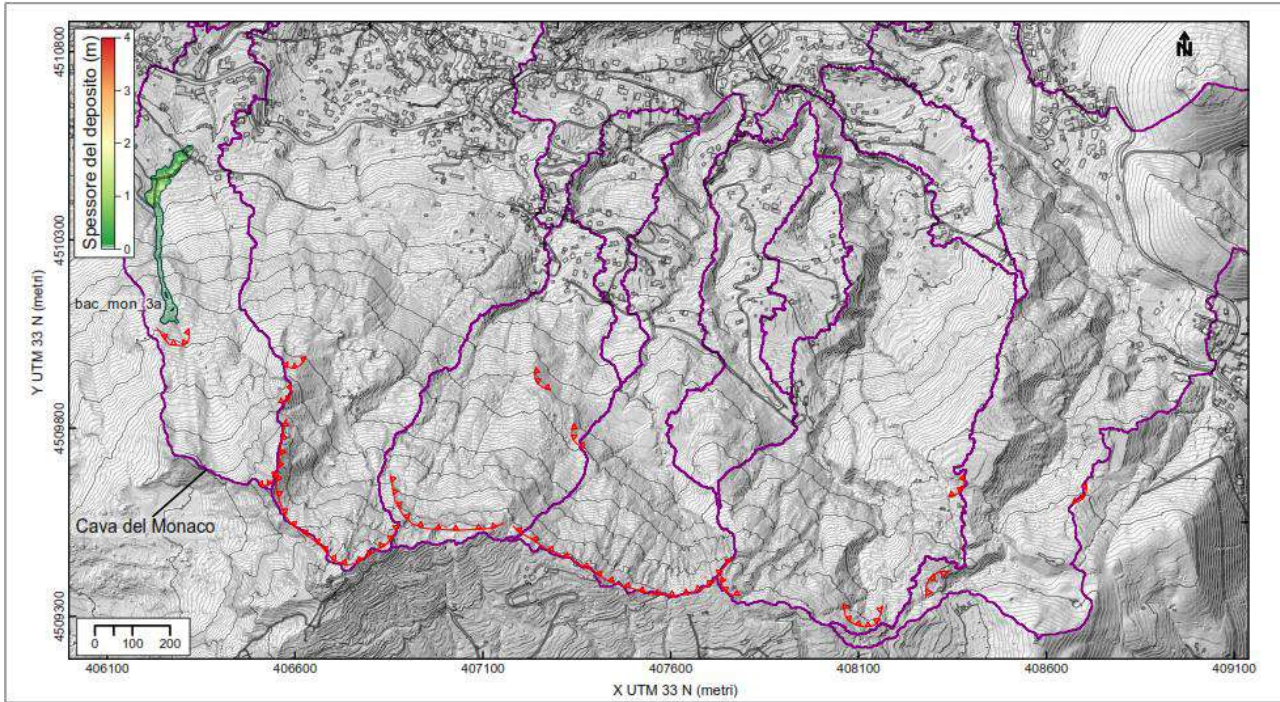
bac.mon.2a



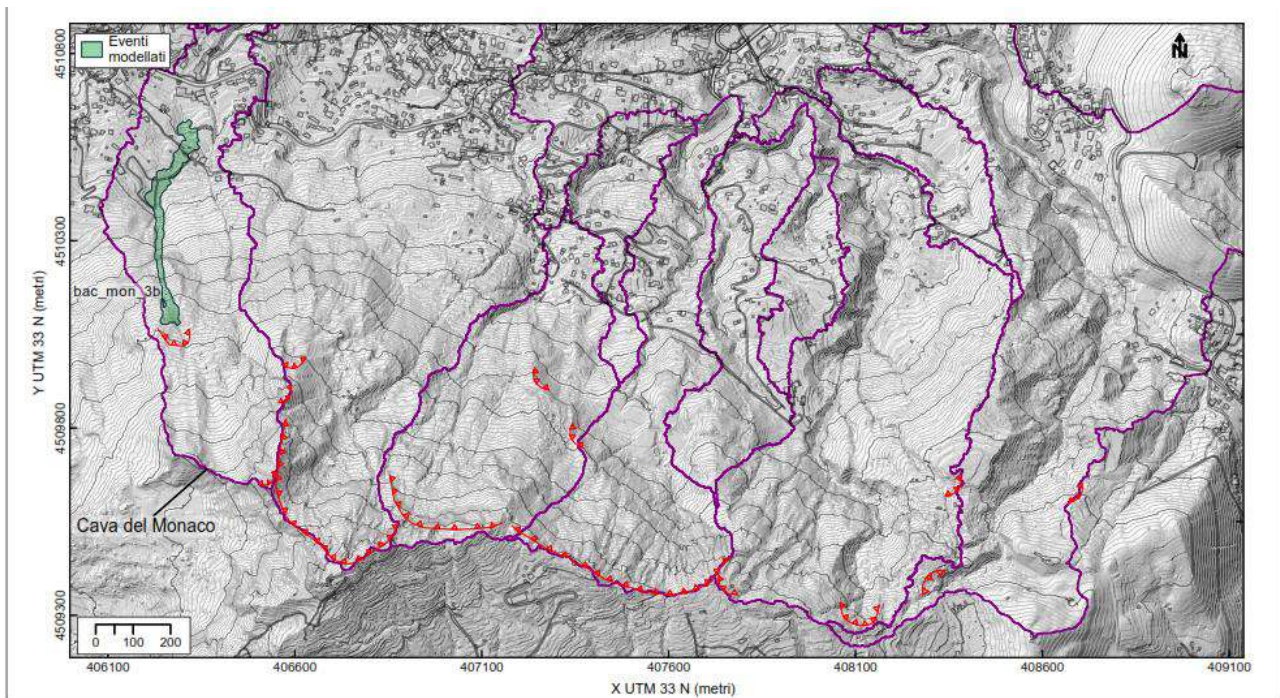
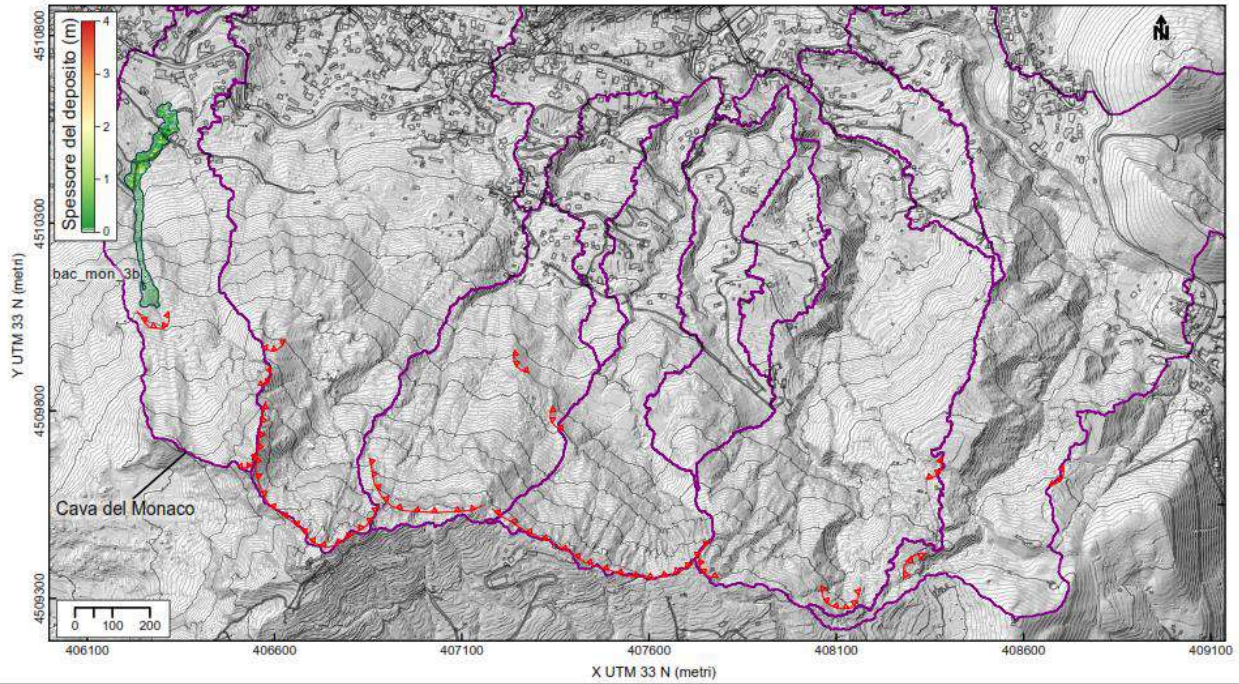
bac.mon.2b



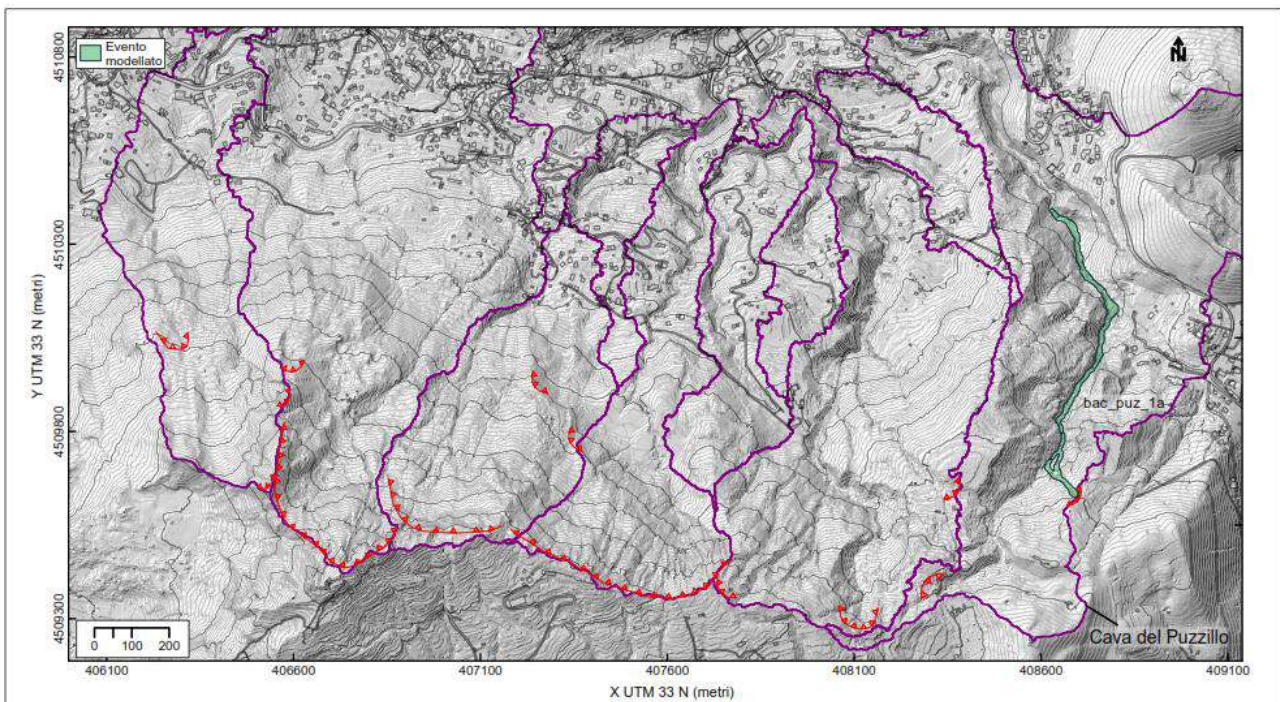
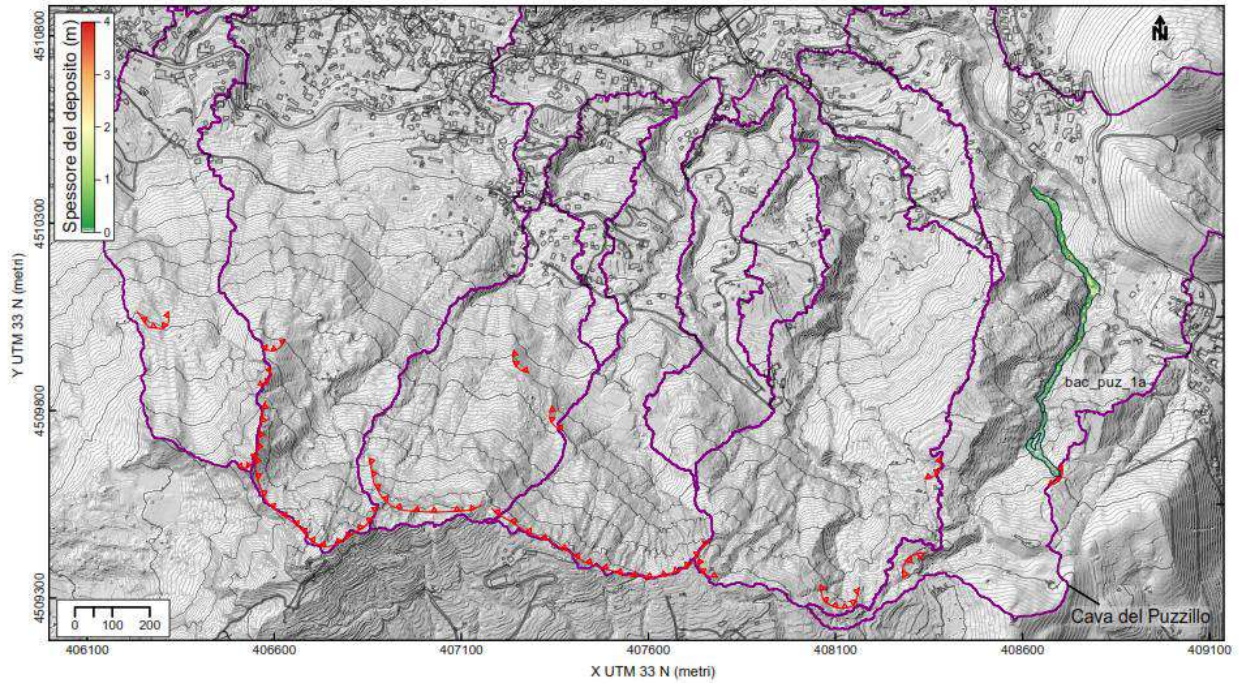
bac.mon.3a



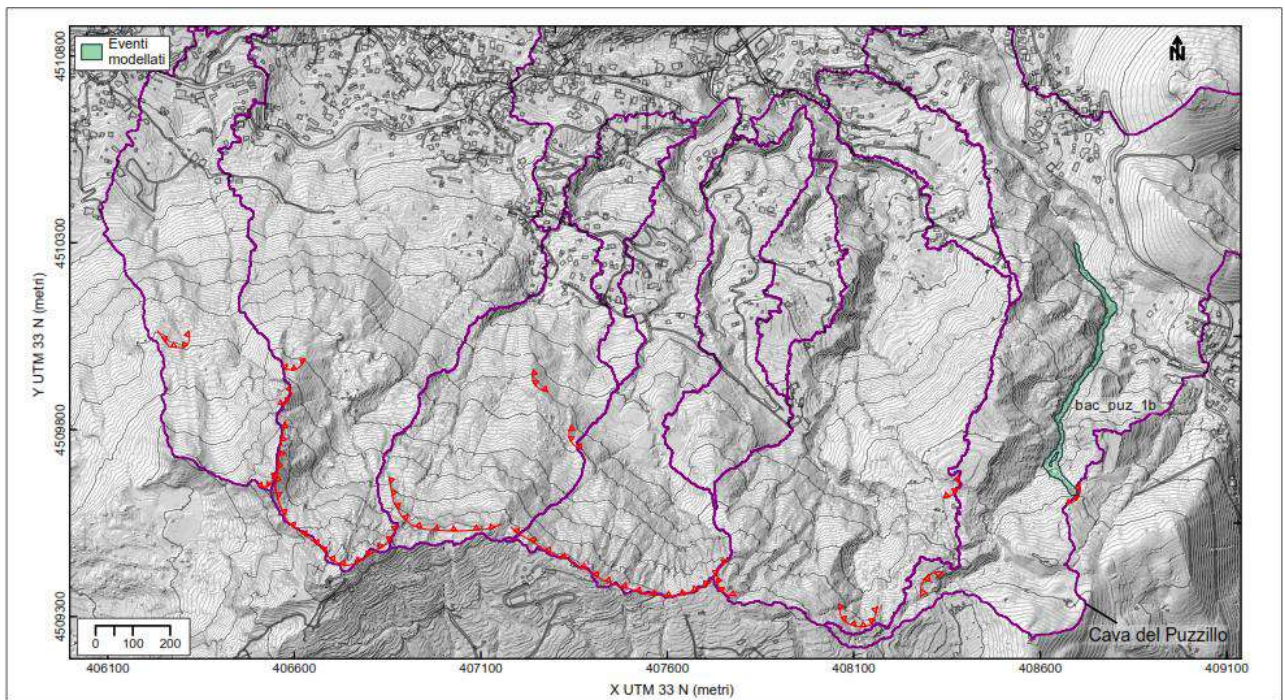
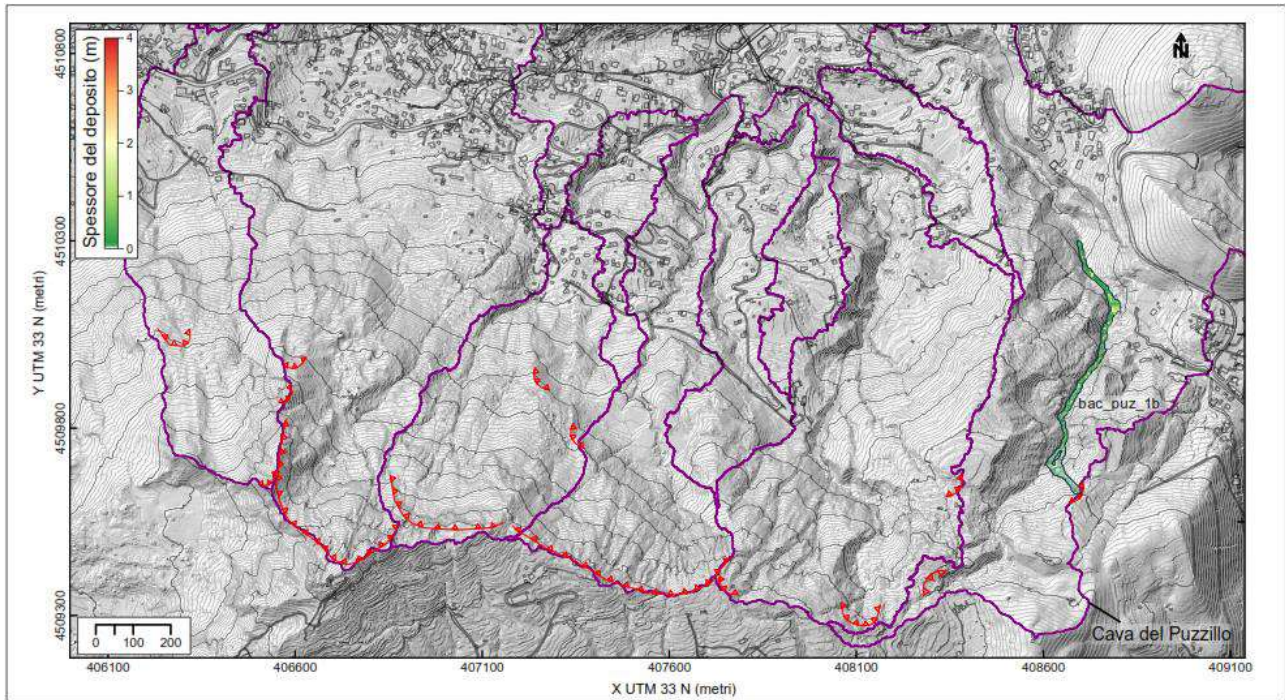
bac.mon.3b



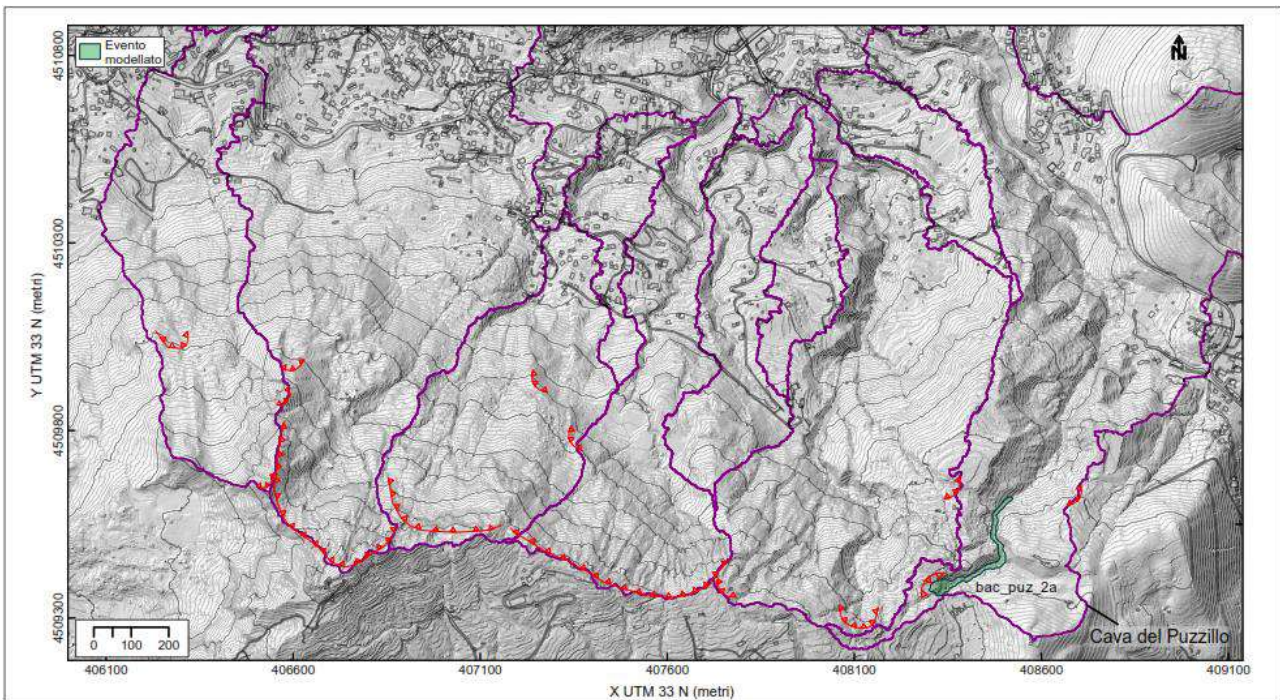
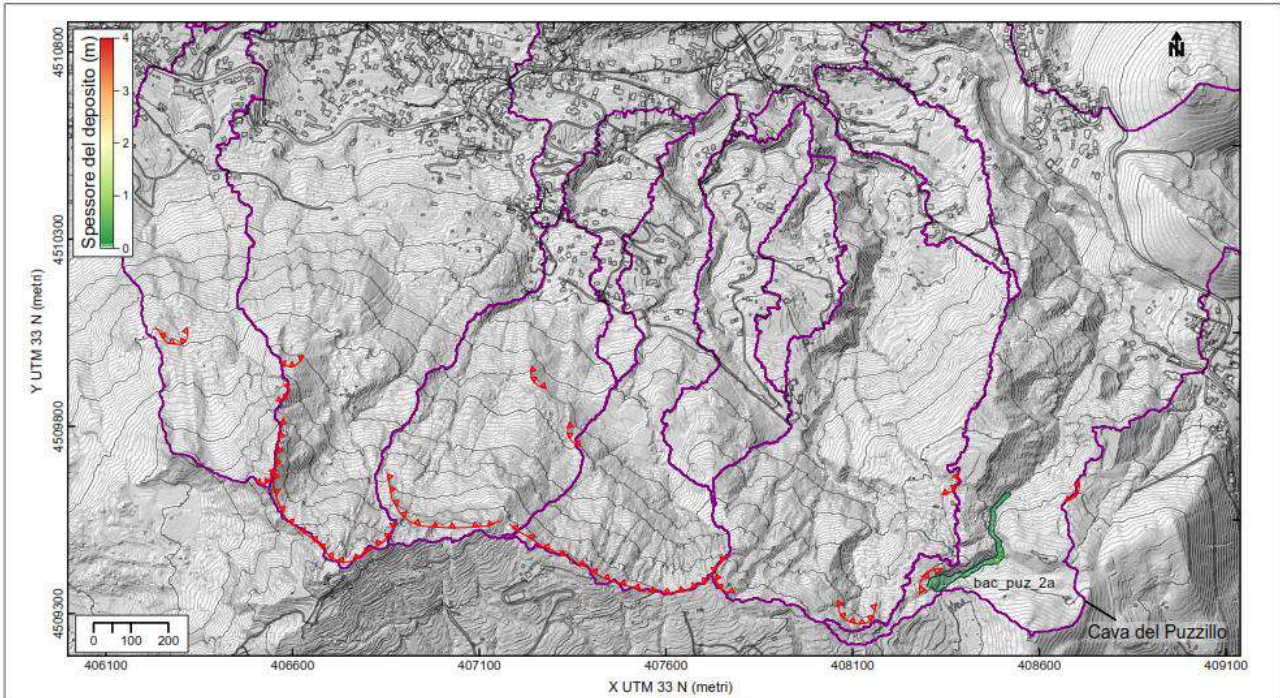
bac.puz.1a



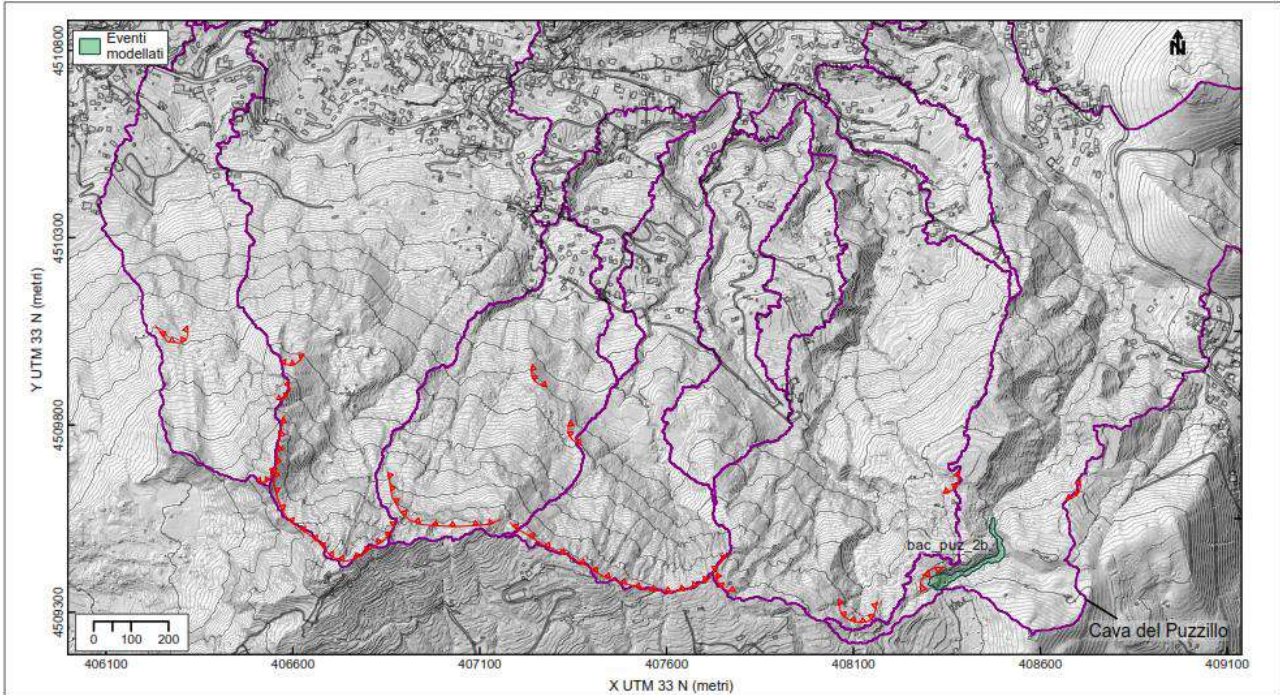
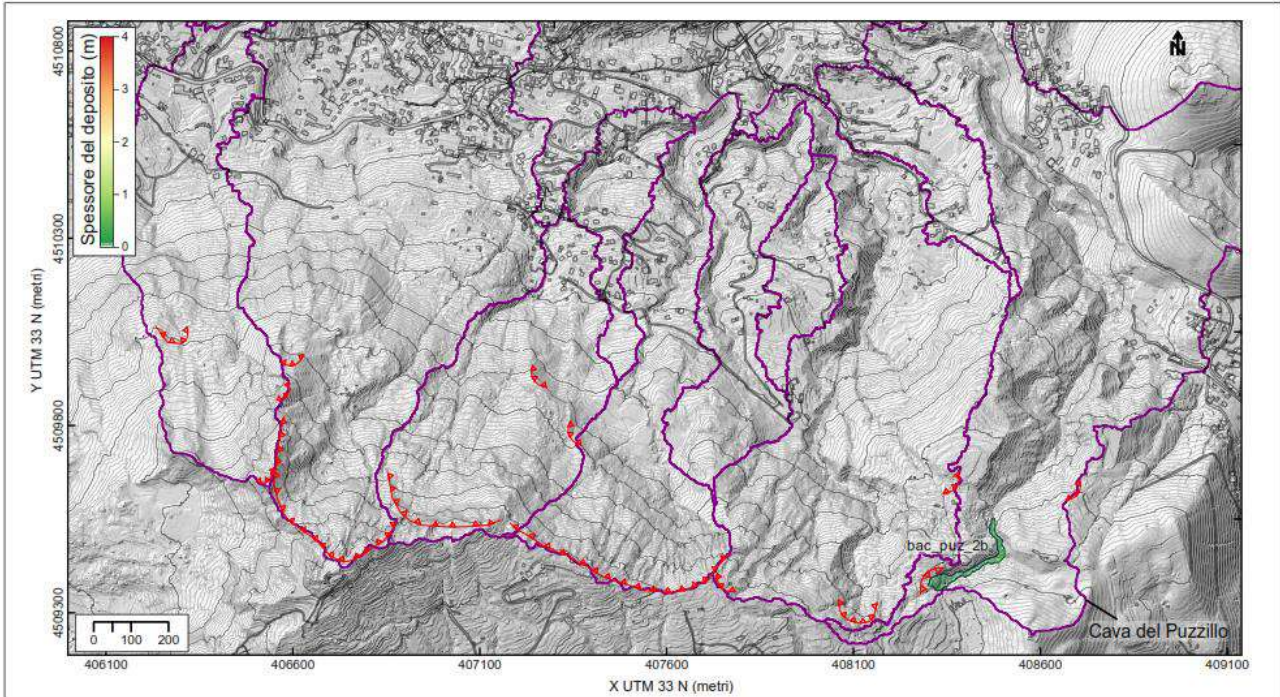
bac.puz.1b



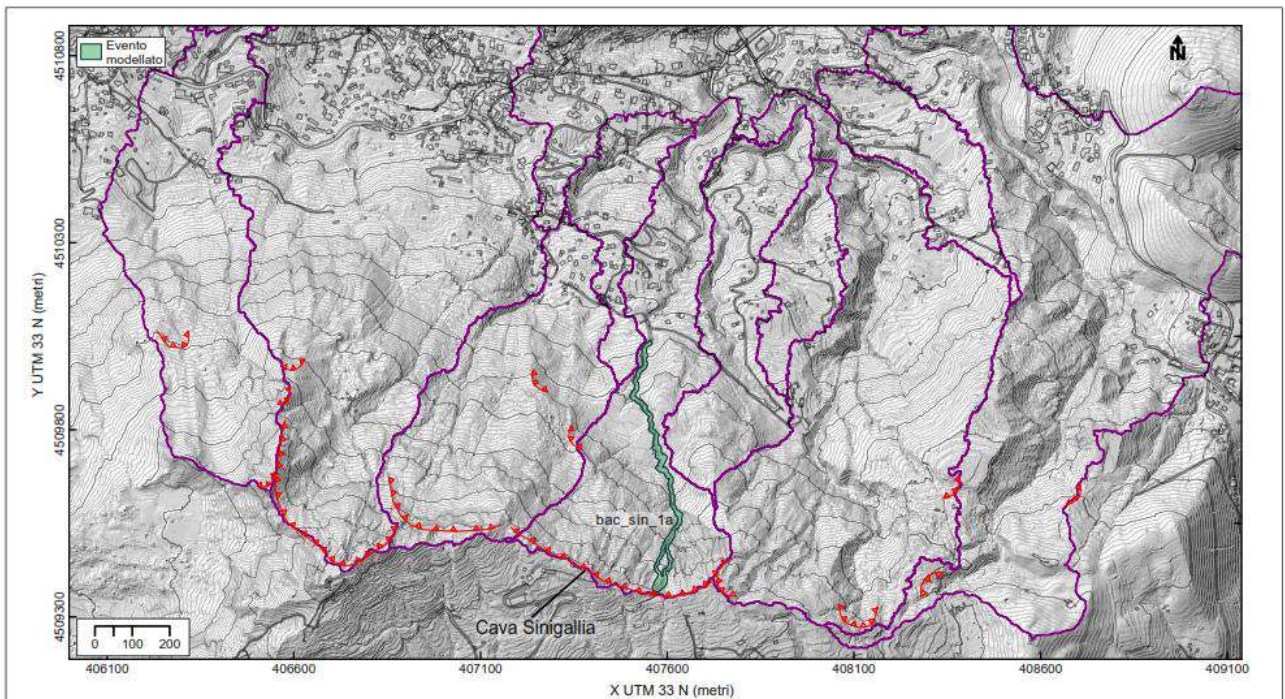
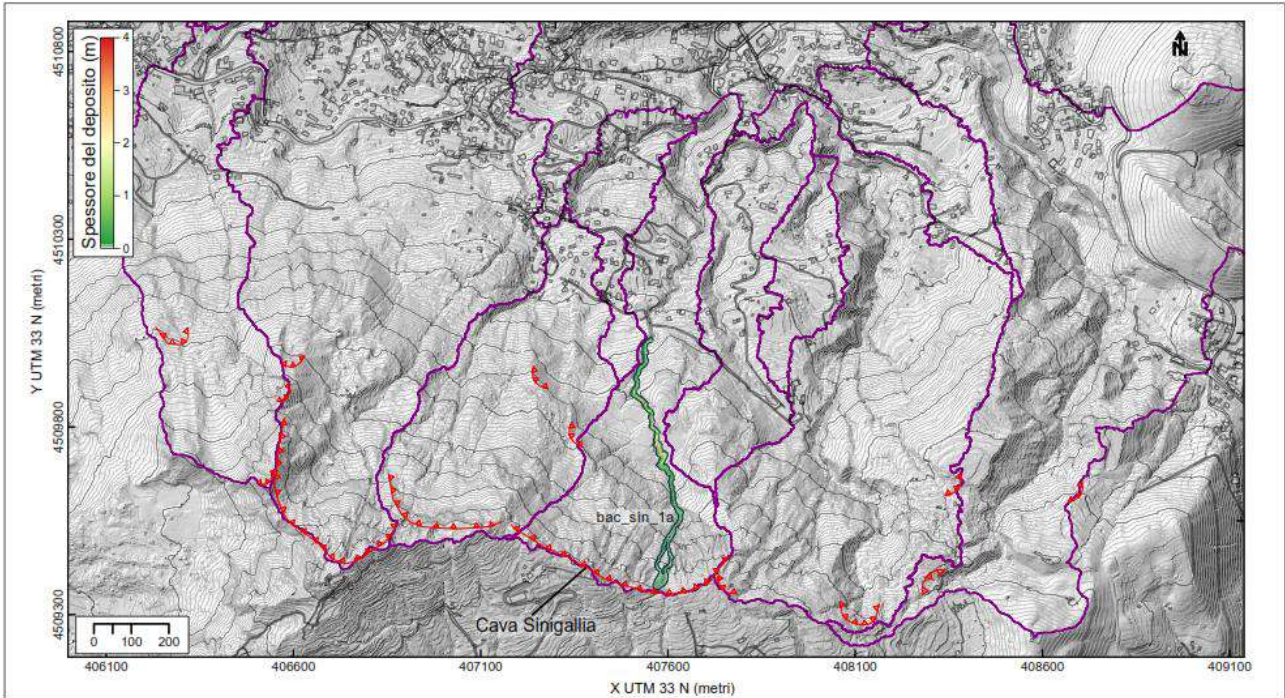
bac.puz.2a



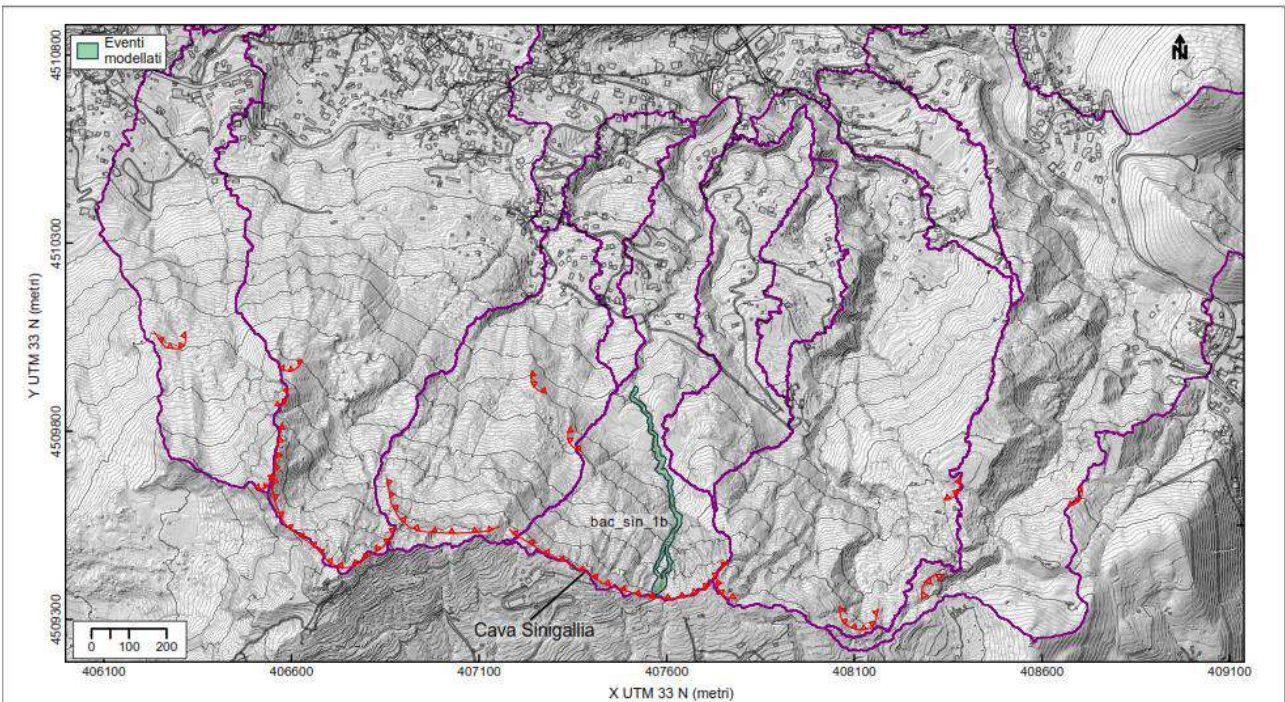
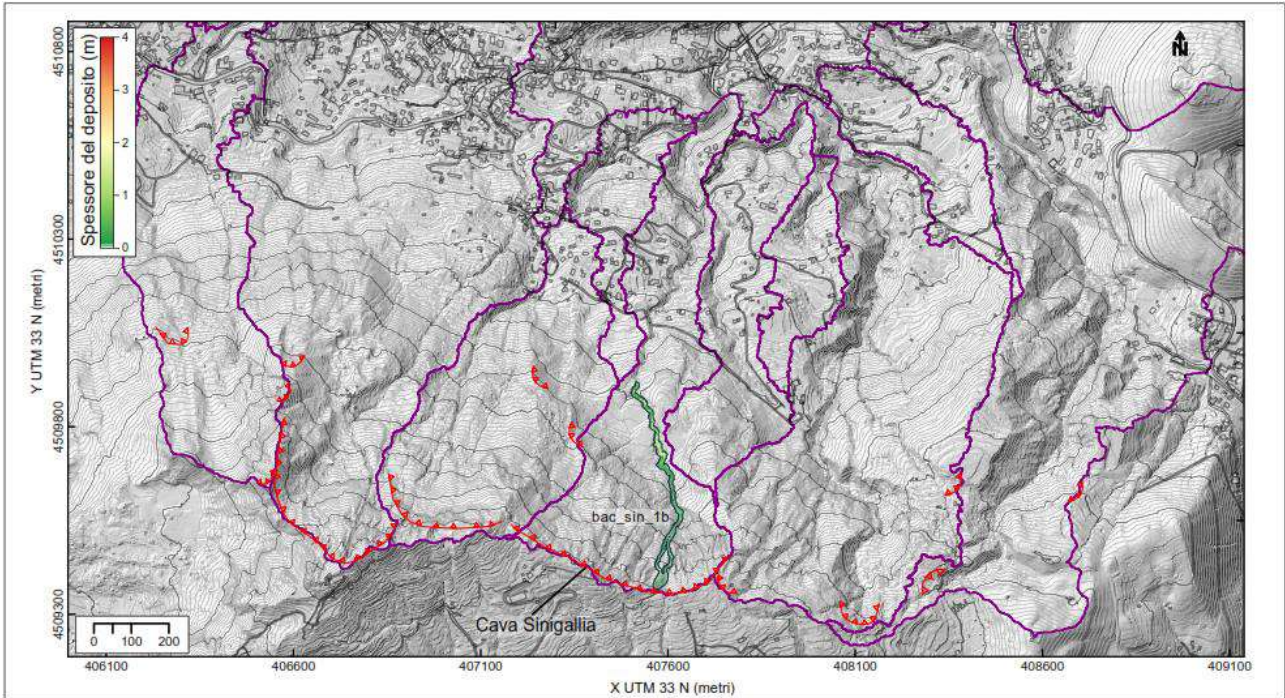
bac.puz.2b



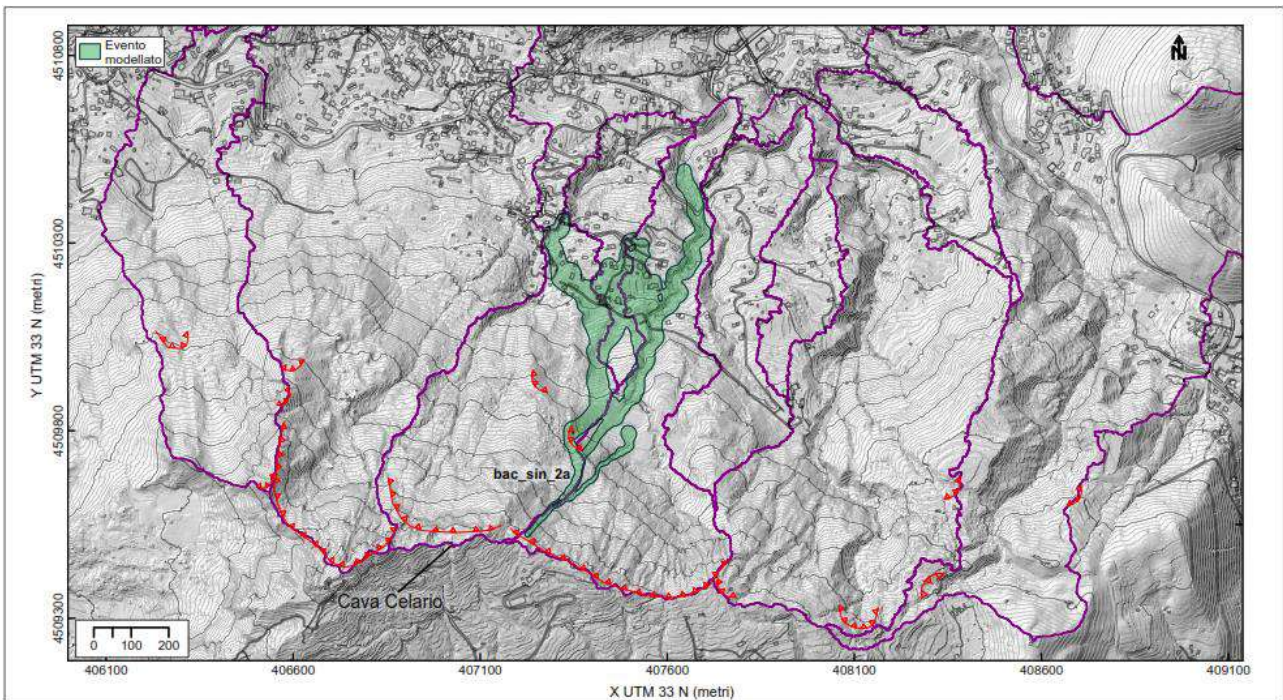
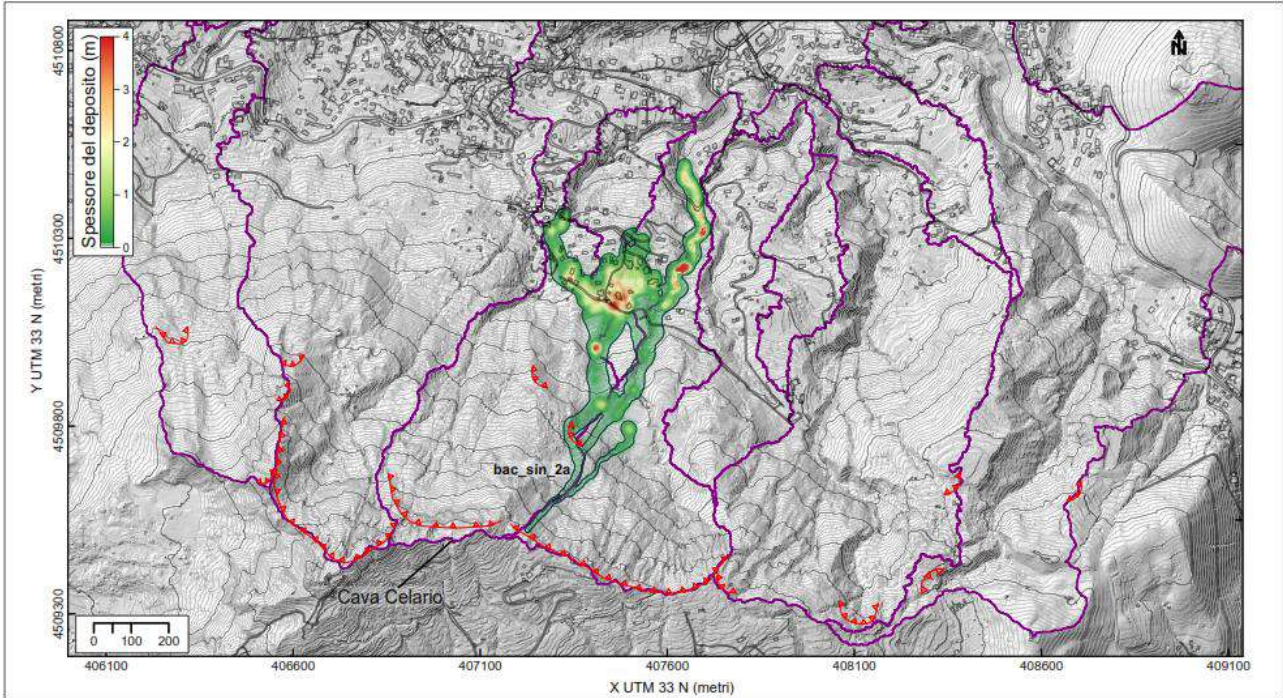
bac.sin.1a



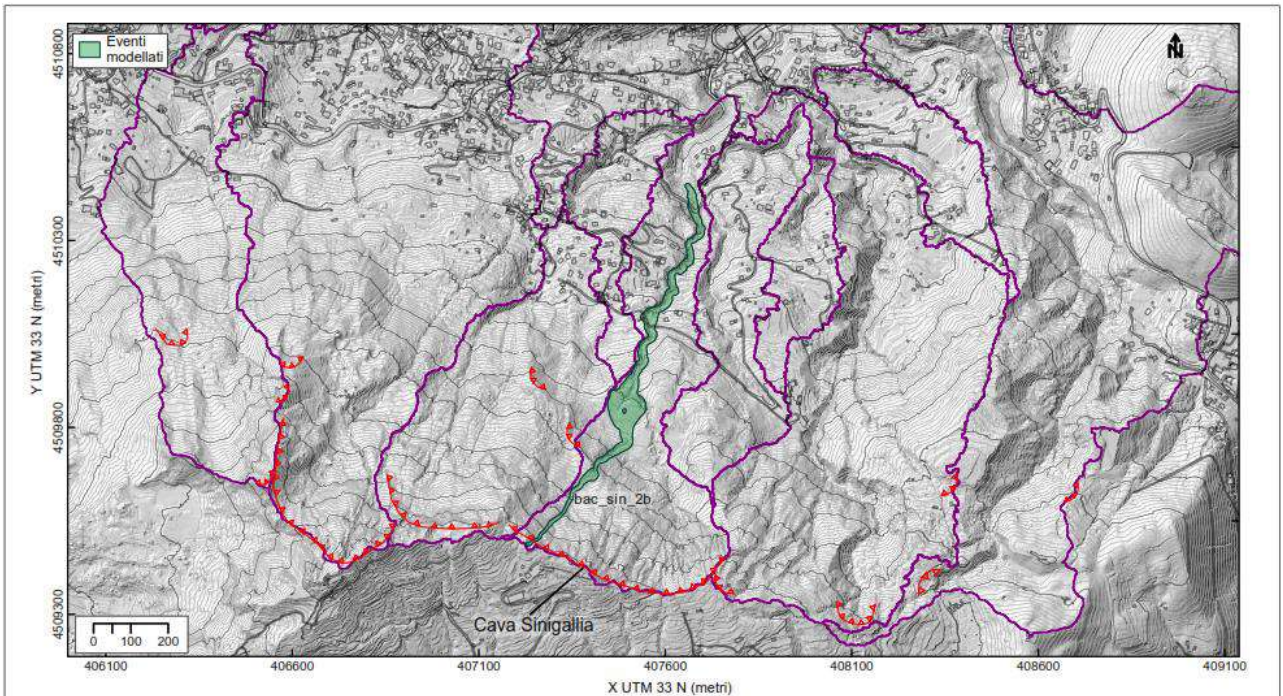
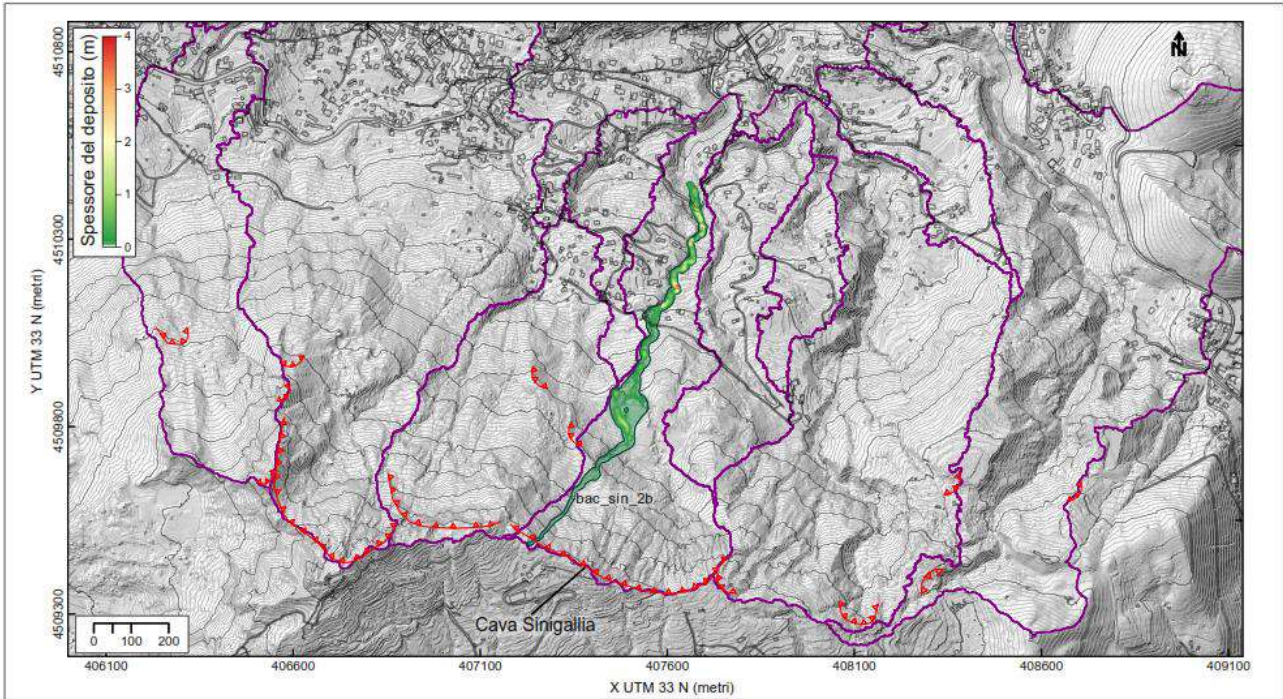
bac.sin.1b



bac.sin.2a



bac.sin.2b



4.3 MODELLAZIONE DEI FLUSSI IPER-CONCENTRATI NEI TRATTI MEDIO-VALLIVI

4.3.1 Generalità

Nel presente capitolo vengono illustrate le principali caratteristiche del modello bi-dimensionale utilizzato ai fini della valutazione delle aree che possono essere effettivamente interessate dal passaggio di flussi iperconcentrati, nonché delle velocità massime, dei tiranti massimi di fango, e delle massime quantità di moto che potrebbero realizzarsi, in ciascun punto dei vari versanti e delle varie cave, a seguito dei vari scenari di colata ipotizzati.

Si coglie qui l'occasione di fare presente che lo stesso modello bidimensionale ha anche consentito di valutare, tratto per tratto, le massime portate che potrebbero andare a immettersi nei vari tratti tombati esistenti nella zona più valliva ed urbanizzata.

4.4 Il modello matematico utilizzato

Le equazioni prese a riferimento e risolte, per via numerica, dal modello matematico *2D_UFM* sono le ben note Shallow-water Equations, nelle quali l'informazione relativa alla reologia dei materiali in movimento è tutta concentrata in corrispondenza dei termini sorgente dovuti alle resistenze al moto, e la propagazione avviene, per semplicità di analisi, su fondo fisso.

4.4.1 Shallow-water Equations

Le Shallow-water Equations sono un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali che, in forma vettoriale, possono essere scritte nella maniera seguente:

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \frac{\partial \mathbf{f}(\mathbf{u})}{\partial x} + \frac{\partial \mathbf{g}(\mathbf{u})}{\partial y} = \mathbf{s}(\mathbf{x}, \mathbf{y}, \mathbf{u}). \quad (1)$$

In tale equazione, t è la variabile temporale, \mathbf{u} è il vettore delle quantità conservate, \mathbf{f} è il vettore (funzione di \mathbf{u}) dei flussi lungo la direzione x , parallela a un piano orizzontale, \mathbf{g} è il vettore (funzione di \mathbf{u}) dei flussi lungo y , direzione parallela a y e parallela a un piano orizzontale; \mathbf{s} è il vettore dei termini sorgente, dipendenti dalla posizione (x,y) oltre che da \mathbf{u} .

L'espressione dei vettori citati è la seguente:

$$\left\{ \begin{array}{l} \mathbf{u} = \begin{bmatrix} h \\ hU \\ hV \end{bmatrix}; \quad \mathbf{f}(\mathbf{u}) = \begin{bmatrix} hU \\ \frac{1}{2}gh^2 + hU^2 \\ hUV \end{bmatrix}; \quad \mathbf{g}(\mathbf{u}) = \begin{bmatrix} hV \\ hUV \\ \frac{1}{2}gh^2 + hV^2 \end{bmatrix}; \\ \mathbf{s}(x, y, \mathbf{u}) = gh \begin{bmatrix} 0 \\ -\frac{dz_b}{dx} - \frac{\tau_x}{h\gamma} \\ -\frac{dz_b}{dy} - \frac{\tau_y}{h\gamma} \end{bmatrix} \end{array} \right. \quad (2)$$

Nelle espressioni (2), il significato dei simboli è il seguente: h = altezza della corrente detritica (tirante); U = componente della velocità lungo l'asse x ; V = componente della velocità lungo l'asse y ; g = accelerazione di gravità; γ = peso specifico del materiale costituente la colata; z_b = quota di fondo; τ_x = componente lungo x degli sforzi resistenti; τ_y = componente lungo y degli sforzi resistenti.

4.4.2 Modalità di valutazione delle resistenze al moto

Per la valutazione delle resistenze al moto, si è considerata la formulazione di O'Brien, Julien e Fullerton con le seguenti posizioni:

- coefficiente di Strickler $K_{St}=4 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$,
- sforzo tangenziale limite per il movimento $\tau_y= 71.69 \text{ N/m}^2$;
- viscosità $K =0.574 \text{ Pa}\cdot\text{s}$.

Tale formulazione suppone che lo sforzo resistente globale sia somma di un'aliquota turbolenta, calcolabile alla Gauckler e Strickler (derivante dalle resistenze al moto offerte da ostacoli quali, ad esempio, le alberature presenti lungo il percorso), e da un'aliquota viscosa (calcolabile alla Bingham, con parametri reologici assunti pari a quelli individuati, in base ad analisi di laboratorio specificatamente eseguite presso il DICEA su materiali simili a quelli rinvenibili nell'Isola di Ischia.

In considerazione del tipo di materiale detritico che può distaccarsi dai versanti e dare origine a un fenomeno di flusso iper-concentrato costituito da un miscuglio costituito, in parte, da acque e, dall'altro, da sedimenti a granulometria media-fine (di diametro inferiore ai 2 mm, classici dei materiali piroclastici, in tutte le analisi eseguite si è ammesso di potere usare un valore del peso specifico della mistura acqua+sedimenti pari a $\gamma = 16000 \text{ N/m}^3$.

4.4.3 Il modello numerico utilizzato

Il modello bidimensionale $2D_UFM$ vers. 2.1 utilizzato per le analisi eseguite nell'ambito della presente convenzione, pur risultando basato sulle stesse equazioni sulle quali è basato il modello $2D_UFM$ vers. 1.0, illustrato ed utilizzato in una prima memoria presentata nel corso di un convegno nazionale nel 2002 (Napoli, 2002) e di un convegno internazionale nel 2003 (Davos, 2003) (Barbiero e Pianese, 2003), risulta, tuttavia, molto più accurato di quest'ultimo, in quanto, nello stadio in cui è stato qui utilizzato, è stato munito di specifiche tecniche finalizzate a migliorare il trattamento dei termini sorgente. Per eventuali ulteriori chiarimenti su di esso si rimanda a precedenti lavori degli scriventi (Pianese & Barbiero, 2004; Cozzolino & Pianese, 2005).

4.4.4 Discretizzazione nello spazio

Si supponga di avere suddiviso l'intero dominio fisico in N celle triangolari, non sovrapposte, che saranno denominate, d'ora in poi, *volumi finiti*. Il sistema di equazione (1) può essere integrato all'interno di ognuno dei volumi finiti, dando luogo a:

$$\int_{A_i} \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial f(u)}{\partial x} + \frac{\partial g(u)}{\partial y} \right) dA = \int_{A_i} s(x, y, u) dA ; \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (3)$$

dove A_i rappresenta l'area dell' i -esimo volume finito.

L'applicazione del Teorema di Green all'equazione (3) fornisce:

$$\frac{du_i}{dt} = -\frac{1}{A_i} \oint_{+\partial A_i} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} dl + s_i ; \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (4)$$

Nell'equazione vettoriale (4), il significato dei simboli è il seguente: u_i = valore mediato, nel volume di controllo i -esimo, del vettore \mathbf{u} delle quantità conservate; s_i = valore mediato, nel volume di controllo i -esimo, del vettore dei termini sorgente; \mathbf{F} = matrice i cui vettori colonna sono i vettori dei flussi \mathbf{f} e \mathbf{g} ; \mathbf{n} = versore normale al contorno del volume finito, considerato positivo se uscente.

Se si riescono a esprimere le quantità a secondo membro in funzione dei valori medi u_i delle variabili conservate, il sistema (4) si riduce a un sistema di equazioni differenziali ordinarie nelle incognite u_i , che può essere approssimato mediante uno dei metodi di Runge-Kutta.

4.4.5 Calcolo dei flussi

Al fine di valutare le quantità a secondo membro dell'equazione (4), è necessario approssimare in maniera appropriata la circuitazione a secondo membro: tale circuitazione rappresenta il flusso totale delle quantità conservate \mathbf{u} attraverso il perimetro del volume di controllo i -esimo. A questo proposito, si osserva che ognuno dei volumi di controllo nei quali il dominio viene discretizzato è, per specifica volontà degli autori (Pianese, Cozzolino et al., 2005; Cozzolino & Pianese, 2005; Cozzolino, Mucherino & Pianese, 2005; Cosenza, Cozzolino, Pianese et al., 2006), triangolare, per cui la citata circuitazione si riduce alla sommatoria di integrali di linea, ognuno dei quali eseguito su uno dei lati che compongono il perimetro del volume di controllo:

$$\oint_{+\partial A_i} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n} dl = \sum_{k \in K(A_i)} \int_{l_k} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_k dl. \quad (5)$$

Nell'equazione vettoriale (5), il significato dei simboli è il seguente: $K(A_i)$ è l'insieme dei lati che compongono il perimetro del volume finito i -esimo, l_k è la lunghezza del k -esimo lato nel quale il dominio fisico è stato discretizzato, \mathbf{n}_k è un versore normale al k -esimo lato nel quale il dominio fisico è stato discretizzato, ed è diretto verso l'esterno del volume finito i -esimo. Finalmente, il generico degli integrali nella sommatoria a secondo membro della (5) può essere riscritto come:

$$\int_{l_k} \mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_k dl = l_k \mathbf{f}_k^*. \quad (6)$$

ove \mathbf{f}_k^* è il flusso numerico attraverso il lato k -esimo. La quantità \mathbf{f}_k^* rappresenta un'approssimazione, lungo il lato k -esimo, della quantità $\mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_k$, e viene calcolata facendo uso dei valori mediati delle variabili conservate nelle celle a destra e a sinistra del lato k -esimo stesso.

Nel caso presente, si osserva che i valori medi delle quantità conservate a destra e a sinistra dell'interfaccia tra due volumi finiti presentano una discontinuità in corrispondenza dell'interfaccia stessa: ne consegue che i valori di $\mathbf{F} \cdot \mathbf{n}_k$, a destra e a sinistra dell'interfaccia sono distinti tra di loro, e, dunque, che \mathbf{f}_k^* non sia univocamente definito. Questo è quanto accade, per esempio, in corrispondenza di un risalto idraulico, attraverso il quale vi è un brusco cambiamento delle grandezze fisiche rilevanti (altezza di corrente, velocità).

Il problema della ricerca della soluzione di un sistema di equazioni differenziali iperboliche (quale quello in esame), allorquando le condizioni iniziali siano discontinue, viene normalmente definito, in campo scientifico, come "problema di Riemann" (Toro, 1997), per cui si conviene di approssimare il flusso numerico mediante un risolutore approssimato del problema di Riemann: nel caso del

modello $2D_UFM$, si fa uso del solutore approssimato di Harten, Lax e Van Leer (Fraccarollo & Toro, 1995), con celerità calcolate alla Einfeldt.

In generale, quando il flusso numerico all'interfaccia k -esima tra due volumi di controllo è approssimato mediante un solutore approssimato del problema di Riemann, esso viene a dipendere dalle quantità conservate \mathbf{u}_L e \mathbf{u}_R a sinistra e a destra dell'interfaccia, rispettivamente:

$$\mathbf{f}^* = \mathbf{f}^*(\mathbf{u}_L, \mathbf{u}_R). \quad (7)$$

Nel caso presente, si conviene di modificare in maniera appropriata \mathbf{u}_L e \mathbf{u}_R , in modo da portare esplicitamente in conto il fatto che, oltre alle quantità conservate, anche la quota di fondo varia bruscamente attraverso l'interfaccia k -esima tra due volumi di controllo (Audusse et al. 2004). In particolare, si considerano i valori medi z_L e z_R della quota di fondo a sinistra e a destra dell'interfaccia, modificando i valori dell'altezza della corrente h_L e h_R a sinistra e a destra dell'interfaccia, rispettivamente, come segue:

$$\hat{h}_L = \max\{0 ; h_L + z_L - \max\{z_L; z_R\}\}; \quad \hat{h}_R = \max\{0 ; h_R + z_R - \max\{z_L; z_R\}\}. \quad (8)$$

I valori così calcolati sono quelli effettivamente usati nel calcolo dei flussi numerici.

4.4.6 Calcolo dei termini sorgente

Il termine sorgente numerico si può essere suddiviso in una componente \mathbf{sg}_i dovuta alla pendenza del fondo, e in una componente \mathbf{st}_i dovuta alle resistenze al moto. I due termini, di natura fisica differente, devono essere discretizzati pure in maniera differente.

Con riferimento al termine \mathbf{sg}_i dovuto alla pendenza del fondo, si conviene di rappresentare in ogni volume di controllo la quota di fondo mediante un valore unico e pari al valore medio nel volume di controllo, congruentemente a quanto si fa per le quantità conservate. Questo, apparentemente, fornisce un valore della pendenza che è nullo in ognuno dei volumi finiti: in realtà, si osserva che, procedendo in tal modo, l'intera differenza di quota tra un volume finito e l'altro viene concentrata all'interfaccia tra gli stessi. L'approccio equivale a distribuire la pendenza nel volume di controllo lungo le sue interfacce (Audusse et al., 2004):

$$s\mathbf{g}_i = \sum_{k \in K(A_i)} -\frac{g}{2} l_k [h_L^2 - \hat{h}_R^2]_k \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ n_x \\ n_y \end{pmatrix}_k. \quad (9)$$

Nell'equazione (9), n_x e n_y sono le componenti lungo x e y , rispettivamente, del vettore \mathbf{n}_k normale al lato k -esimo.

Con riferimento al termine sorgente $s\mathbf{t}_i$ dovuto alle resistenze al moto, si procede come segue, sia per le celle dove il fluido è in quiete, sia per quelle dove il fluido è in moto:

- si calcolano preventivamente le forze attive (spinte idrostatiche sul perimetro del volume finito, termine sorgente dovuto alla pendenza del fondo, flussi di quantità di moto sul perimetro del volume finito), e si varia la velocità del fluido nelle celle in accordo con queste;
- si valuta la massima resistenza iniziale al movimento ($\tau_y A_i$), e si fa ulteriormente variare la velocità del fluido nella cella in accordo con questa: se la nuova velocità risulta di segno opposto rispetto a quella calcolata a partire dalle sole forze attive, allora significa che le resistenze al moto sono sufficienti ad arrestare il fluido, se in moto, o a mantenerlo in quiete, se inizialmente fermo, e si pone la velocità pari a zero;
- se accade che l'applicazione della massima resistenza iniziale al movimento non permette di annullare la velocità, allora il fluido è effettivamente in moto, e si possono aggiungere le ulteriori aliquote di resistenze viscosa e turbolenta rispettivamente.

4.4.7 Modalità di avanzamento nel tempo

Per l'avanzamento nel tempo dell'algoritmo viene utilizzato il metodo di Eulero, ossia il metodo di Runge-Kutta ad un unico passo, preciso al primo ordine. Tale scelta è motivata dalla robustezza dell'algoritmo, e dalla possibilità di adottare passi di calcolo relativamente grandi. Altre scelte più accurate (ad esempio Runge-Kutta a 4 passi) sono possibili, ma sono state scartate per due motivi:

- esse possono dare luogo a instabilità dell'algoritmo che possono essere prevenute solo riducendo l'ampiezza del passo di calcolo;
- la precisione del primo ordine nello spazio vanifica sostanzialmente i guadagni di accuratezza che possono essere ottenuti mediante l'aumento di precisione nel tempo.

In particolare, l'effetto dei flussi attraverso i confini dei volumi di controllo viene sempre calcolato con un algoritmo di Eulero tipo esplicito, mentre gli effetti delle resistenze al moto vengono successivamente portati in conto con un algoritmo di Eulero implicito: i due diversi procedimenti vengono riconciliati mediante l'adozione di una tecnica di time-splitting.

4.4.8 Esecuzione delle simulazioni

4.4.8.1 *Scenari di innesco presi a riferimento*

Gli “Scenari” di possibile innesco di fenomeni di colata rapida/flusso iperconcentrato sono stati 17. Essi sono stati desunti in base alle analisi numeriche effettuate dal gruppo di geologi coordinato dal Prof. Francesco Guadagno, dell’Università del Sannio, sulla base dei risultati forniti dal modello di calcolo DAN-3D, dei sopralluoghi eseguiti e sulla base di specifiche analisi geomorfologiche messe a punto dal Prof. Domenico Guida, dell’Università degli Studi di Salerno.

I risultati conseguiti dal gruppo di lavoro coordinato dal Prof. Guadagno sono sintetizzati negli specifici elaborati grafici e in una tabella riassuntiva, ai quali si rinvia per tutti i dettagli del caso.

Altre indicazioni sono state altresì fornite dal gruppo di geologi incardinati nel DICEA, che, in questa prima fase delle attività, ha fornito delle prime indicazioni sui volumi potenzialmente mobilitabili dai versanti.

La metodologia utilizzata in questo caso è basata su una relazione empirica individuata, su oltre un centinaio di frane del contesto flegreo, tra il potenziale dislivello della frana “H” e la sua possibile estensione areale (De Falco et alii, 2011).

Allo scopo, si è proceduto alla individuazione nell’ambito dell’intero versante di tutti i settori morfologicamente tra loro indipendenti quali i bacini con impluvi e le zone di interbacino generalmente rappresentati da versanti regolari planari. Sono stati individuati, da parte del gruppo di geologi del DICEA, diversi settori di versante a partire dai quali le frane potrebbero raggiungere la zona pianeggiante.

Successivamente, partendo dalla carta della suscettibilità all’innesco, è stata tracciata la linea di possibile innesco (linea nera) che scaturisce dall’involuppo dei punti a pericolosità da innesco P3 posti, cautelativamente, alle quote maggiori.

Anche in questo caso, è stata individuata, con un criterio geomorfologico, una linea che segue la rottura di pendenza presente alla base del versante.

In questo modo, è stato possibile calcolare per ogni settore (bacino e interbacino) l’energia di rilievo “H” di una possibile frana.

L’ampiezza della singola potenziale frana è scaturita dalla relazione specificamente individuata per l’Isola di Ischia a partire dagli eventi che si sono verificati il 26/11/2022, mentre il volume della stessa è stato dedotto dalla moltiplicazione dell’ampiezza con lo spessore del materiale piroclastico sciolto mobilitabile.

4.4.8.2 Risultati delle simulazioni preliminari eseguite con riferimento ai sistemi di drenaggio “Celario” e “La Rita”

In attesa che il gruppo di geologi impegnato nell’ambito del Gruppo di Lavoro fornisca, alla luce di sopralluoghi, di sondaggi ed analisi geognostiche, possa fornire valori sufficientemente affidabili dei volumi di fango che possono pervenire nei tratti medio-vallivi delle varie “cave”, e di verificare le concrete possibilità computazionali offerte dal modello matematico *2D-UFM* vers.2.1 quando applicato allo specifico contesto qui preso in esame, il gruppo di idraulici ha provveduto ad implementare il suddetto modello sia con riferimento all’intero sistema di drenaggio convenzionalmente denominato “*Sistema Celario*”, costituito da 7 cave principali site interamente nel territorio comunale di Casamicciola, che vanno poi a confluire verso Piazza Bagni e, da qui, defluendo lungo via Monte della Misericordia, al mare, sia con riferimento all’intero sistema di drenaggio convenzionalmente denominato “*Sistema La Rita*”, costituito da 5 cave principali che affluiscono, poi, ad un’unica asta drenante che sbocca a mare nel territorio comunale di Lacco Ameno.

Nelle successive Figg. 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3, 4.3.4, 4.3.5, 4.3.6 e 4.3.7 sono mostrati gli inviluppi dei massimi tiranti di fanghiglia che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone del “*Sistema Celario*” interessate da potenziali flussi iperconcentrati provenienti, rispettivamente:

- dal bacino della Cava Celario (I ramo, quello più ad ovest);
- dal bacino della Cava Celario (II ramo, quello più ad est);
- dal bacino della Cava Sinigallia;
- dal bacino della Cava Negroponte (I ramo, quello più ad ovest);
- dal bacino della Cava Negroponte (II ramo, quello più ad est);
- dal bacino della Cava Fasaniello-Ervaniello;
- dal bacino della Cava Puzzillo

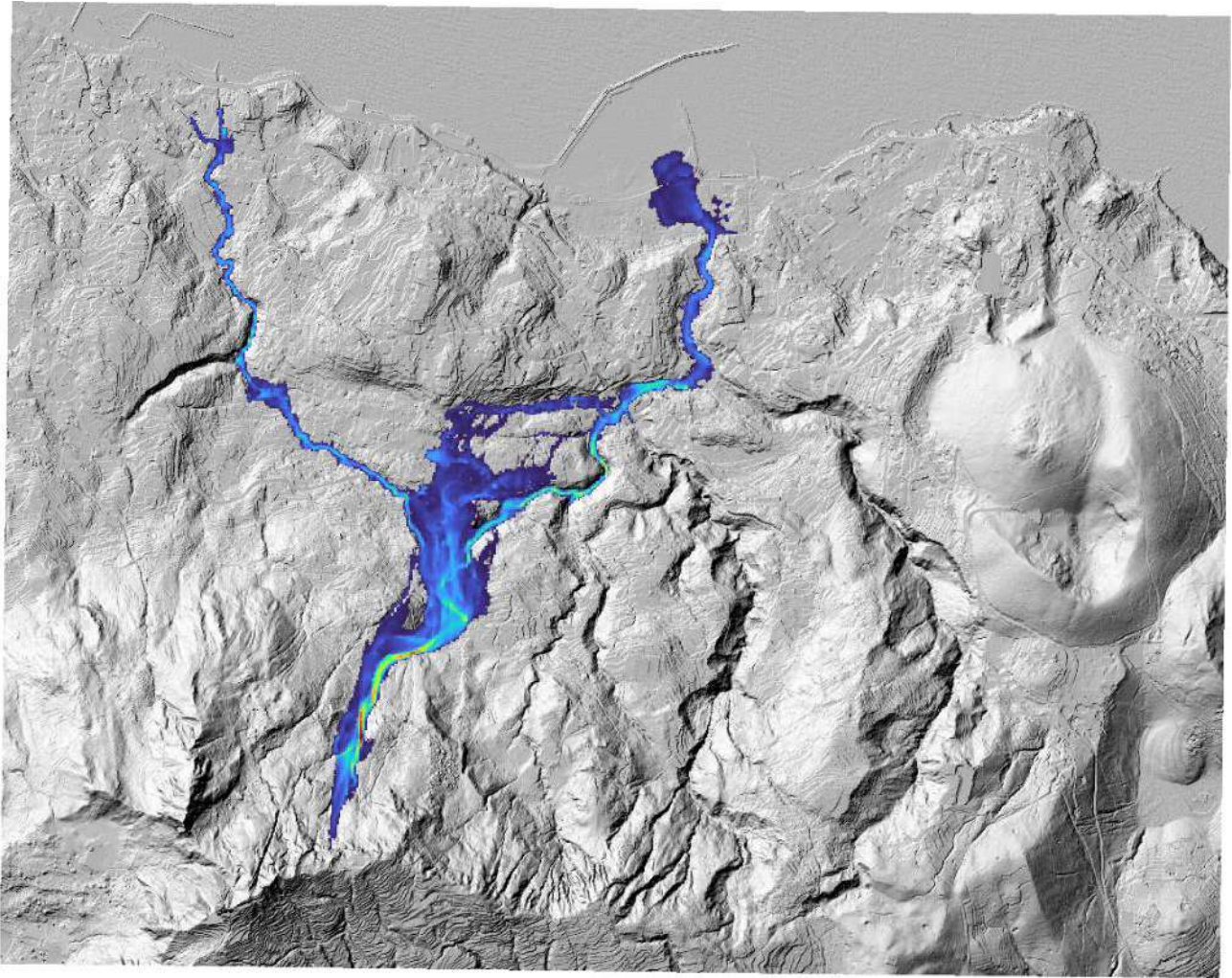


Figura 4.3.1 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Celario – I ramo

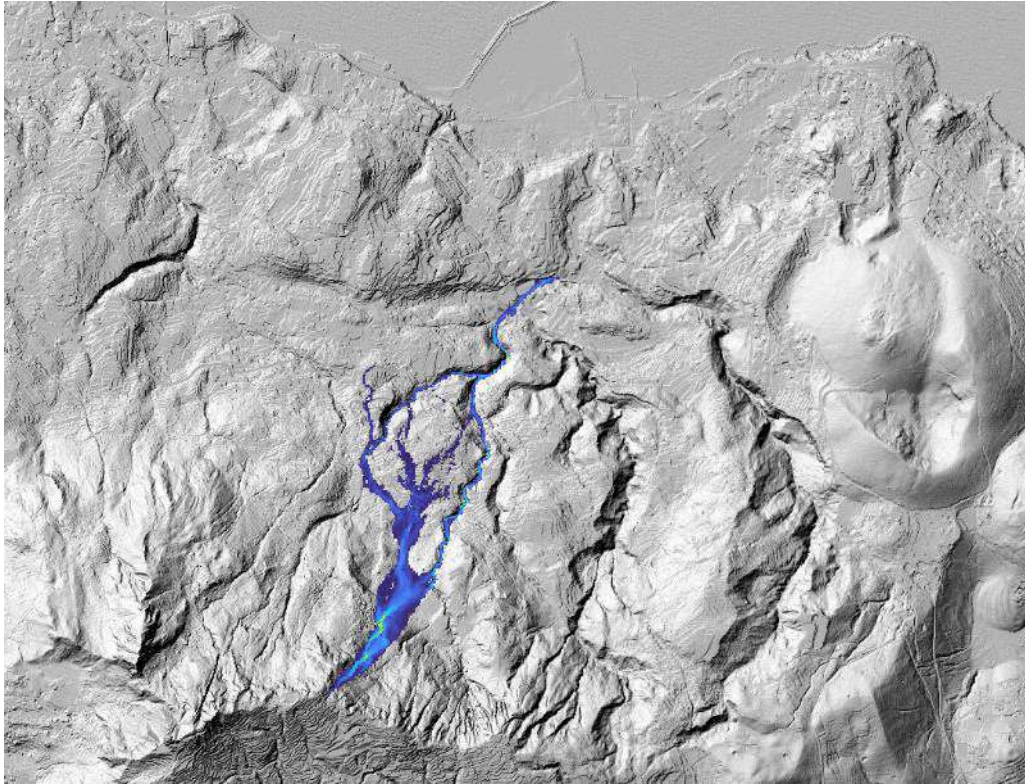


Figura 4.3.2 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Celario – Il ramo

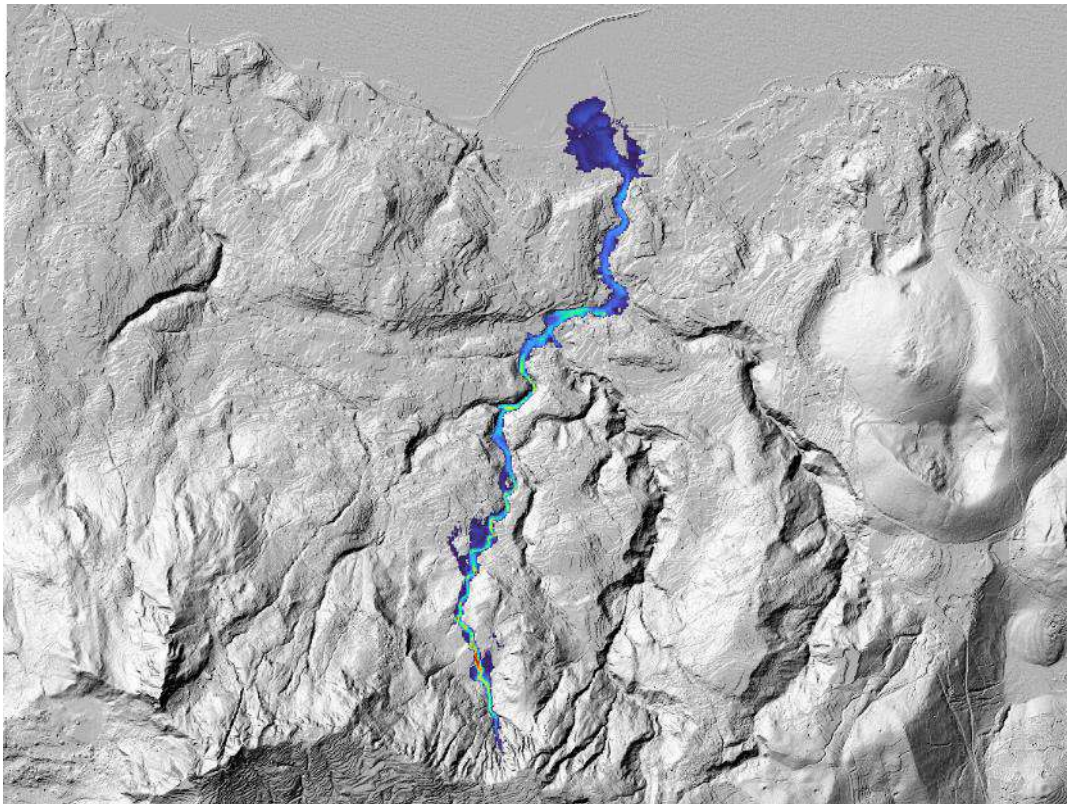


Figura 4.3.3 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Sinigallia

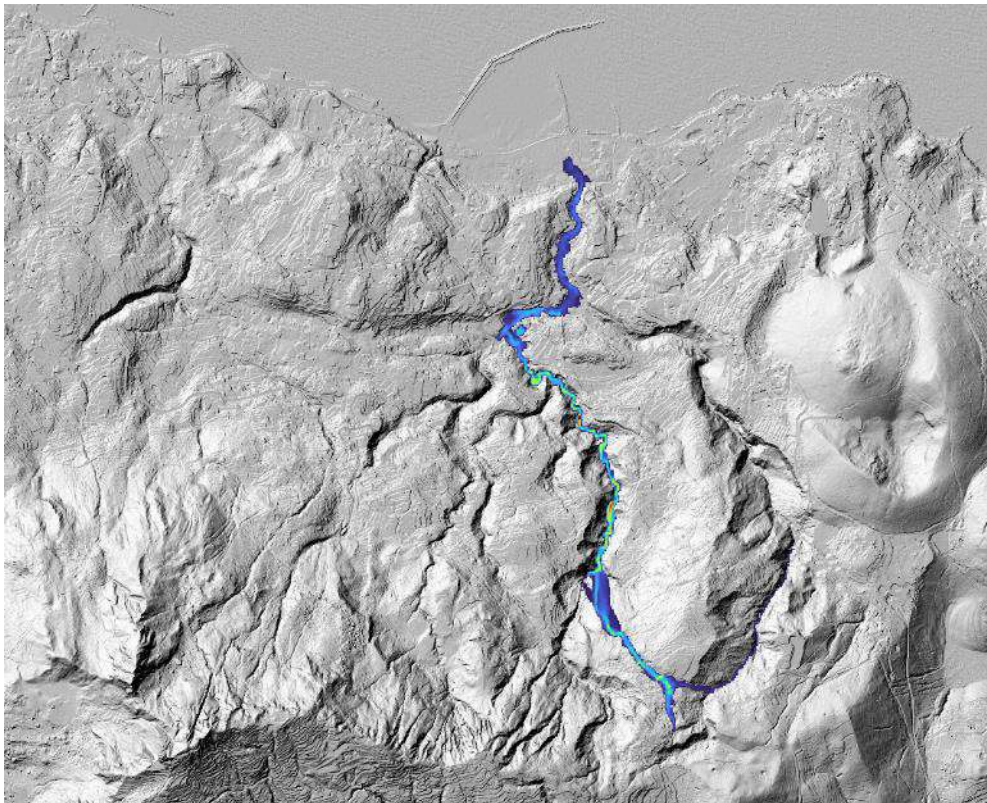


Figura 4.3.4 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Negro Ponte – I ramo

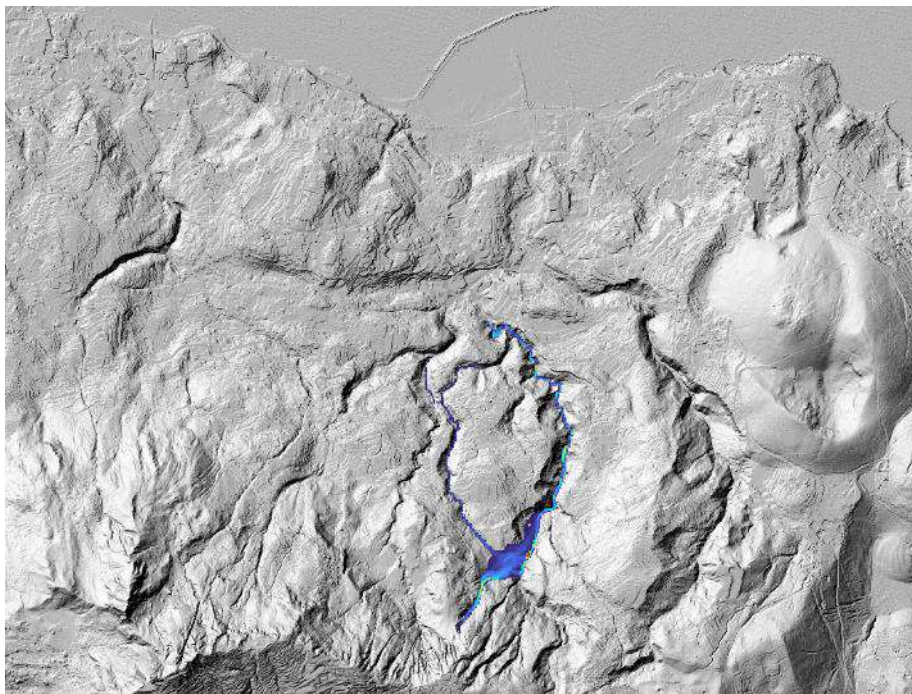


Figura 4.3.5 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Negro Ponte – II ramo

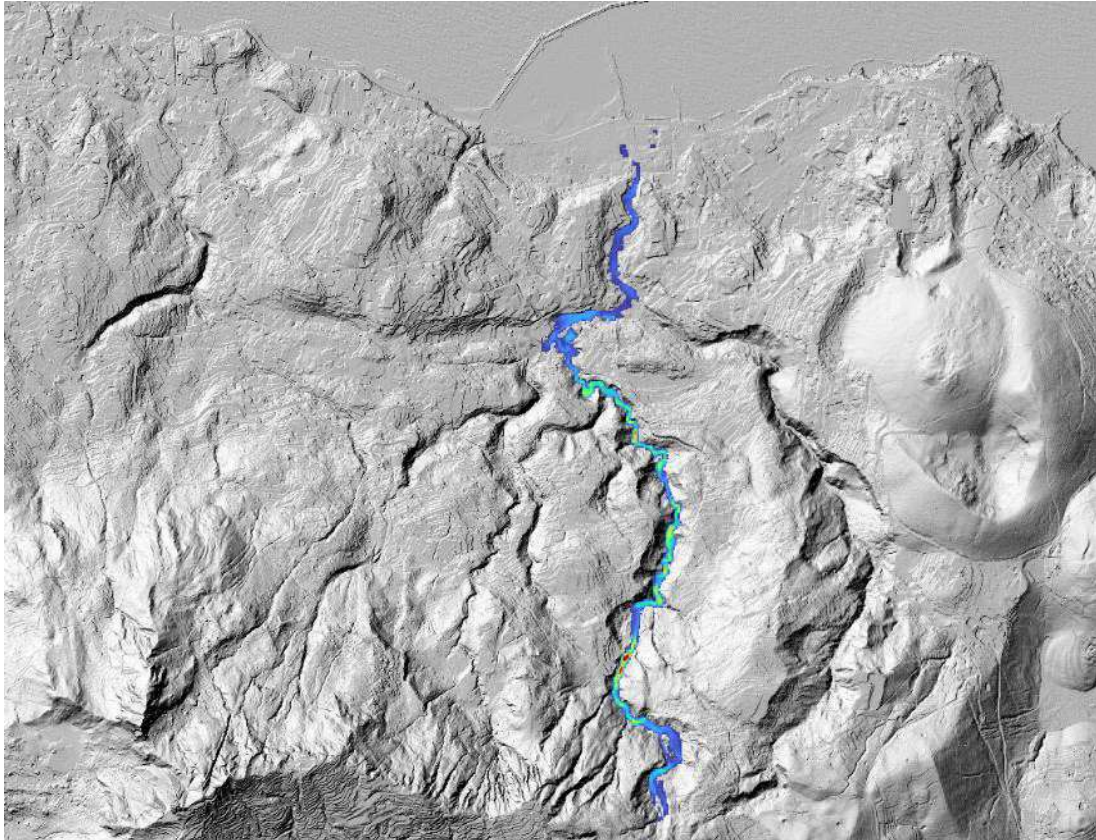


Figura 4.3.6 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Fasaniello-Ervaniello

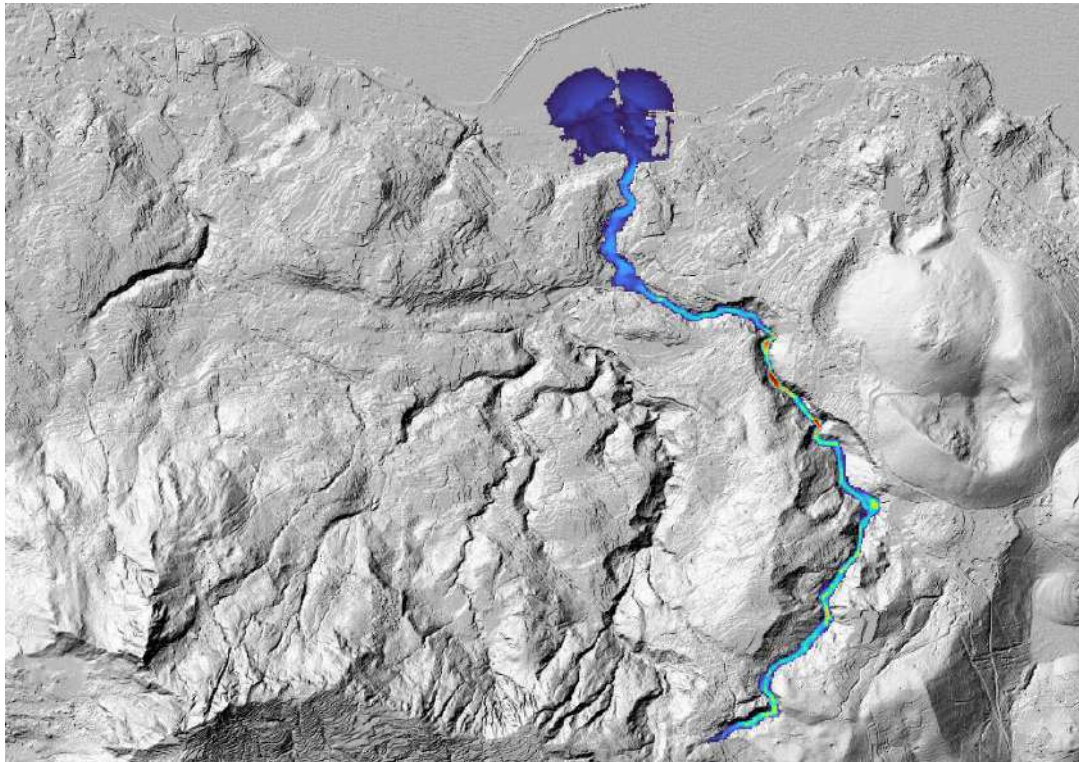


Figura 4.3.7 – Simulazioni relative al “Sistema Celario” relativamente al deflusso di un flusso iperconcentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla Cava Puzzillo

Nelle successive Figg. 4.3.8, 4.3.9, 4.3.10, 4.3.11 e 4.3.12 sono mostrati gli inviluppi dei massimi tiranti di fanghiglia che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone interessate da potenziali flussi iper-concentrati provenienti, rispettivamente:

- dalla cava più ad ovest delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla quarta, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla quinta, nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;

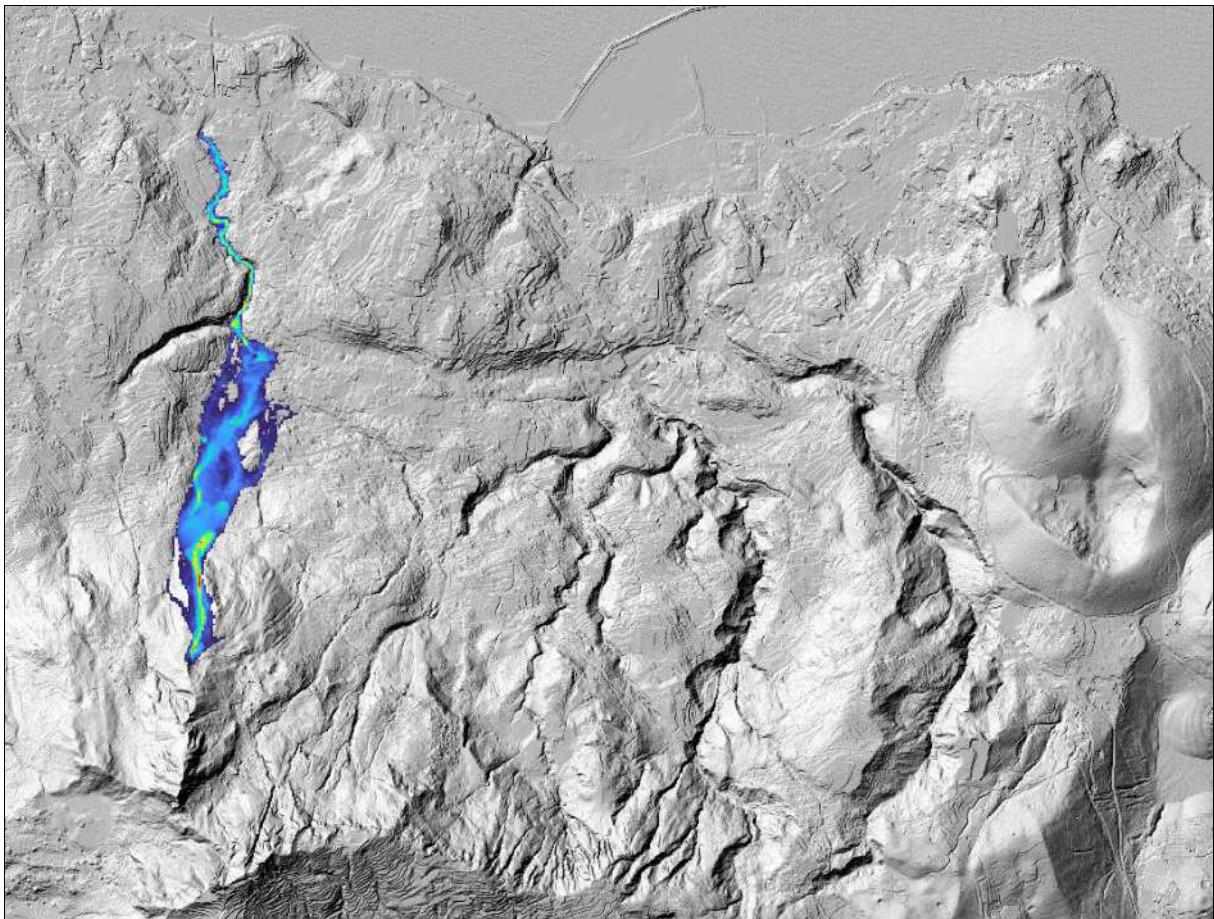


Figura 4.3.8 – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo

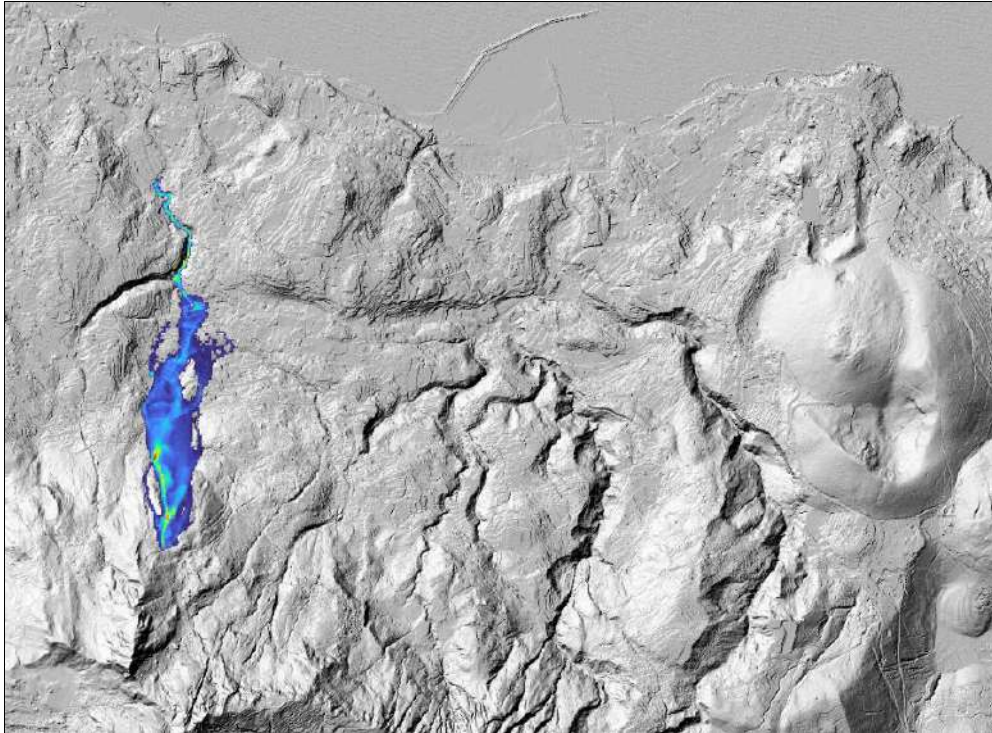


Figura 4.3.9 – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla seconda, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

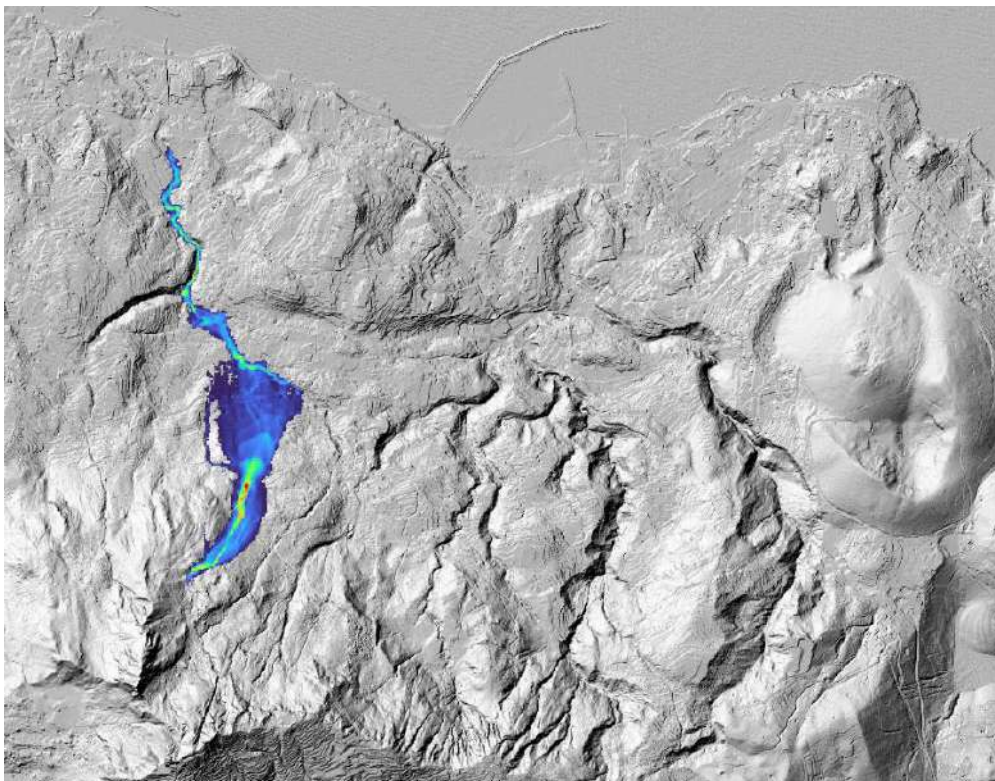


Figura 4.3.10 – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla terza, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

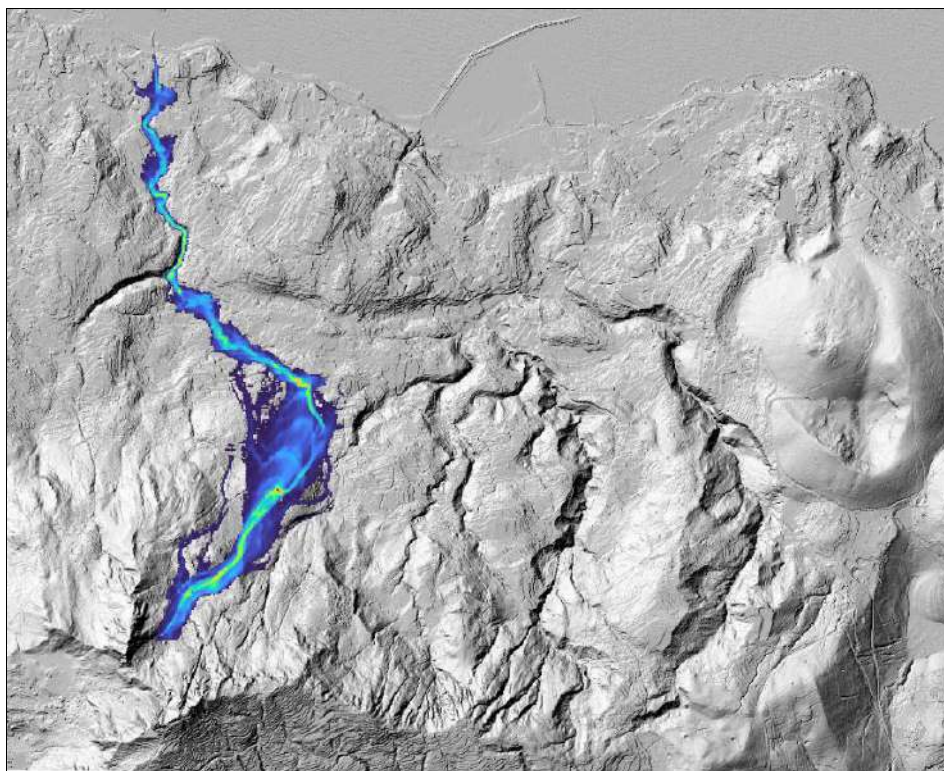


Figura 4.3.11 – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quarta, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

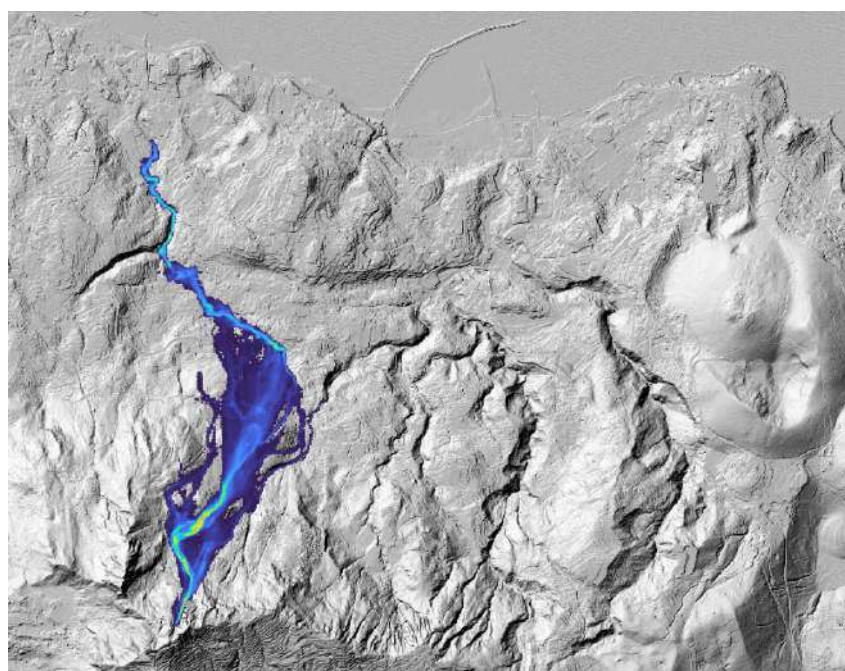


Figura 4.3.12 – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quinta, nonché ultima, a partire da quella più ad ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

4.4.8.3 *Modellazioni di flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida che potrebbero interessare alcuni dei sottobacini presi in esame*

Allo scopo di valutare, preliminarmente, gli effetti che flussi iper-concentrati derivanti da fenomeni di colata rapida potrebbero avere sulle zone medio-vallive e costiere, sono state effettuate alcune simulazioni. In particolare, le modellazioni dimostrative effettuate a tale scopo fanno riferimento a 6 casi di flusso iper-concentrato che si può generare a valle di una frana quali quella descritte ed esaminate nel precedente paragrafo 4.2.

Cercando di approssimare la fenomenologia degli eventi originali accaduti nel Novembre 2022 a Ischia, in corrispondenza del vallone Cava Celario,, si è supposto che la fase fluida occupasse il 40% del volume di frana movimentato (ipotesi di materiale saturo con porosità $n = 0.4$), e si è convenuto di procedere utilizzando il seguente criterio per stabilire le condizioni iniziali del flusso iperconcentrato:

- velocità iniziale nulla
- spessore iniziale pari al 40% dello spessore fornito alla fine delle calcolazioni dalle simulazioni del gruppo del prof. Guadagno.

I casi considerati sono dettagliati come segue:

- 1) bac_sin_2a, Scenario_A
- 2) bac_cuc_1a, Scenario_A
- 3) bac_cuc_2a, Scenario_A
- 4) bac_cuc_3a, Scenario_A
- 5) bac_mon_1a, Scenario_A
- 6) bac_mon_2a, Scenario_A"

I risultati delle 6 simulazioni effettuate sono riportati nelle successive Figg. 4.3.13_{a,b}, 4.14_{a,b}, 4.15_{a,b}, 4.16_{a,b}, 4.17_{a,b} e 4.18_{a,b}.

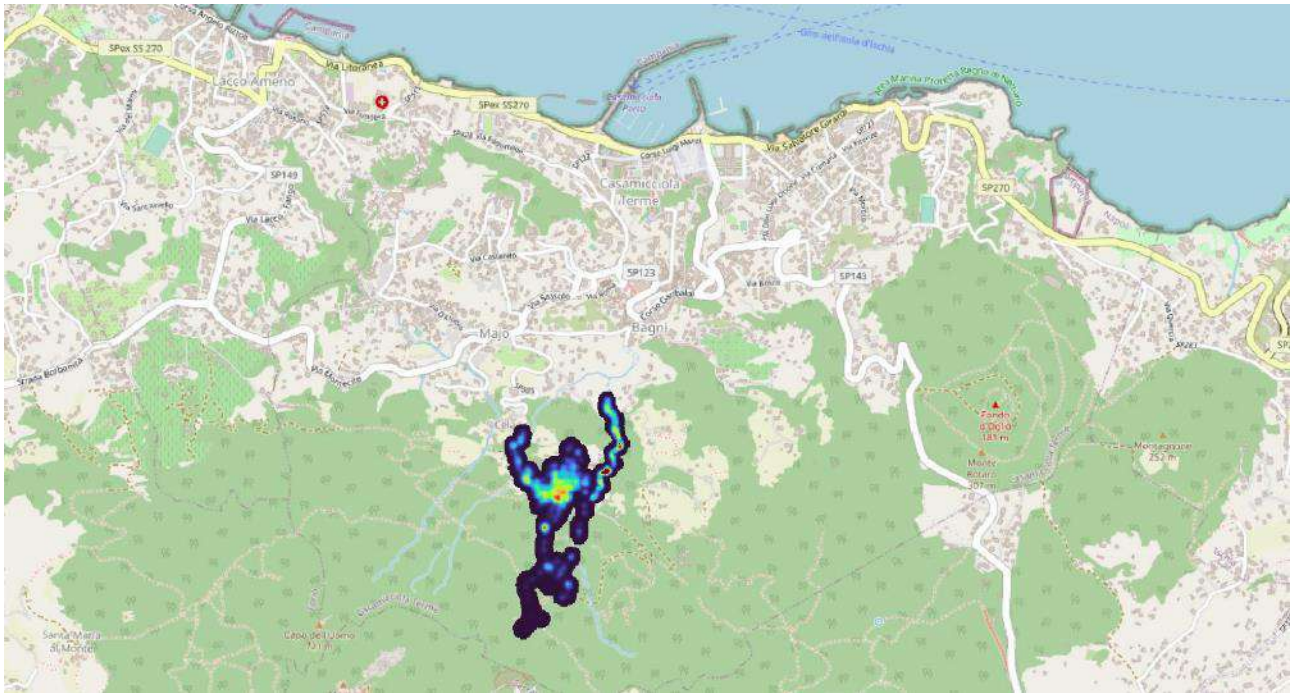


Figura 4.3.13a – Simulazioni relative al bac_sin_2a, Scenario_A – Colata rapida

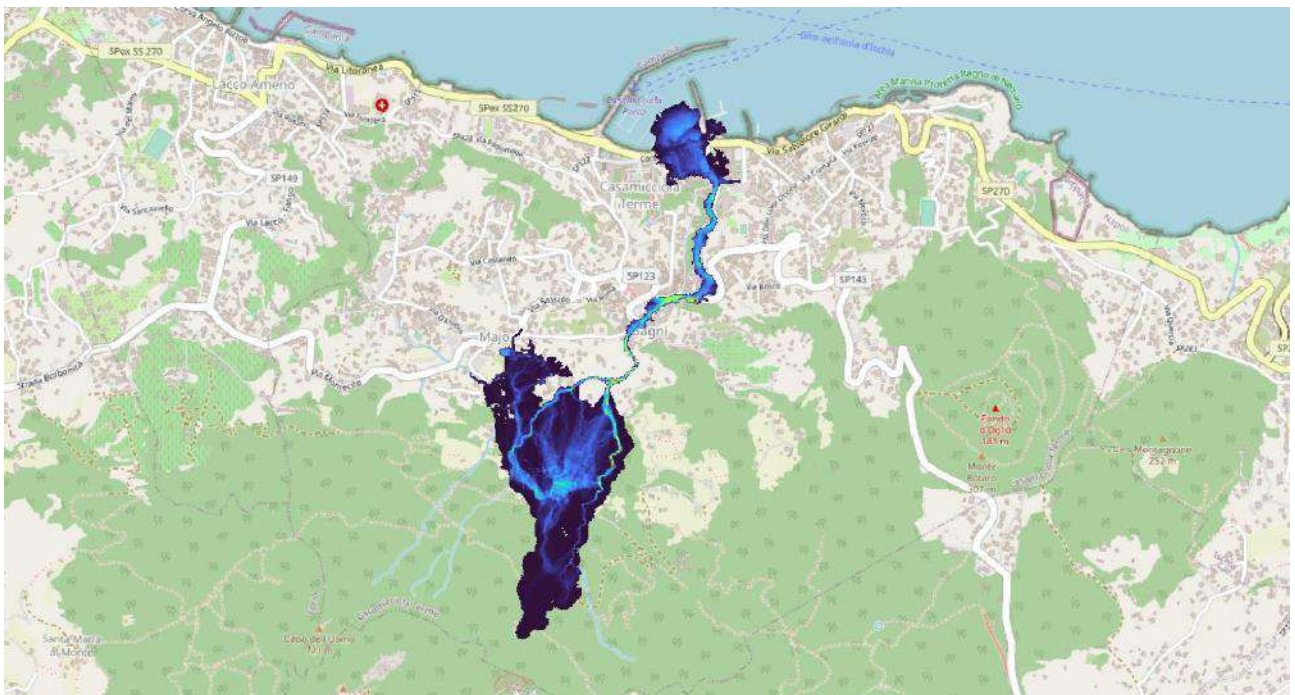


Figura 4.3.13b – Simulazioni relative al bac_sin_2a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato



Figura 4.3.14a – Simulazioni relative al bac_cuc_1a, Scenario_A – Colata rapida

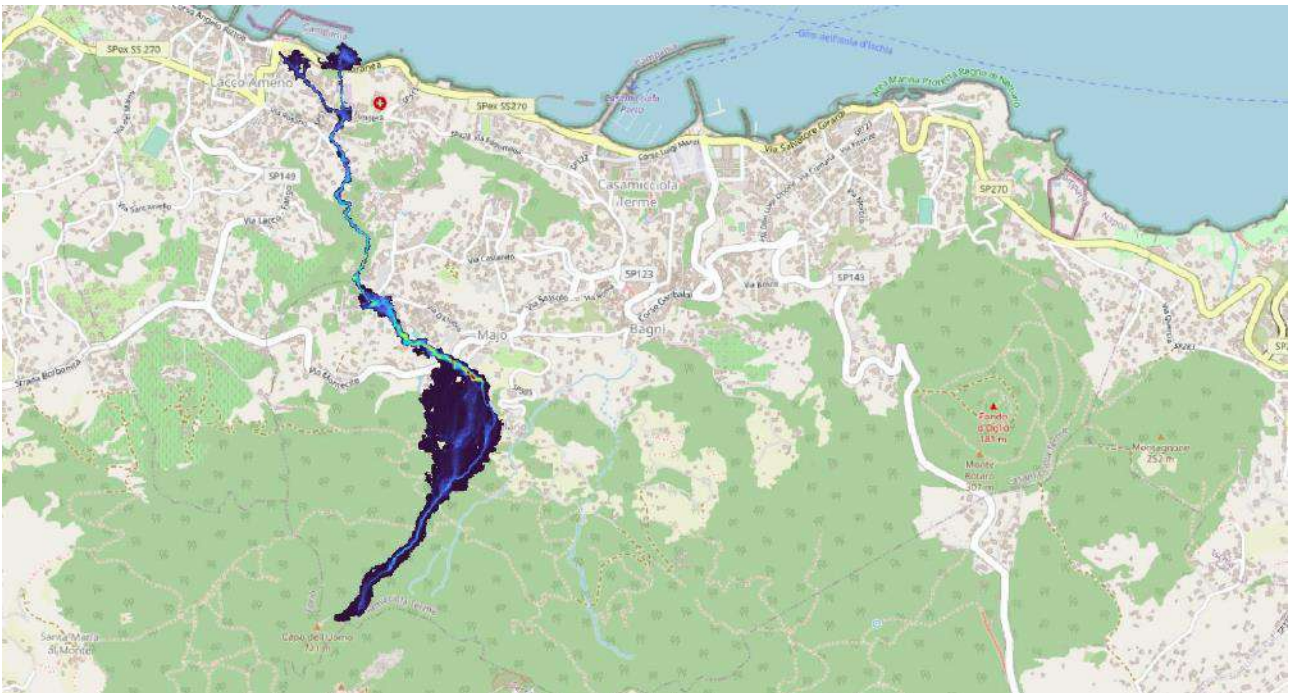


Figura 4.3.14b – Simulazioni relative al bac_cuc_1a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato

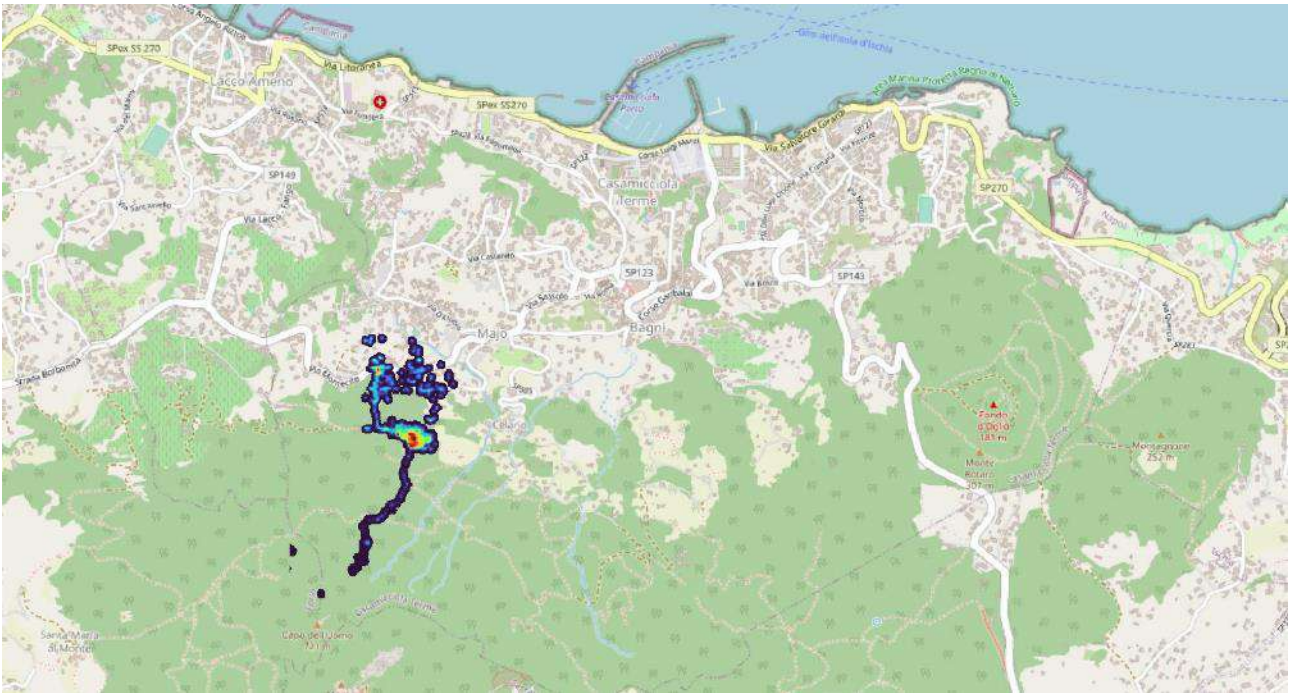


Figura 4.3.15a – Simulazioni relative al bac_cuc_2a, Scenario_A – Colata rapida

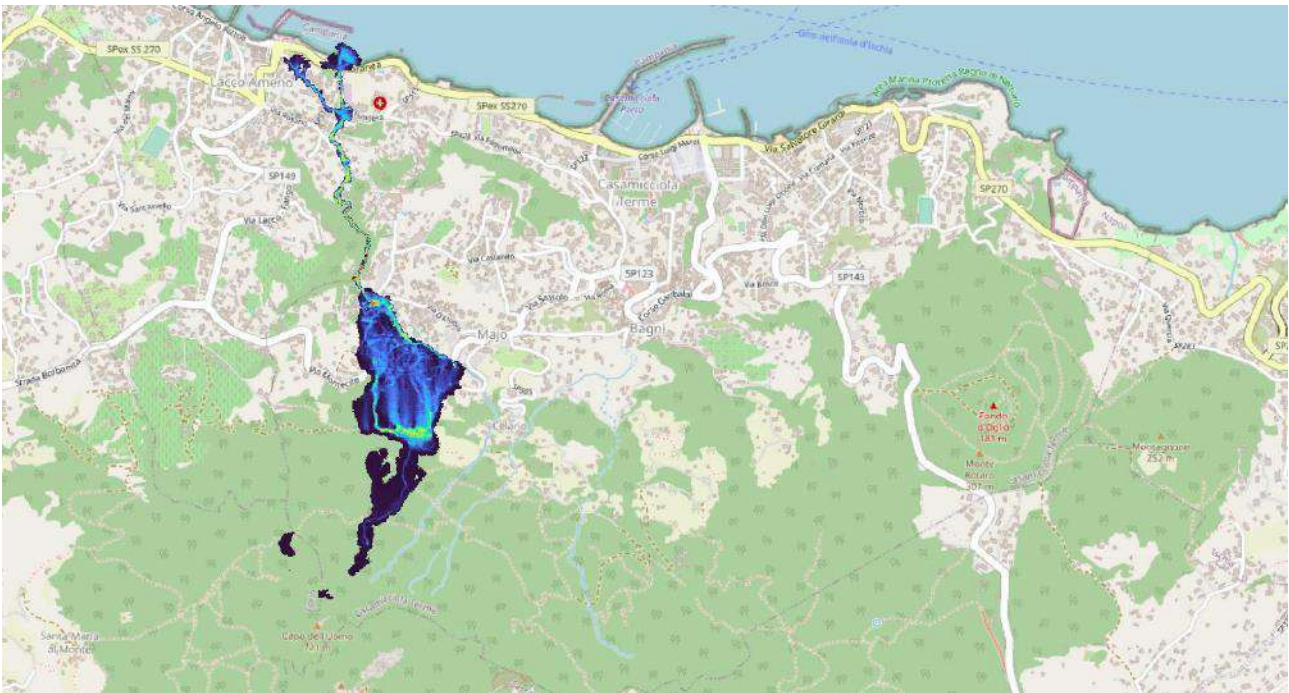


Figura 4.3.15b – Simulazioni relative al bac_cuc_2a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato

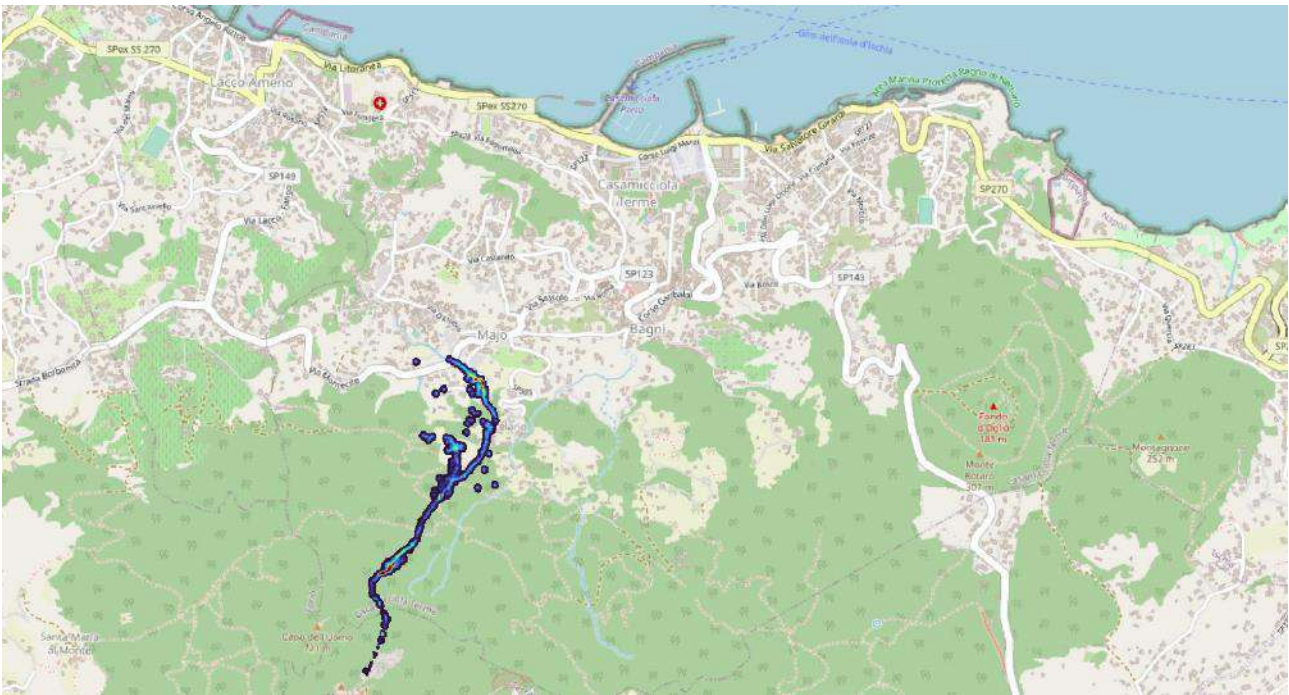


Figura 4.3.16a – Simulazioni relative al bac_cuc_3a, Scenario_A – Colata rapida

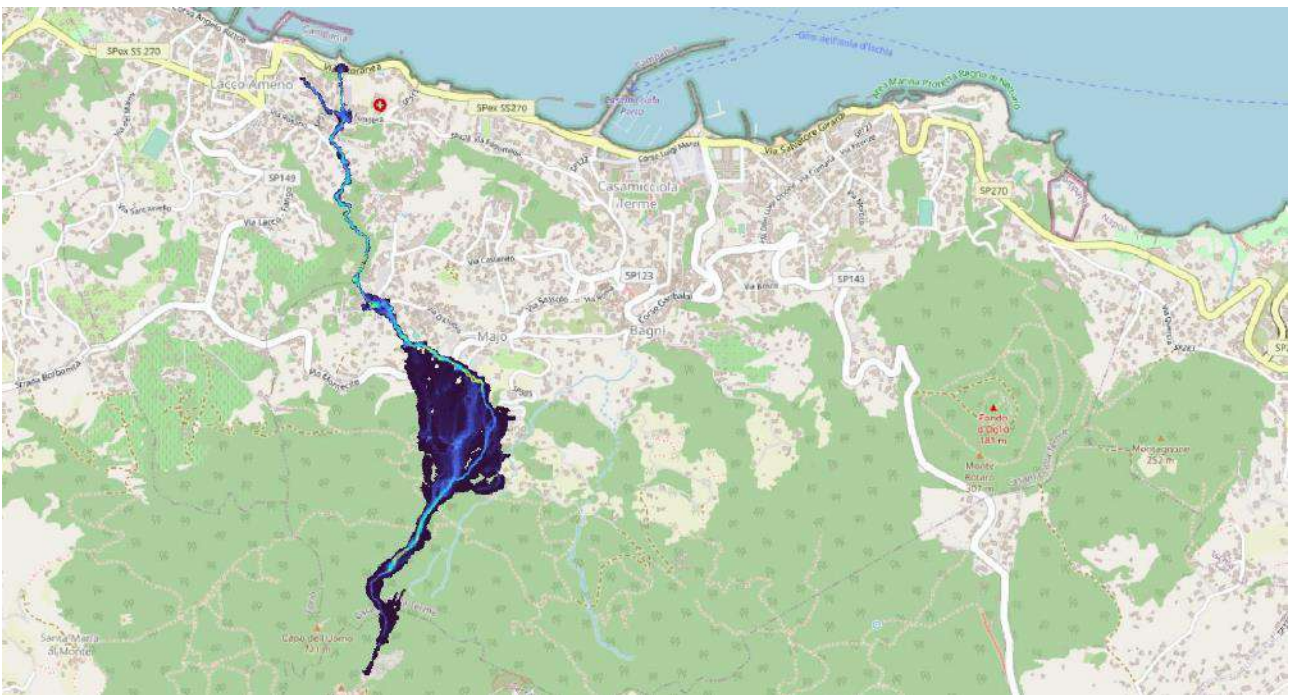


Figura 4.3.16b – Simulazioni relative al bac_cuc_3a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato

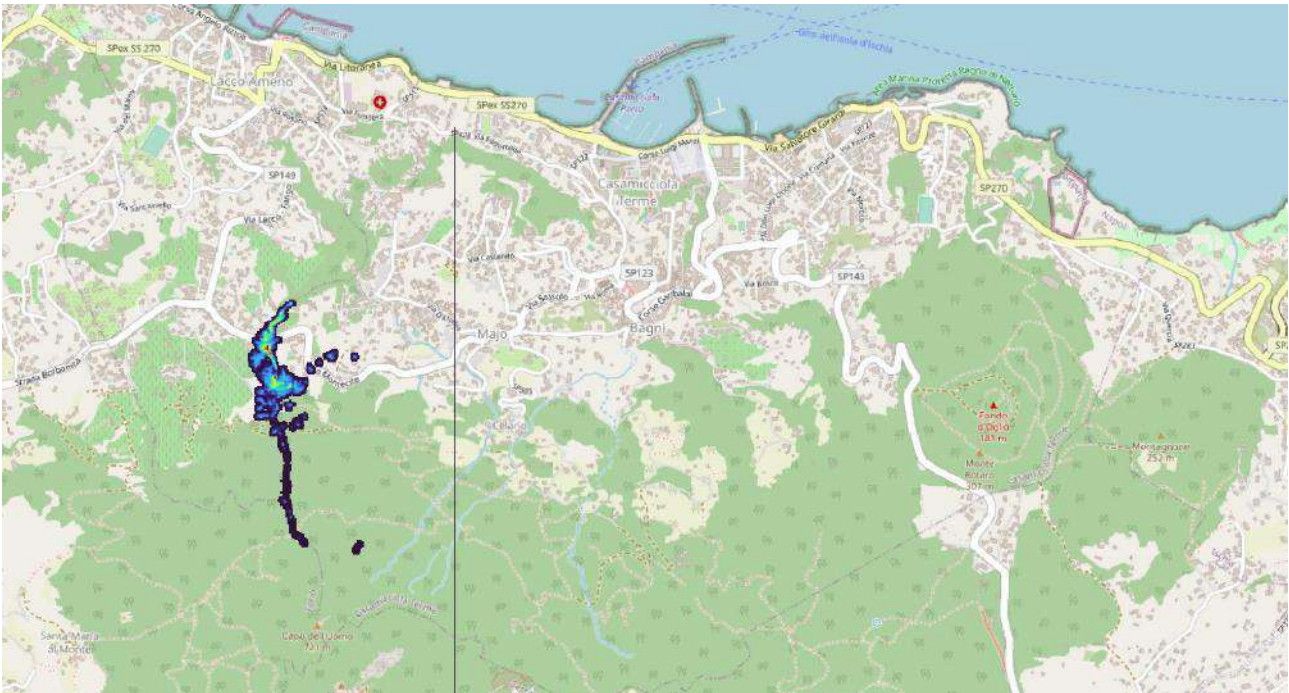


Figura 4.3.17a – Simulazioni relative al bac_mon_1a, Scenario_A – Colata rapida

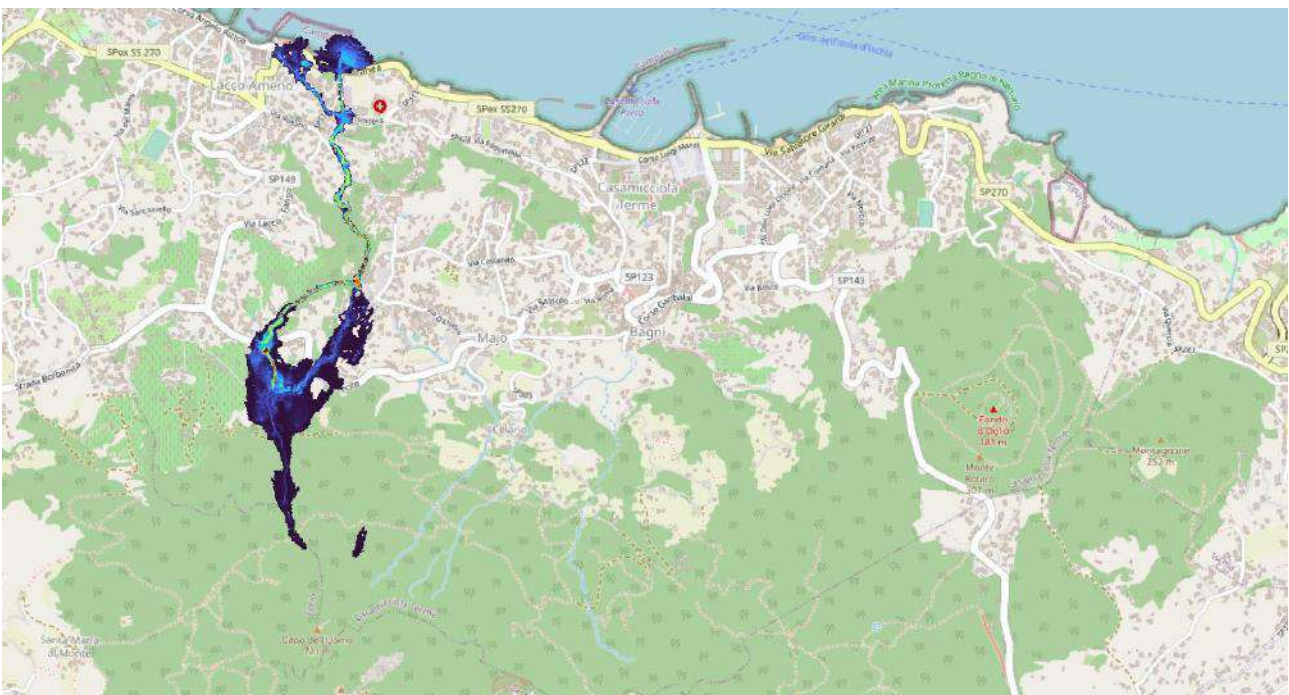


Figura 4.3.17b – Simulazioni relative al bac_mon_1a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato

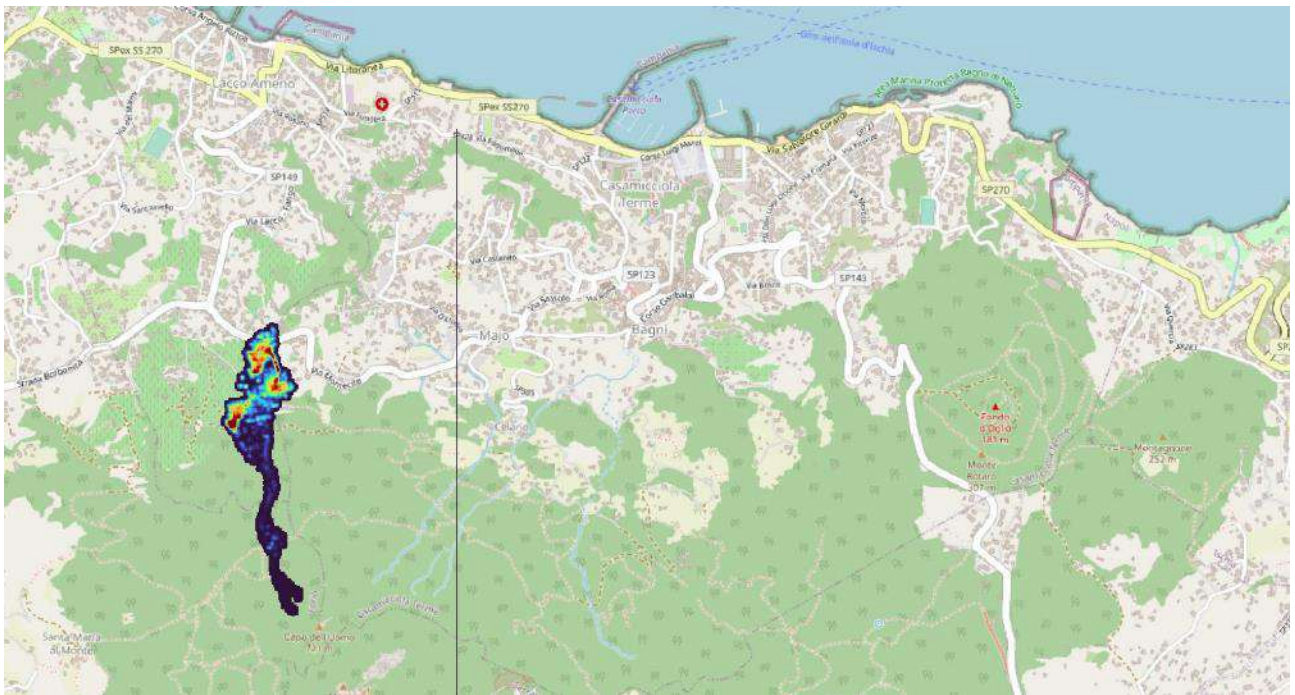


Figura 4.3.18a – Simulazioni relative al bac_mon_2a, Scenario_A – Colata rapida

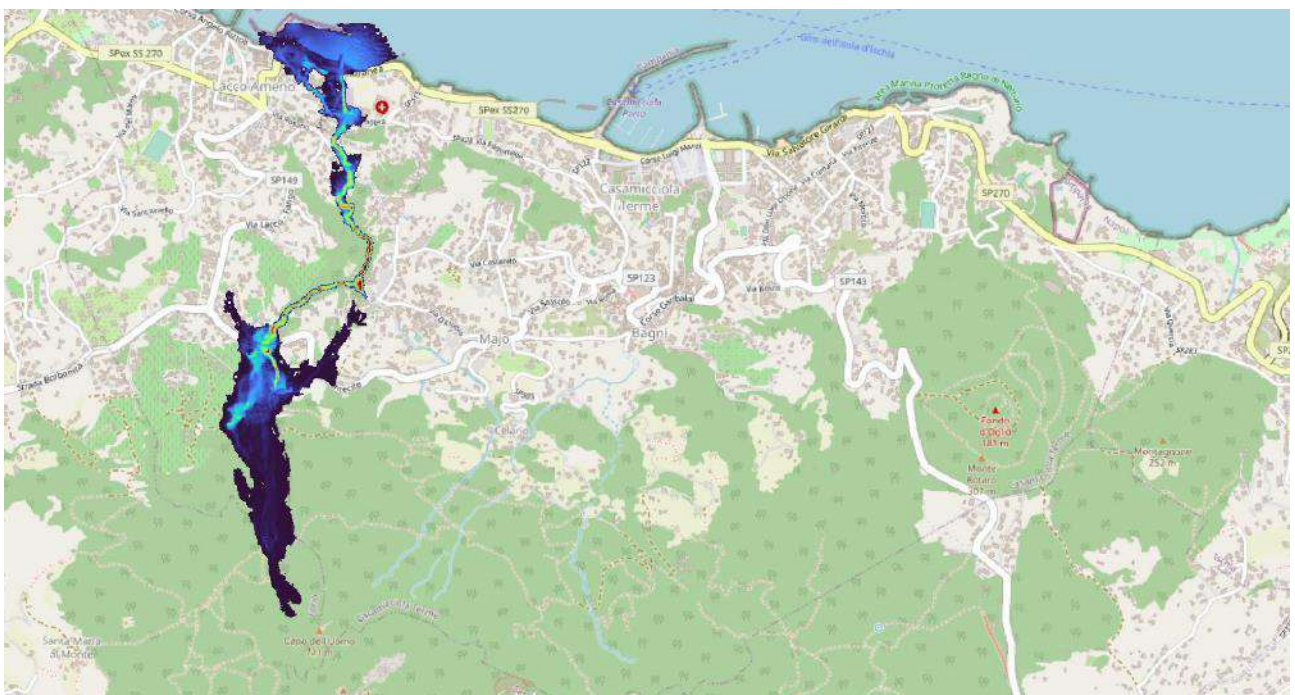


Figura 4.3.18b – Simulazioni relative al bac_mon_2a, Scenario_A – Flusso iper-concentrato

4.4.8.4 *Valutazione dell'eventuale influenza della presenza di strade e stradine sulle direzioni assunte dai flussi iper-concentrati e dalle acque di ruscellamento superficiale*

Allo scopo di comprendere se, ed entro quali limiti, i percorsi delle acque di ruscellamento superficiali potrebbero essere influenzati dalla presenza di stradine aperte lungo i versanti, nelle successive Figg. 4.3.19_{a,b}, 4.3.20_{a,b}, 4.3.21_{a,b}, 4.3.22_{a,b} e 4.3.23_{a,b} sono mostrati, con riferimento al “Sistema La Rita”, con rappresentazione diversa da quella utilizzata nelle precedenti immagini:

- sopra, gli inviluppi dei massimi tiranti di fanghiglia che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone interessate dal deflusso di flussi iper-concentrati di notevole entità;
- sotto, gli inviluppi dei massimi tiranti di acqua che potrebbero realizzarsi, lungo le varie zone interessate dal deflusso di modeste portate di origine meteorica

provenienti, rispettivamente:

- dalla cava più ad ovest delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla quarta, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo;
- dalla quinta, nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che, nel loro insieme, ricadono all'interno del bacino della Cava Cuccufriddo.

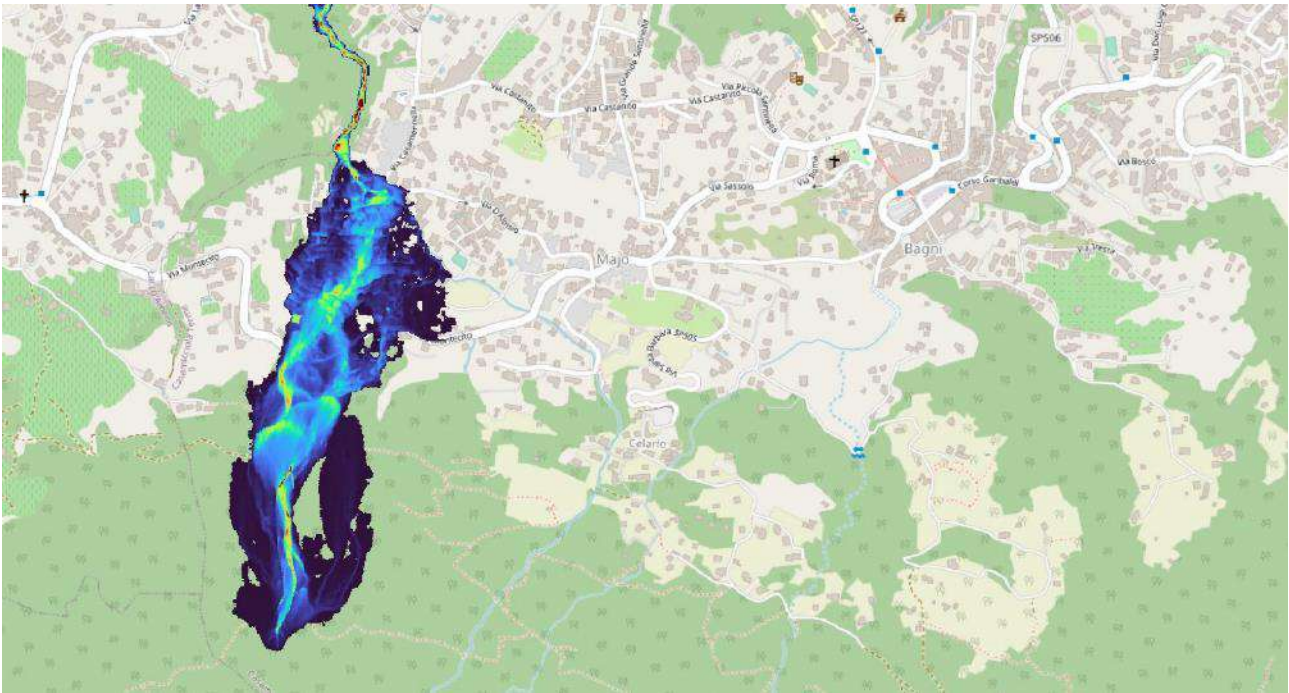


Figura 4.3.19a – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

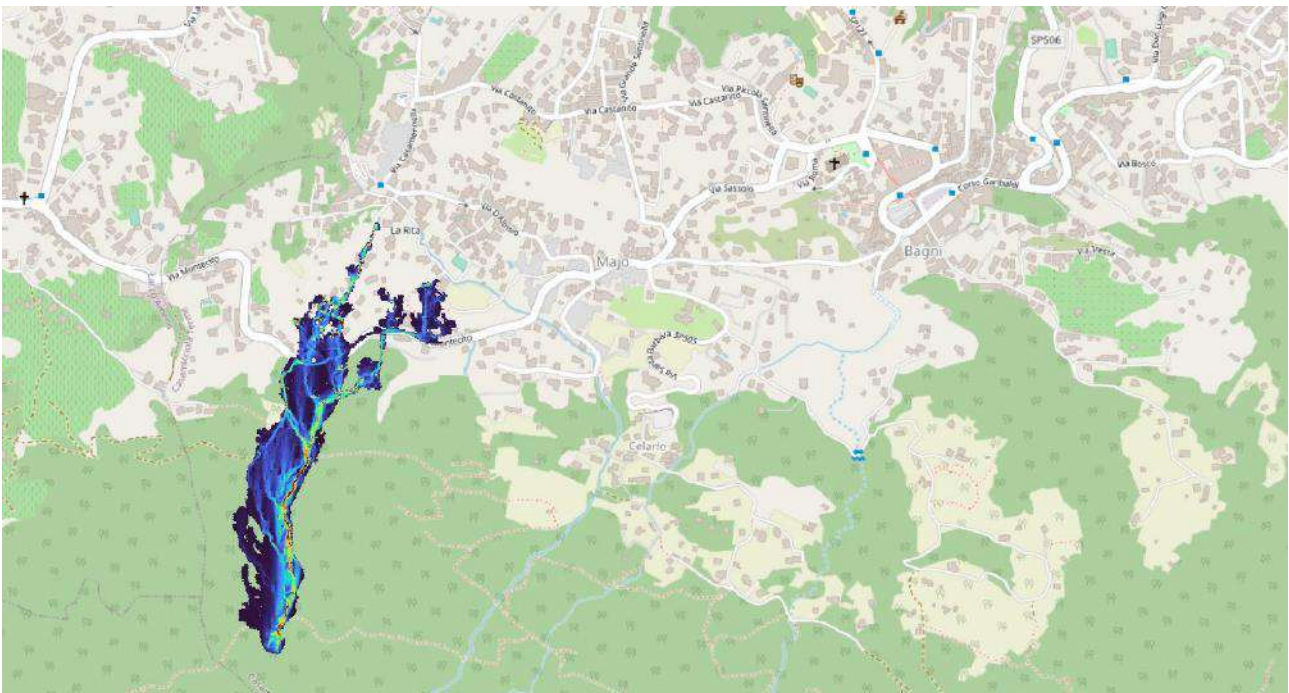


Figura 4.3.19.b – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla cava più ad ovest delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

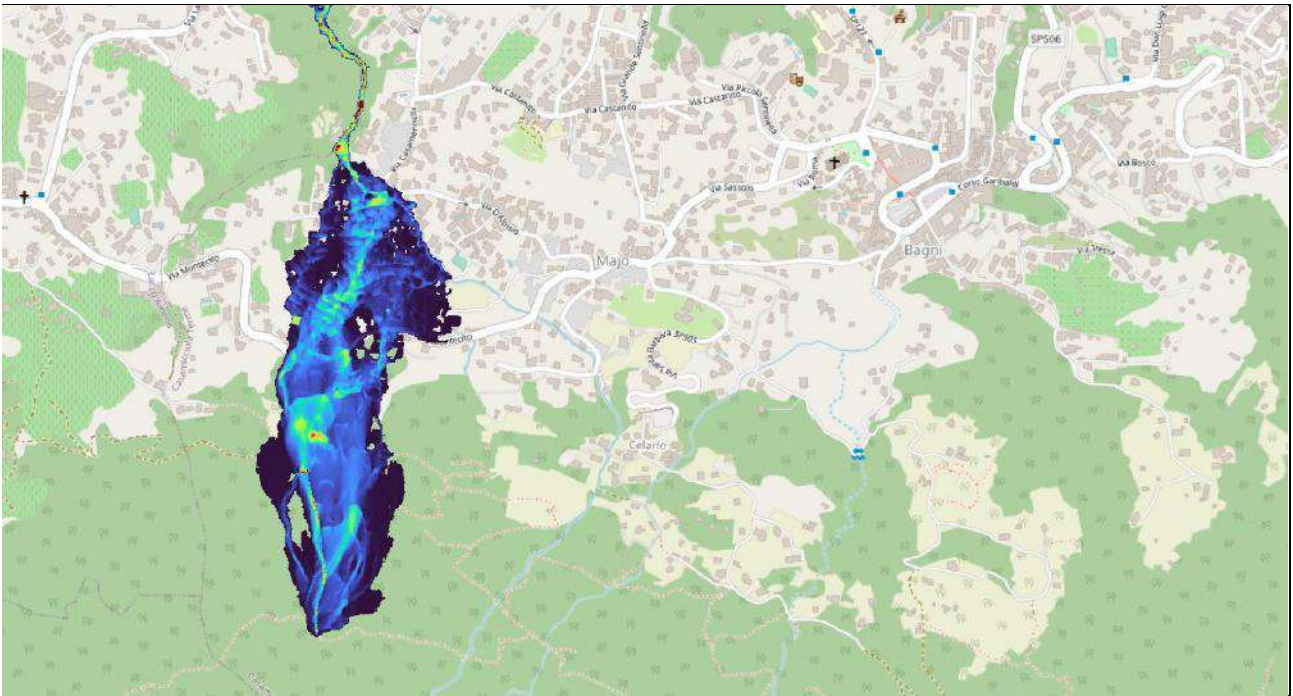


Figura 4.3.20a – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

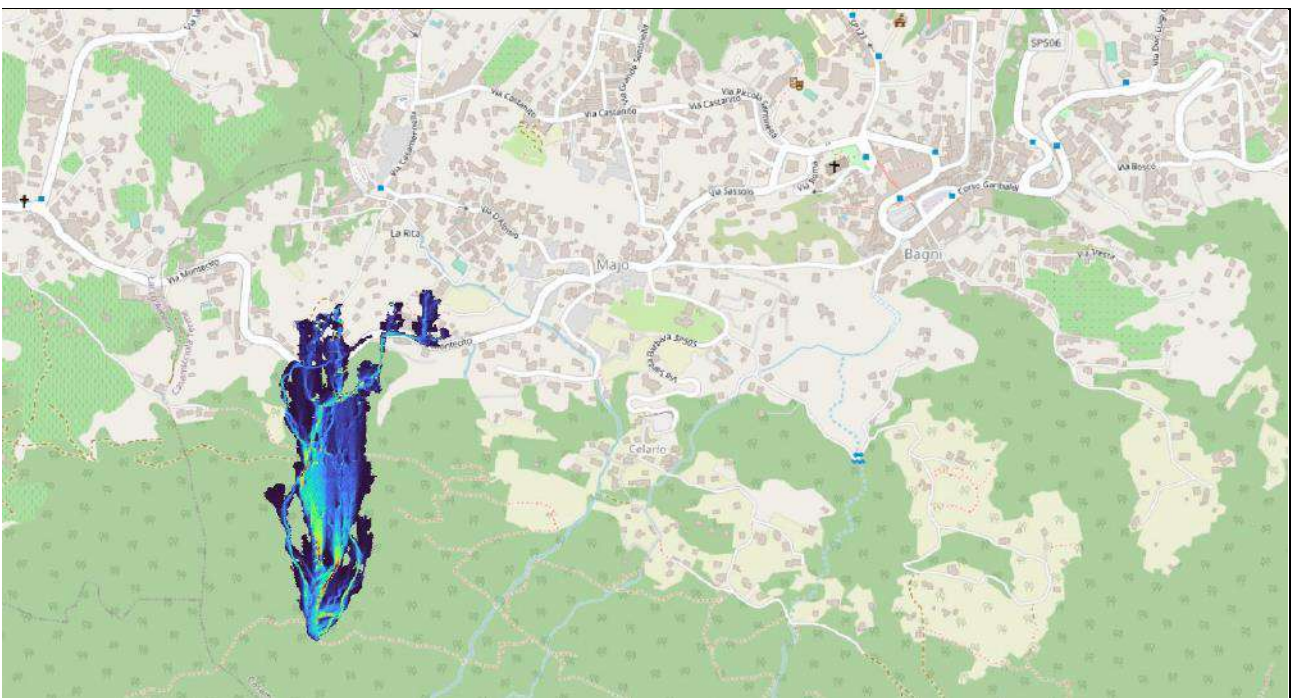


Figura 4.3.20b – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla seconda, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

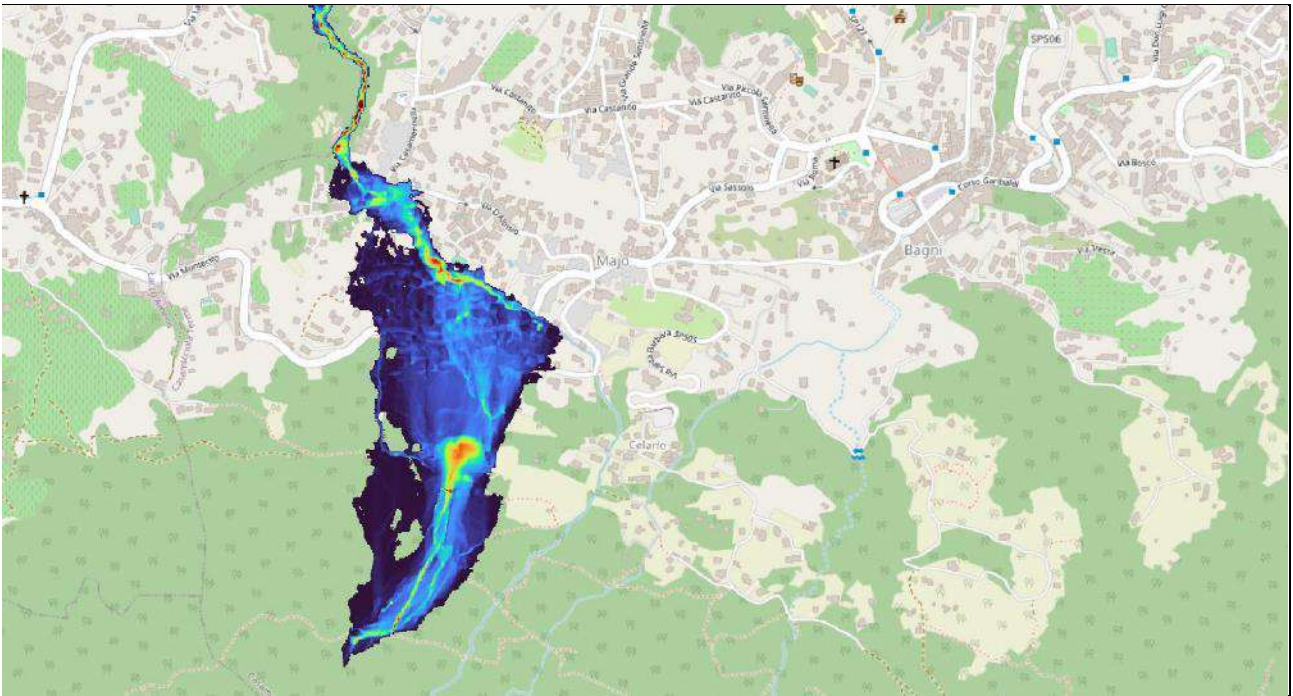


Figura 4.3.21a – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

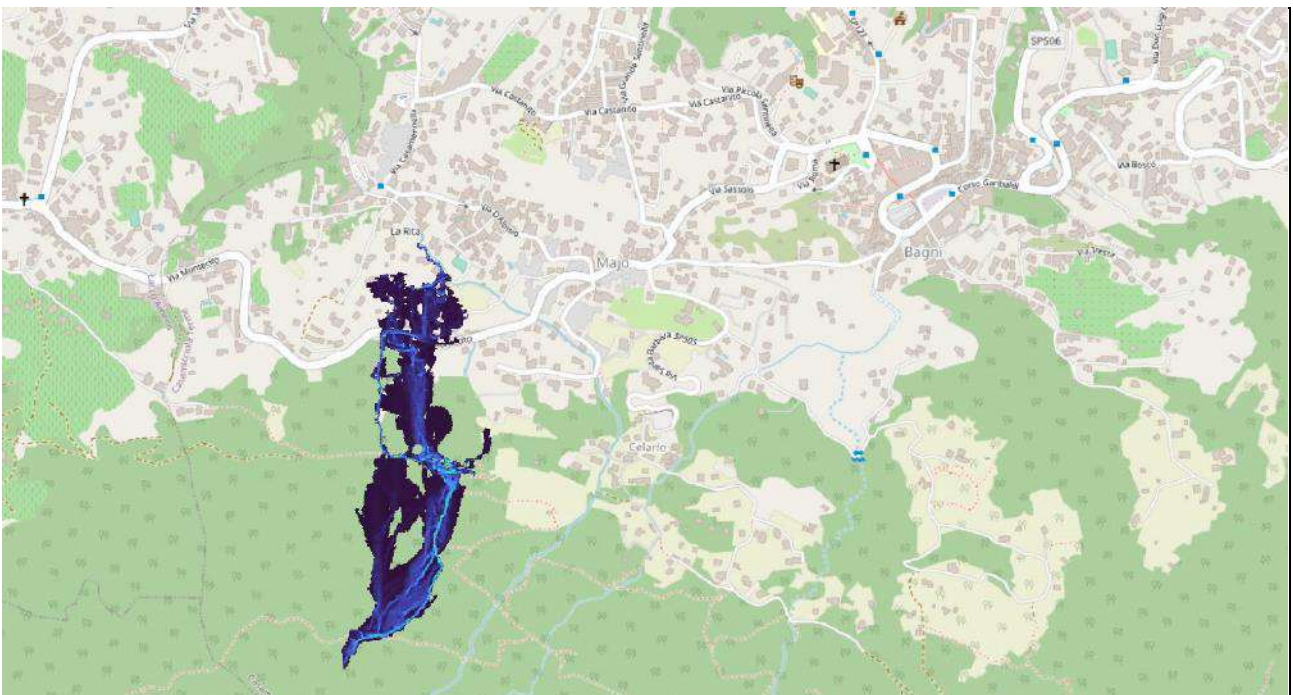


Figura 4.3.21b – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla terza, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

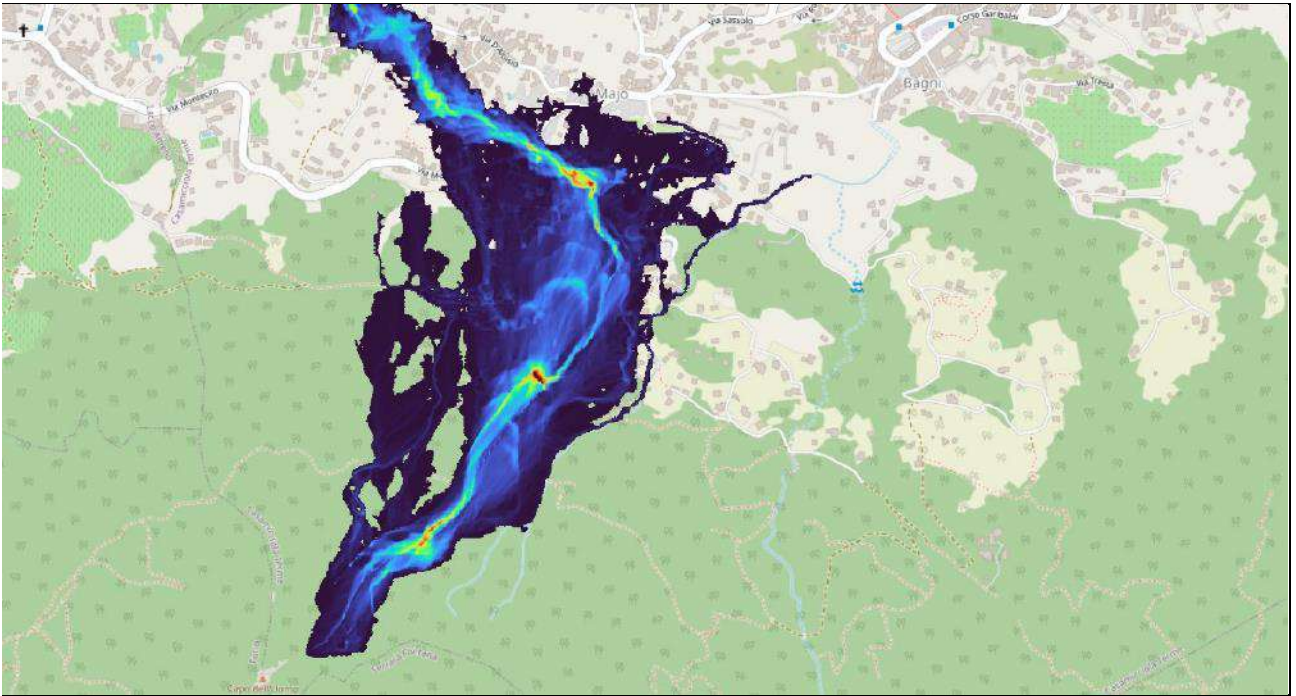


Figura 4.3.22a – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quarta a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

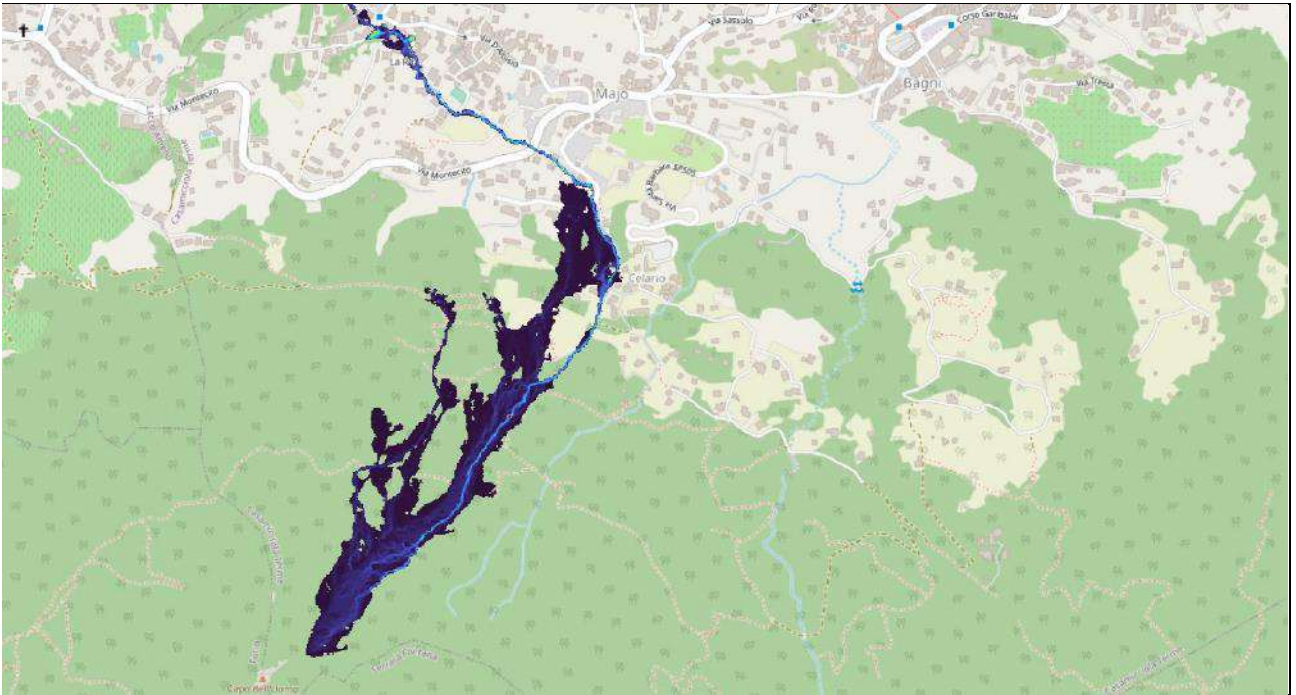


Figura 4.3.22b – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla quarta, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufreddo

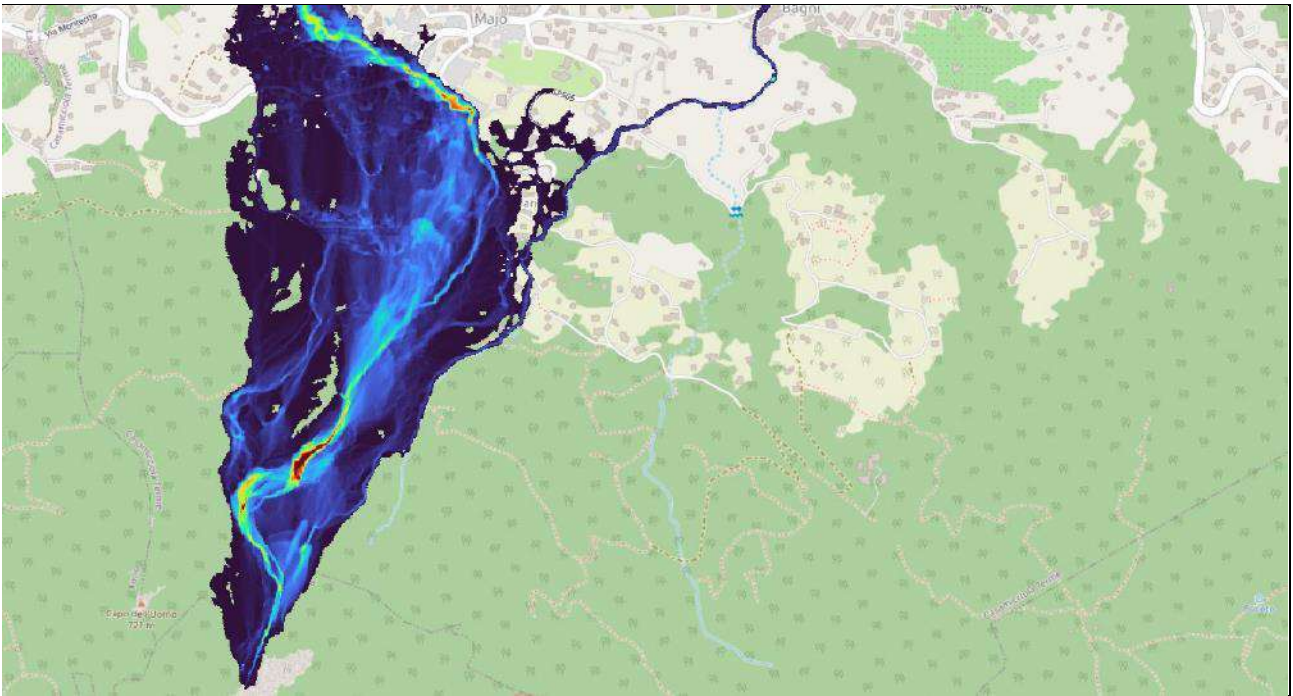


Figura 4.3.23a – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di un flusso iper-concentrato di acqua frammista a sedimenti proveniente dalla quinta, nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo



Figura 4.3.23b – Simulazioni relative al “Sistema La Rita” relativamente al deflusso di modeste portate di origine meteorica provenienti dalla quinta nonché ultima, a partire da ovest, delle 5 cave che ricadono all’interno del bacino della Cava Cuccufriddo

Dal confronto tra le 5 coppie di immagini sopra riportate appare possibile affermare che, in considerazione dei maggiori volumi in gioco (in questo caso, assunti pari a 100 volte maggiori rispetto a quelli delle masse liquide in movimento), e del maggior peso specifico dei flussi iperconcentrati, tali miscugli tendano a divagare maggiormente rispetto alle più modeste portate liquide che si realizzano in corrispondenza di piogge, ordinarie e non.

4.4.9 Riferimenti Bibliografici citati

15. Barbiero, L., Della Morte, R., Pianese, D. (2002). "Modellazione bidimensionale dell'interazione tra correnti detritiche e strutture di controllo". Atti della Giornata di Studio in onore di Lucio Tagliatela, Napoli (Italy), 24 maggio 2002, pp. 393-412.
16. Barbiero, L., Cozzolino, L., Iavarone, V., e Pianese, D. (2004). "Valutazione, attraverso modellazione matematica uni- e bi-dimensionale dei fenomeni di moto vario, delle interazioni tra correnti detritiche e briglie frangi-colate". Atti del I Workshop "Modeci - Modelli Matematici per la simulazione di Catastrofi Idrogeologiche". Rende (CS), 30 – 31 Marzo 2004; editi a cura di P. Versace, AGM srl Costruzioni, Castrovillari, pp. 273-284.
17. Cosenza, E., Cozzolino, L., Pianese, D., Fabbrocino, G., Acanfora, M., (2006). "Concrete structures for mitigation of debris-flow hazard in the Montoro Inferiore area, Southern Italy", Atti del convegno 2nd fib Congress, June 5-8 2006, Naples, Italy, Paper 19-5, ISBN-10: 88-89972-06-8 (abstracts volumes), ISBN-13: 978-88-89972-06-9 (papers CD-ROM)
18. Cozzolino, L., Barbiero, L., Della Morte, R., Pianese, D. (2003). "Criteri di dimensionamento di un particolare dispositivo per la dissipazione dell'energia delle colate". Atti delle Giornate di studio su "La Difesa Idraulica del Territorio 2003". Trieste, 10-12 settembre 2003; editi a cura di E. Caroni, V. Fiorotto, A. Mancinelli e P. Salandin, pp. 203-216. (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli Federico II, Pubbl. n.1057).
19. Cozzolino, L., Barbiero, L., Castro Tellez, L.M, Pianese, D. (2004). "The computer-aided development of design criteria for a type of debris-flow check-dam". Geophysical Research Abstracts, Vol. 6, 06225, 2004, SRef-ID: 1607-7962/gra/EGU04-A-06225, European Geosciences Union.
20. Cozzolino, L., Pianese, D. (2004). "Soluzione accurata delle shallow water equations". Atti del I Workshop "Modeci - Modelli Matematici per la simulazione di Catastrofi Idrogeologiche". Arcavacata di Rende (CS), 30-31 Marzo 2004;editi a cura di P. Versace, pp.127-138.
21. Cozzolino, L., Barbiero, L., Pianese, D. (2004). "Criteri di dimensionamento di un particolare dispositivo di dissipazione dell'energia posseduta dalle colate di fango". Atti del XXIX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Trento, 7-10 settembre 2004, Vol. 1 ISBN: 88-7740-382-9, pp. 997-1004.
22. Cozzolino, L., Pianese, D. (2005). "Finite volume modelling of water quality changes in shallow-water bodies". Proceedings del XXXI IAHR Congress 'Water Engineering for the future – Choices and Challenges", COEX, Seoul, Korea, September 11-16, 2005, ed. B-H. Jun, S-I Lee, I W. Seo, G-W. Choi, ISBN: 89-87898-23-7 93530. (CD-ROM), 10 pp.
23. Cozzolino, L., Mucherino, C., Pianese, D. (2005). "Trattamento naturale dei termini sorgente nella soluzione ai volumi finiti delle shallow-water equations". Atti del Convegno nazionale "La mitigazione del rischio di colate di fango a Sarno e negli altri Comuni colpiti dagli eventi del maggio 1998", Napoli, 2-3 maggio 2005, Sarno, 4 e 5 maggio 2005 (in stampa; edita, come pre-print, anche nella Collana del

Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Pubbl. n. 1135), 12 pp.

24. Iavarone, V., Barbiero, L., Cozzolino, L., Pianese, D. (2004). "Sull'utilizzazione di modelli uni- e bi-dimensionali per la valutazione delle azioni indotte, su opere trasversali, da fenomeni di colata rapida". Atti delle Giornate di studio su "La Difesa Idraulica del Territorio 2003". Trieste, 10-12 settembre 2003; editi a cura di E. Caroni, V. Fiorotto, A. Mancinelli e P. Salandin, pp. 253-266.
25. Pianese, D., Barbiero, L. (2003). "Formulation of a two-dimensional unsteady debris-flow model for the analysis of debris-flow hazards and countermeasures thereof". Proceedings of 3rd International Conference on "Debris-Flow Hazards and Mitigation: Mechanics, Predictions and Assessment, Congress Center, Davos (Switzerland), September 10-12, 2003, Vol. 1, pp.705-716.
26. Pianese, D., Barbiero, L. (2004). "Discussion of the paper: 'Case Study: Malpasset Dam-Break Simulation using a Two-Dimensional Finite Volume Method'", by Alessandro Valiani, Valerio Caleffi, and Andrea Zanni, published on the Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, May 2002, Vol. 130, No. 9, pp. 941-944; ISSN: 0733-9429 (edita anche nella Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università di Napoli Federico II, Pubbl. n.1053).
27. Pianese, D., L., Cozzolino, L., Castro Tellez L.M., e Mucherino, C. (2005). "Modellazione numerica dei fenomeni di colata rapida". Internal Report, Collana del Dipartimento di Ingegneria Idraulica ed Ambientale "Girolamo Ippolito" dell'Università degli Studi di Napoli Federico II, Pubbl. n. 1113, 30 pp.

4.5 ANALISI IDROLOGICHE FINALIZZATE ALLA VALUTAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA CHE POSSONO GIUNGERE ALLE SEZIONI DI IMBOCCO DEI TRATTI TOMBATI

4.5.1 Generalità

Nella presente parte del Piano, viene effettuata la caratterizzazione pluviometrica dell'isola di Ischia nei riguardi delle massime piogge che possono realizzarsi in intervalli di tempo di durata non superiore alle 24 ore. E che possono determinare, oltre che frane e smottamenti, anche il ruscellamento di acque in grado di generare portate non tollerabili dai collettori terminali delle reti fognarie a servizio dei vari comuni dell'isola.

A tale scopo, viene utilizzata una procedura cosiddetta "variazionale" (in quanto fa riferimento a diverse coppie di valori durata della pioggia-massima intensità media di pioggia che si può realizzare in quella durata), oppure "estremante" (in quanto, utilizzando la procedura variazionale appena indicata, va determinare, per tentativi, il valore massimo della portata istantanea che può affluire a una data sezione di interesse) o, meglio ancora, "massimizzante" (in quanti ricerca, per tentativi, il valore massimo della portata istantanea che può affluire a una data sezione di interesse).

4.5.2 Approccio variazionale

Per studiare il comportamento del sistema di drenaggio considerato si è utilizzato l'*approccio variazionale*, in quanto permette di ricavare il massimo tirante per un'assegnata condotta al variare della durata dell'evento meteorico.

L'approccio variazionale si basa sul seguente processo iterativo:

1. si fissa una certa durata d ;
2. dai dati forniti dalla curva di probabilità pluviometrica si ricava un pluviogramma rettangolare cioè con intensità di pioggia costante per tutta la durata d dell'evento meteorico, precedentemente fissata; si precisa che l'intensità di pioggia si ricava dividendo $h_{d,T}$ per la durata d dell'evento stesso;
3. il pluviogramma viene inserito in un software, per quest'elaborato si è usato SWMM, tale software utilizza come *input* le precipitazioni e le elabora con modelli di infiltrazione, modelli di ruscellamento superficiale e modelli di propagazione. SWMM rilascia come *output* il tirante massimo raggiunto durante tutto l'evento meteorico, di assegnata durata d , per ogni nodo di calcolo di ogni tratto del sistema di drenaggio;
4. si incrementa la d fissata al punto 1 di un certo Δd .

I passaggi decritti si ripetono per un valore di d sempre crescente, fino a quando il valore del tirante ottenuto dall'iterazione non è minore del valore del tirante ottenuto nell'iterazione precedente.

La durata per la quale si ha il valore massimo dei massimi tiranti, h_{max} , raggiunti durante gli eventi meteorici valutati al variare della durata d , è detta durata critica d_c .

In alcuni casi specifici questo metodo, che di norma può essere applicato per via numerica attraverso le iterazioni appena mostrate, addirittura presenta delle soluzioni analitiche.

In passato, vista l'assenza di calcolatori e modelli, era difficile trattare le equazioni alla base del moto vario, pertanto attraverso ipotesi semplificative, si giungeva ai metodi analitici. Le soluzioni analitiche sono state, e lo sono ancora oggi, largamente diffuse in campo applicativo. Tra i modelli più semplici che utilizzano la procedura analitica, si citano il Metodo della Corrivazione ed il Metodo dell'Invaso lineare o non lineare, entrambi i metodi sono da ritenersi modelli variazionali.

In questa relazione, con l'ausilio di moderni strumenti di calcolo (*software*) e modelli robusti, è stato utilizzato un approccio variazionale applicato per via numerica. Quindi, si è utilizzato un moto vario completo.

4.5.3 Area di studio

In questa fase delle attività, l'area oggetto di studio è, specificatamente, quella del Comune di Casamicciola Terme (NA), situato nell'isola di Ischia (Fig. 4.4.1 e 4.4.2). In particolare, il suo territorio è posizionato nella parte settentrionale dell'isola d'Ischia. È l'unico comune che confina con tutti gli altri dell'isola: a est, con il Comune di Ischia; a sud, con il Comune di Barano d'Ischia, lungo il sentiero che separa il bosco della Maddalena dal Monte Maschiatta, e con Serrara Fontana attraverso le colline Jetto, toccando, a sud-ovest, il Comune di Forio e lambendo, a ovest, con la Fundera, anche quello di Lacco Ameno. H

Il territorio comunale di Casamicciola ha una superficie di circa 5,5 km², con una conformazione in gran parte collinare. Man mano che si risale verso l'entroterra, allontanandosi dalla costa, la densità demografica diminuisce, azzerandosi o quasi, in prossimità del monte Epomeo.



Figura 4.4.1 - Inquadramento satellitare dell'isola di Ischia e dei diversi comuni

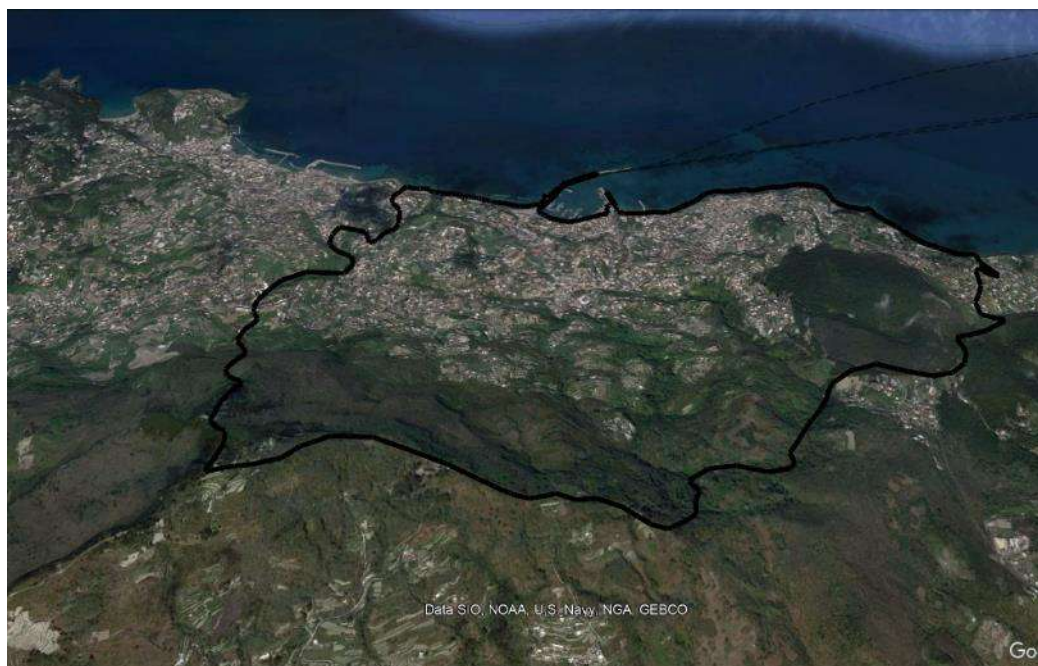


Figura 4.4.2 - Inquadramento satellitare (Google Earth) del comune di Casamicciola Terme

L'obiettivo finale che ci si propone di conseguire è quello di individuare le espressioni delle curve di probabilità pluviometrica relative all'isola di Ischia (e, in particolare, ai vari sottobacini individuati

all'interno del territorio comunale di Casamicciola). Al fine di poterle poi utilizzare per una verifica idraulica della rete fognaria del comune di Casamicciola Terme e, in particolare, dei tratti tombati (Fig. 4.4.3) che costituiscono la parte storica e principale della rete di drenaggio urbano.



Figura 4.4.3 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del comune di Casamicciola Terme

La rete è costituita principalmente da quattro tratti:

- tratto 1, interessa Via Nizzola per, poi, proseguire lungo Piazza Bagni;
- tratto 2, interessa Via Ombrasco per, poi, proseguire lungo Via Giuseppe Garibaldi (Piazza Bagni);
- tratto 3, interessa parte di Corso Vittorio Emanuele per, poi, congiungersi con gli altri due tratti all'inizio di Via Monte della Misericordia;
- tratto 4, derivante dalla confluenza dei primi tre tratti, interessa tutta Via Monte della Misericordia fino allo sbocco a mare.

Oltre questa porzione di rete, che interessa l'area di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, lo studio ha riguardato anche il tratto tombato lungo Via Cava (Fig. 4.4.4), al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.



Figura 4.4.4 - Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava, al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

In Fig. 4.4.5 è riportata l'intera area oggetto di studio.

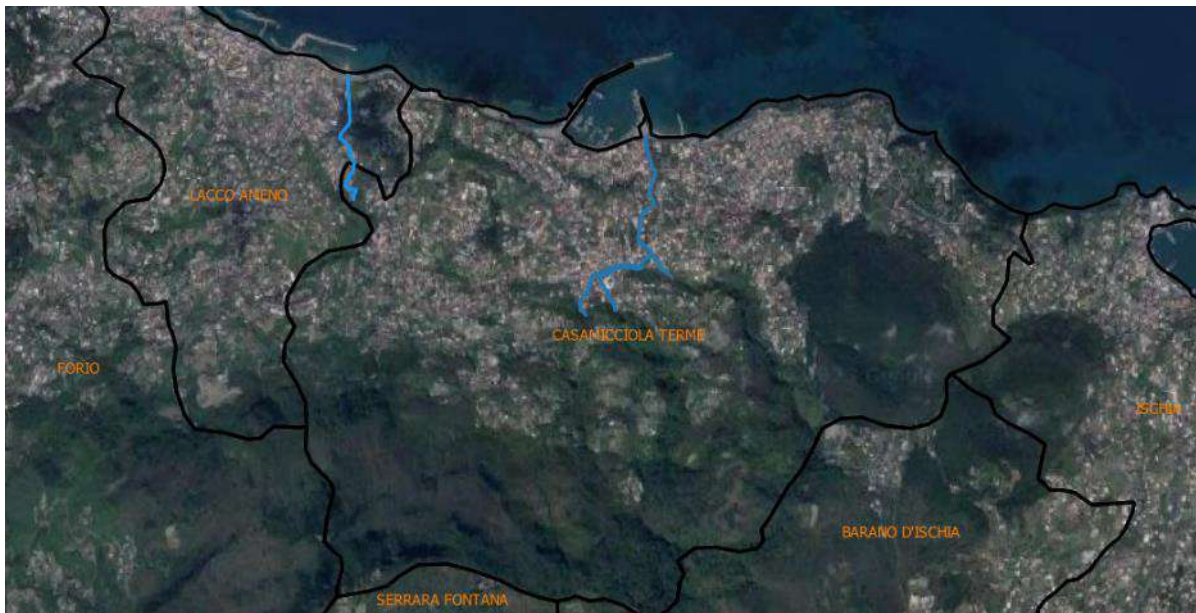


Figura 4.4.5 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio

4.5.4 Analisi pluviometrica

4.5.4.1. La portata pluviale

La portata pluviale, detta anche meteorica, è la quantità di acqua piovana che giunta al suolo e ruscellando, raggiunge i collettori del sistema fognario. La valutazione della portata meteorica è stata realizzata a partire dallo studio della forzante pluviometrica. Si è fatto riferimento ad un evento

pioggia significativo, cioè che si verifica piuttosto raramente, in modo da garantire che, in condizioni normali il deflusso avvenga a pelo libero, e che mediamente solo ogni T anni il sistema vada in crisi. Il numero di anni T prende il nome di “Periodo di Ritorno”, rappresenta il numero medio di anni che bisogna attendere prima che si verifichi un evento meteorico di intensità maggiore rispetto a quello per cui il sistema è stato dimensionato e che quindi lo mandi in crisi.

4.5.4.2 *La curva di probabilità pluviometrica*

L'operazione preliminare, necessaria per la valutazione delle portate meteoriche, è la definizione della curva di probabilità pluviometrica. La curva di probabilità pluviometrica esprime la relazione tra il valore medio del massimo annuale dell'altezza di pioggia per una fissata durata d e un fissato periodo di ritorno T , $h_{d,T}$, e la durata dell'evento meteorico stesso d e del periodo di ritorno T . In generale, per altezza di pioggia h si intende un volume d'acqua meteorica che cade sull'unità di superficie.

La stima dei massimi annuali dell'altezza di pioggia nella durata d corrispondenti ad assegnati valori del periodo di ritorno T può essere effettuata con diversi tipi di approcci. Tra questi, vengono spesso utilizzati i modelli di Gumbel e il modello T.C.E.V.

Il primo (Modello di Gumbel), molto diffuso in campo tecnico per la sua capacità di prestarsi abbastanza efficacemente all'analisi dei massimi di una qualsiasi grandezza, quando applicato all'analisi dei massimi annuali delle altezze di pioggia tende, spesso, a sottostimare i valori più elevati osservati nel passato (valori corrispondenti ai periodi di ritorno più elevati). Pertanto, la sua utilizzazione, qualora non comprovata da specifici test di adattamento, può dare luogo a errori quando sono da stimare valori di $h_{d,T}$ corrispondenti a periodi di ritorno di gran lunga superiori al periodo di osservazione.

Il modello TCEV (Two-Components Extreme Value - Rossi et al., 1995), adottato ormai quasi a livello istituzionale dal Dipartimento di Protezione Civile, dagli organi di consulenza del Consiglio Nazionale delle Ricerche e dalle Autorità di Bacino Nazionali, interregionali e regionali, risolve, di fatto, una serie di inconvenienti resisi evidenti nell'utilizzazione del modello di Gumbel e, pertanto, risulta maggiormente rispondente alle esigenze di un'attenta valutazione delle portate al colmo di piena e dei volumi di piena che possono affluire ai vari tronchi di un corso d'acqua.

Nella relazione in esame si è cercato di verificare, se per l'individuazione dei valori di $h_{d,T}$ fosse possibile utilizzare il più semplice modello di Gumbel.

Una variabile X (ad esempio, nel caso in esame, la variabile $X=h_d$) si dice distribuita secondo il Modello di Gumbel (o, il che è equivalente, secondo il Modello del Valore Estremo EV1) se il legame

intercorrente tra un generico valore x della variabile X e la probabilità $F_X(x) = P[X \leq x]$ che tale valore non sia superato è del tipo:

$$F_X(x) = e^{-e^{-\alpha_x(x-\varepsilon_x)}} \quad (1)$$

o, equivalentemente

$$x_F = \varepsilon_x \cdot \left\{ 1 - \frac{\ln 10}{\alpha_x \varepsilon_x} \cdot \log_{10} \left[\ln \left(\frac{1}{F_X(x)} \right) \right] \right\} \quad (2)$$

In tali espressioni, α_x e ε_x rappresentano i cosiddetti parametri del Modello di Gumbel, che potrebbero essere calcolati se e solo se si possedesse l'intero spazio campionario (vale a dire, l'intero set di infiniti valori che la variabile X può assumere). Avendo, di norma, solo un campione di n dati, estratto a caso dallo spazio campionario, tali parametri possono essere soltanto stimati, avvalendosi di opportune tecniche di stima che danno origine a specifici stimatori.

Tra le tecniche di stima più adottate rientrano:

- il metodo dei momenti;
- il metodo della massima verosimiglianza;
- il metodo dei momenti pesati in probabilità.

Nel caso in esame, allo scopo di poter meglio portare in conto, già con il modello di Gumbel, la presenza, all'interno delle serie storiche, di valori eventualmente di molto superiori rispetto ai rimanenti (eventuali outliers), si è preferito adottare il metodo dei momenti. In base a tale scelta, la stima dei parametri α_x e ε_x è stata effettuata:

- individuando il legame analitico intercorrente tra i parametri stessi e i primi due momenti della distribuzione di Gumbel (vale a dire: la media μ_x e lo scarto quadratico medio σ_x);
- sostituendo ai valori veri di tali momenti (a loro volta sconosciuti, in quanto non si possiede l'intero spazio campionario ma solo un campione di n dati) le loro migliori stime.

I legami teorici che intercorrono tra i parametri α_x e ε_x e i parametri μ_x e σ_x sono i seguenti:

$$\varepsilon_x = \mu_x - 0.450 \sigma_x \quad (3)$$

$$\frac{1}{\alpha_x} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma_x \quad (4)$$

Di conseguenza, considerata l'espressione del coefficiente di variazione $CV_x = \frac{\sigma_x}{\mu_x}$, il modello di Gumbel assume l'espressione:

$$x_F = \mu_x \cdot (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{1}{F_x(x)} \right) \right] \right\} \quad (5)$$

Poiché il legame intercorrente tra la probabilità di non superamento $F_x(x) = P[X \leq x]$ del valore x della variabile X e il periodo di ritorno T è:

$$F_x(x) = \frac{T-1}{T} \quad (6)$$

può porsi, in definitiva, che

$$x_T = \mu_x \cdot (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (7)$$

o, anche, che

$$x_T = \mu_x \cdot K_T \quad (8)$$

nella quale il *coefficiente di crescita* K_T col periodo di ritorno T è definito come

$$K_T = (1 - 0.450 CV_x) \cdot \left\{ 1 - \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \log_{10} \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\} \quad (9)$$

Nel caso in esame, potrà dunque porsi:

$$h_{d,T} = \mu_{h_d} \cdot K_T^{h_d} \quad (10)$$

La rappresentazione grafica della legge con cui il massimo annuale $h_{d,T}$ dell'altezza di pioggia nella durata d , mediamente superata ogni T anni, varia con d e T è costituita, nel piano $(d, h_{d,T})$, da un insieme di curve, parametriche in T , denominate *curve di probabilità pluviometriche*.

Dunque, per il tracciamento delle curve di probabilità pluviometrica occorre:

- da un lato, essere sufficientemente certi che la legge con cui il coefficiente di crescita $K_T^{h_d}$, relativo alla variabile idrologica h_d , va variando con T sia data dal Modello di Gumbel, per cui possa ritenersi valida l'espressione (9) (problema che, come sarà chiarito nei paragrafi successivi, implica la necessità di effettuare una serie di test di adattamento);
- dall'altro, individuare quale è il valore del parametro CV_{h_d} da assumere all'interno della medesima espressione (problema che, come sarà chiarito più tardi, corrisponde a quello dell'individuazione di una "zona pluviometrica omogenea" all'interno della quale possa assumersi $CV_{h_d} = \text{costante}$);
- infine, individuare il legame con cui il parametro μ_{h_d} varia con la durata d e, eventualmente, con la quota z sul livello del mare (problema che, come sarà chiarito più tardi, corrisponde a quello dell'individuazione, all'interno della "zona pluviometrica omogenea" all'interno della quale risulta $CV_{h_d} = \text{costante}$, di una o più "sottozona pluviometriche omogenee").

L'analisi pluviometrica è stata condotta con riferimento alle quattro stazioni della rete di monitoraggio in tempo reale gestita dal Centro Funzionale Multirischio della Protezione Civile della regione Campania. L'ubicazione delle stazioni e ulteriori elementi identificativi sono riportati, rispettivamente, in Fig. 4.4.6 e Tab. 4.4.1.



Figura 4.4.6 - Posizionamento delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento

Tabella 4.4.1 - Caratteristiche delle quattro stazioni di monitoraggio di riferimento

Nome stazione	Latitudine	Longitudine	Quota [m. slmm]	Anni funzionamen to
FORIO	40.7319	13.8791	340	15
ISCHIA	40.7400	13.9469	25	15
MONTE EPOMEO	40.7116	13.8955	390	21
PIANO LIGUORI	40.7105	13.9497	320	15

I dati si riferiscono alle osservazioni e alle relative registrazioni pluviometriche effettuate dal Centro Funzionale della Protezione Civile della Regione Campania nel periodo 1994-2021. Nella maggior parte dei casi, si tratta di registrazioni dell'altezza di pioggia cumulata (a partire da un assegnato valore rilevato alle ore 00.00.00 del 1 Gennaio di ciascun anno e le ore 24.00.00 del 31 dicembre di ciascun anno) effettuate ogni 10 minuti e, in pochi casi, di registrazioni effettuate ogni 20 o 30 minuti. Dalle registrazioni cumulate sono stati, poi, estratti i massimi annuali dell'altezza di pioggia per fissata durata ($d = 10, 20, 30, 40, 50$ minuti e $1, 3, 6, 12, 24$ ore) con il metodo "sliding time window".

È opportuno osservare che, per una *regione idrologicamente omogenea* rispetto alla variabile h_d (spesso definita anche come "zona pluviometrica omogenea"), il valore del *coefficiente di variazione* di tale variabile risulta essere costante.

In effetti, una *zona idrologicamente omogenea rispetto alla variabile h_d* (vale a dire, a comportamento tale che la variabilità, rappresentata dallo scarto quadratico medio, una volta scalata con rapporto alla media locale - che viene, di fatto, a rappresentare un vero e proprio "fattore di scala" dei fenomeni meteorici che avvengono in un determinato punto, che vengono a differenziarsi, sistematicamente, solo a causa di fattori locali quali: posizione rispetto alla linea di costa, altitudine sul livello del mare, ecc. - risulta costante, a meno proprio del fattore di scala) è sempre da attendersi che il valore del *coefficiente di variazione* di tale variabile risulti essere costante.

A tale proposito, può inoltre osservarsi che, definito $K' = \frac{\ln \ln 10}{\alpha_x \varepsilon_x}$ il rapporto presente all'interno dell'espressione (2) (parametro noto anche come "caratteristica di Gumbel"), tale parametro può essere facilmente collegato al *numero medio Λ di eventi meteorici indipendenti che si realizza in un determinato intervallo di tempo* attraverso la relazione

$$\Lambda = 10^{\frac{1}{K'}} \quad (11)$$

A sua volta, per quanto sopra riportato in relazione ai legami intercorrenti tra i parametri α_x ed ϵ_x e i parametri μ_x e σ_x , risulta:

$$K' = \frac{\sqrt{6} \ln 10}{\pi} \cdot \frac{CV_x}{(1 - 0.450 CV_x)} \quad (12)$$

per cui può porsi

$$\Lambda = 10^{\left[\frac{\pi (1 - 0.450 CV_{h_d})}{\sqrt{6} \cdot \ln 10 \cdot CV_{h_d}} \right]} \quad (13)$$

In una *zona idrologicamente omogenea rispetto alla variabile h_d* , appare peraltro legittimo attendersi che, indipendentemente dal particolare punto preso a riferimento all'interno dell'area, il *numero medio Λ di eventi meteorici indipendenti che si realizzano in un determinato intervallo di tempo* risulti costante e indipendente dalla durata d .

Anche tale ipotesi porta a ritenere che, all'interno di tale zona, debba ritenersi $CV_{h_d} = \text{costante}$.

Di conseguenza, la definizione di una zona pluviometrica omogenea passa, necessariamente, attraverso l'individuazione della zona del mondo in cui possa ammettersi, anche indipendentemente dalle specifiche durate di volta in volta prese a riferimento, che

$CV_{h_d} = \text{costante}$.

Tanto premesso, si è proceduto a verificare che, con riferimento all'isola di Ischia, almeno per durate di pioggia comprese tra i 10 minuti e le 24 ore, se la stessa zona potesse risultare *idrologicamente omogenea rispetto alla variabile h_d* .

A tale scopo, si è proceduto a stimare, per le 4 stazioni e le 10 durate, sia il valore della media che il valore dello scarto quadratico medio e, quindi, il coefficiente di variazione. Per ciascuna stazione, si è, poi, calcolato il valore medio del coefficiente di variazione e, infine, un unico valore regionale come media pesata dei 4 valori ottenuti e del numero di dati disponibili per ciascuna stazione. Si è ottenuto un valore regionale pari a $CV_{h_d} = 0.3111$. Si è effettuato, poi, il test delle fasce di controllo del coefficiente di variazione per verificare che, effettivamente, per l'area considerata, il CV calcolato si possa considerare costante. In Fig. 4.4.7 si sono plottati i 40 valori di CV (10 durate

per le 4 stazioni) e le fasce di controllo. Si osserva come la maggior parte dei valori ricadano all'interno delle fasce per cui l'area la si può considerare idrologicamente omogenea e, quindi, il valore di CV ottenuto costante per la stessa zona.

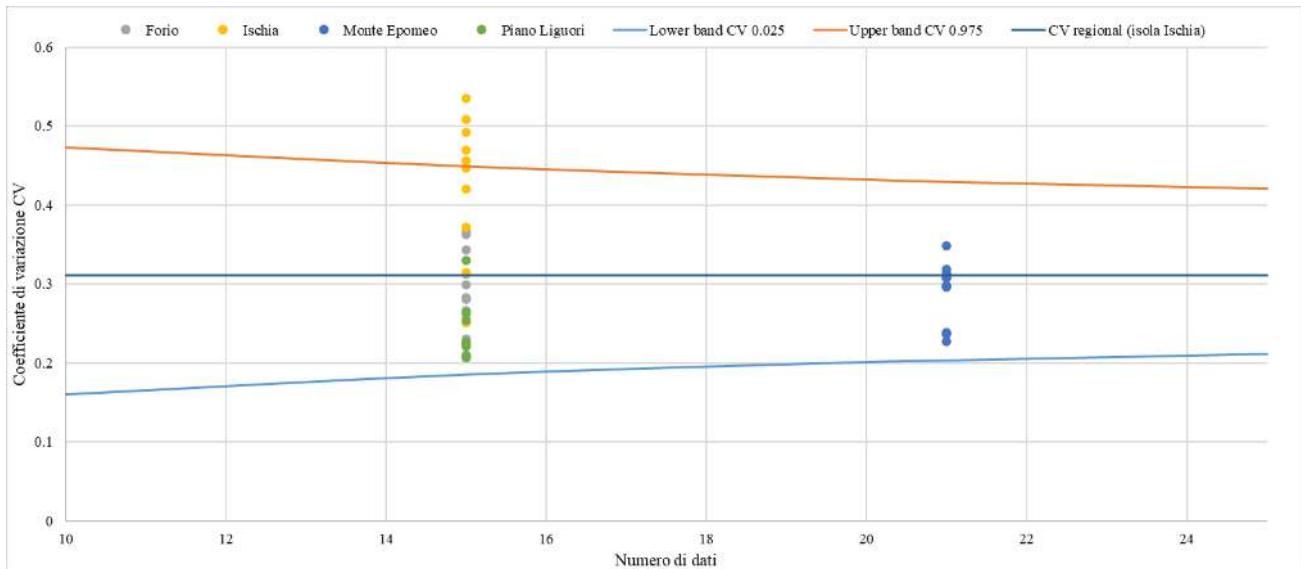


Figura 4.4.7 - Test delle fasce di controllo per il coefficiente di variazione

In definitiva, alla luce delle analisi effettuate, è possibile concludere:

- che l'intera area presa in esame nel presente elaborato si comporti come una zona pluviometrica omogenea rispetto alle massime altezze di pioggia che possono realizzarsi in durate comprese tra i 10 minuti e le 24 ore.
- che in tale zona pluviometrica omogenea possa assumersi un valore unico del coefficiente di variazione della variabile idrologica h_d pari a $CV_{hd}=0.3111$

Di conseguenza, nell'intera zona considerata (isola di Ischia), la stima $\hat{K}_T^{h_d}$ del coefficiente di crescita $K_T^{h_d}$ relativo al periodo di ritorno T è valutabile attraverso l'espressione (9). Si sono ottenuti i seguenti valori di $K_T^{h_d}$ riportati in Tabella 4.4.2.

Tabella 4.4.2 - Valori del coefficiente di crescita con il periodo di ritorno, K_T

T [anni]	K_T
2	0.949
5	1.224
10	1.406
20	1.580
25	1.636
40	1.752
50	1.806
100	1.976
200	2.144
500	2.367
1000	2.536

Essendo i valori ottenuti più piccoli di quelli forniti dal rapporto “*Valutazione delle Piene in Campania*” (Rossi e Villani, 1994), spesso denominato “*Studio VaPi Campania*”, si è deciso, a vantaggio di sicurezza, di utilizzare per il proseguo questi ultimi riportati in Tabella 4.4.3.

Tabella 4.4.3 - Valori del coefficiente di crescita con il periodo di ritorno, K_T , forniti dal rapporto VAPI

T [anni]	K_T
2	0.93
5	1.22
10	1.43
20	1.65
25	1.73
40	1.9
50	1.98
100	2.26
200	2.55
500	2.95
1000	3.26

Si è proceduto, poi, a valutare il legame con cui il parametro μ_{hd} varia con la durata d e con la quota z sul livello del mare mediante un'analisi regionale con riferimento alle sole quattro stazioni presenti sull'isola. Si è fatto riferimento ad una struttura di tipo tri-parametrica data da:

$$\mu_{hd} = \frac{I_0 d}{\left(1 + \frac{d}{d_c}\right)^{C+DZ}} \quad (14)$$

dove:

- d è la durata dell'evento meteorico;
- I_0 rappresenta l'intensità di pioggia corrispondente alla durata d pari a zero;
- d_c rappresenta una durata di pioggia definita caratteristica;
- C e D sono coefficienti adimensionali;
- Z è la quota media del centro urbano.

Dall'analisi sono stati ottenuti i seguenti parametri (Tab. 4.4.4):

Tabella 4.4.4 - Parametri della curva di probabilità pluviometrica tri-parametrica regionale relativa all'isola di Ischia

I_0 [mm/h]	157.047
d_c [h]	0.18
C [-]	0.7648
D [-]	0.0001909

Valutato μ_{hd} , si ricava il valore medio del massimo annuale dell'altezza di pioggia che può verificarsi per una certa durata dell'evento meteorico e che mediamente può essere superata ogni T anni. Nella seguente Fig. 4.4.8 è riportata la curva di probabilità pluviometrica regionale (isola di Ischia) per i diversi valori del periodo di ritorno per una generica quota $z=300\text{m}$ sul livello medio mare.

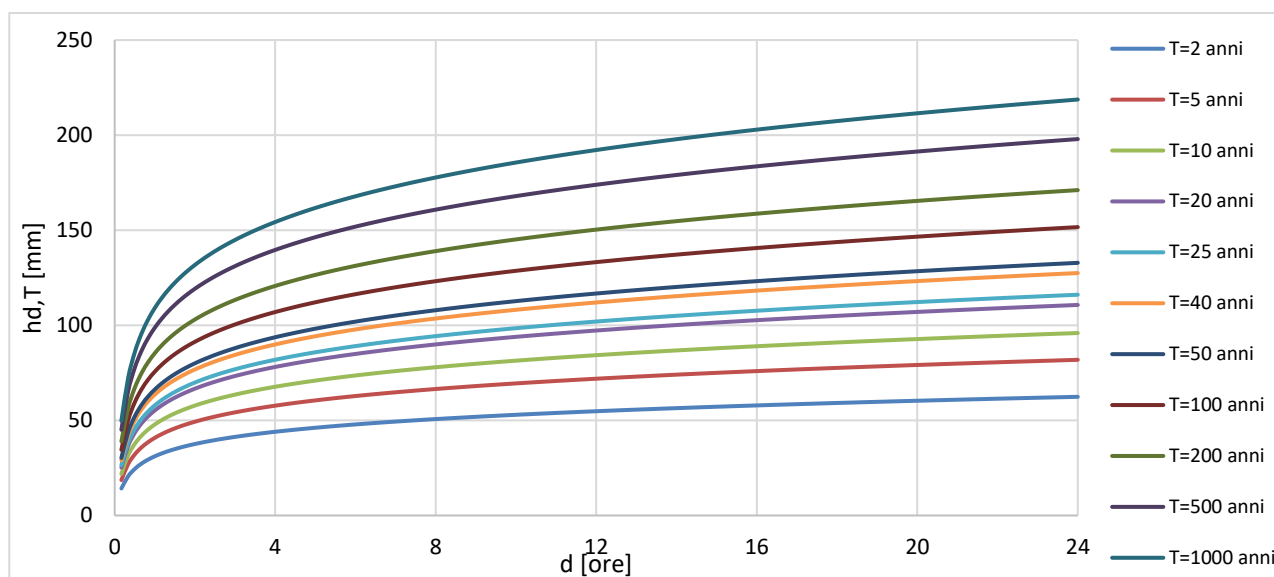


Figura 4.4.8 - Curva di probabilità pluviometrica al variare del periodo di ritorno T per una fissata quota (300 m s.l.m.m)

4.5.5 Studio idrologico

L'analisi idrologica è finalizzata alla valutazione della massima portata in ingresso nei collettori fognari. Per poter fare ciò, il primo step è stata l'individuazione dei bacini idrografici serviti da quel tratto di rete di drenaggio. Per determinarle le aree di bacino sono state tracciate le linee spartiacque. Il tracciamento di queste linee ha reso necessario la individuazione dei "punti di incertezza idraulica", costituiti da punti sella e punti alti.

I punti sella, (strade e fiumi), costituiscono uno sbarramento per il ruscellamento delle acque e possono essere considerati come punti di incertezza idraulica, lo stesso vale per i punti alti (cima di una montagna). Per "chiudere" le singole linee spartiacque, a partire dai punti di incertezza idraulica, sono stati tracciate linee perpendicolari in ogni punto alle curve di livello perché in assenza di strade, fiumi e punti sella, la generica goccia d'acqua ruscella nella direzione di massima pendenza. Le linee spartiacque delimitano le aree dei bacini idrografici.

In particolare, per lo studio condotto è stato necessario ricavare i bacini la cui acqua viene ad essere convogliata dai quattro tratti tombati di monte: Via Nizzola, Via Ombrasco, tratto che si immette in Via Vittorio Emanuele e, infine, Via Cava.

Dunque, con l'ausilio del software *QGIS* e sfruttando un *digital elevation model* (DEM) con risoluzione spaziale di 1m x 1m, è stato dapprima individuato il reticolo idrografico (Fig. 4.4.9) e, successivamente, sono stati tracciati i bacini idrografici (Fig. 4.4.10) scegliendo come sezione di chiusura del bacino la sezione di imbocco del tratto tombato.



Figura 4.4.9 - Reticolo idrografico



Figura 4.4.10 - Reticolo idrografico e relativi bacini idrografici

Nella seguente Fig. 4.4.11 sono riportati i bacini idrografici presi a riferimento, con i relativi identificativi.

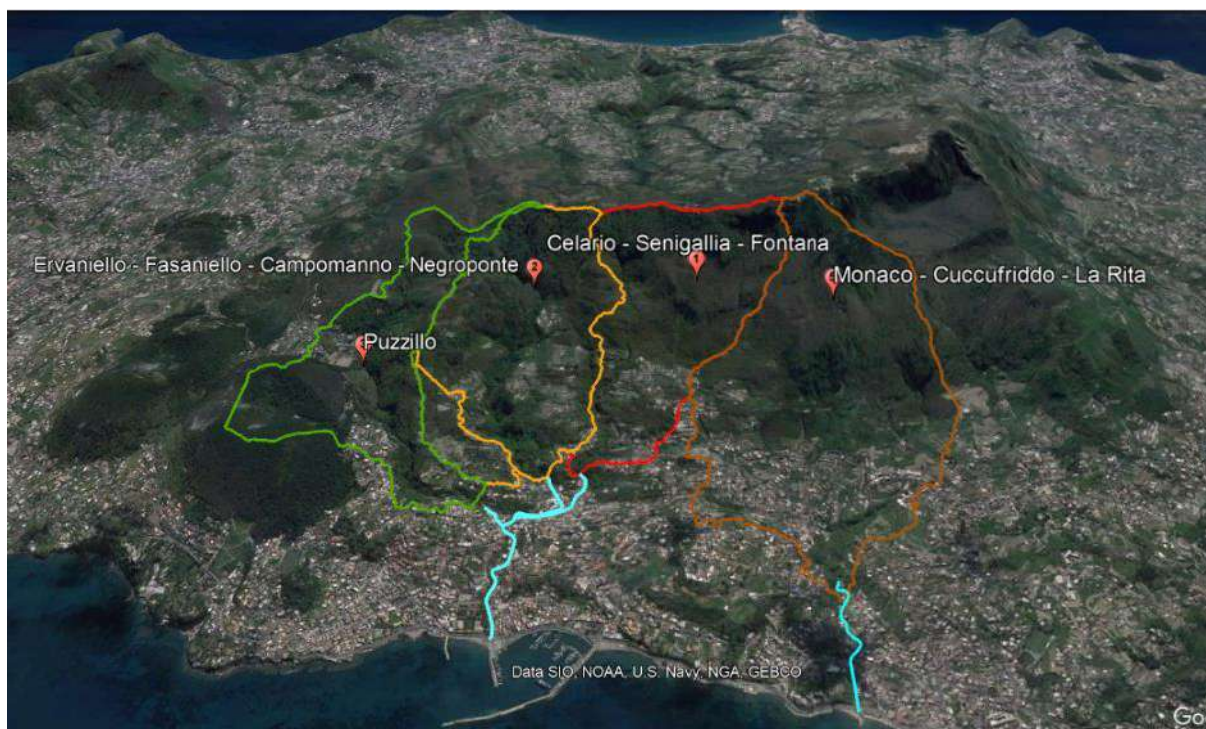


Figura 4.4.11 - Bacini idrografici con relativo identificativo

Dunque, riassumendo, i sottobacini presi in esame nell'ambito del presente Piano sono:

- Bacino 1: comprende cava Celario, Senigallia, e Fontana e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 1 (Via Nizzola);
- Bacino 2: comprende cava Ervaniello, Fasaniello, Campomanno, e Negroponete e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 2 (Via Ombrasco);
- Bacino 3: comprende cava Puzzillo e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 3 (strada che si immette in Via Vittorio Emanuele);
- Bacino 4: comprende cava del Monaco, Cuccufreddo e La Rita e convoglia le acque meteoriche nel tratto tombato 4 (Via Cava).

Nella tabella seguente (Tab.4.4.5), sono riportate le principali caratteristiche dei 4 bacini considerati.

Tabella 4.4.5 – Caratteristiche bacini idrografici

ID	Sezione chiusura	Area [ha]	Pendenza media [%]	Quota media [m s.l.m.m.]
1	Via Nizzola	72.6	65	377
2	Via Ombrasco	99.4	53	294
3	Immissione Via Vittorio Emanuele	83.9	48	268
5	Via Cava	135.6	51	271

Tanto premesso, in considerazione della limitata estensione di bacini in esame (tutti di area non superiore al Km²), non potendosi fare riferimento alle calibrazioni effettuate nell'ambito del già citato Studio "Valutazione delle Piene in Campania", in quanto eseguite con riferimento a bacini di estensione superiore agli 80 km², e, di conseguenza, anche ai modelli di infiltrazione e ruscellamento superficiali ivi proposti, nell'ambito del presente Studio si è preferito adottare il modulo idrologico inserito all'interno del software SWMM, molto diffuso in campo applicativo, adottando, per i parametri, valori calibrati alla luce delle indicazioni fornite dalla letteratura tecnica.

4.5.6 Modalità di funzionamento del sub-modulo idrologico di SWMM

Il funzionamento di SWMM si basa sulla quantificazione, nell'ambito di ciascun intervallo temporale di calcolo, degli scambi di volume che avvengono tra quattro diversi blocchi:

- Nel **comparto atmosfera** si origina l'evento atmosferico (pioggia o neve) che causa il deflusso superficiale o l'infiltrazione nel modulo superficie terreno. L'input fornito dalla precipitazione viene modellato dall'oggetto "Rain Gage";
- Il **comparto superficie terreno** è descritto dall'insieme dei "subcatchment", che permettono al deflusso di infiltrarsi nel blocco acque sotterranee o di essere convogliato nella rete fognaria attraverso la sezione trasporto;
- Il **comparto acque sotterranee** riceve l'infiltrazione dal terreno e trasferisce parte degli afflussi al comparto trasporto. Per rappresentare tale fenomeno si utilizza l'oggetto "Aquifer";
- Il **comparto trasporto** è formato da elementi di convogliamento (canali, tubi, pompe e regolatori) e unità di stoccaggio che convogliano l'acqua verso il sistema di trattamento o

direttamente ai nodi di uscita. I comandi “Node” e “Link” servono per riprodurre i componenti di tale blocco.

Da un punto di vista operativo, invece, si può dividere l’utilizzo di SWMM in due grandi sezioni: la **schematizzazione** dell’area di studio e delle precipitazioni, ed il **calcolo** del sistema in esame.

Nella prima sezione dapprima si schematizza l’area di studio attraverso sottobacini, nodi e condotte, in seguito si caratterizzano le precipitazioni (Fig. 4.4.12). Ogni singolo collettore viene considerato come un sotto-modello.

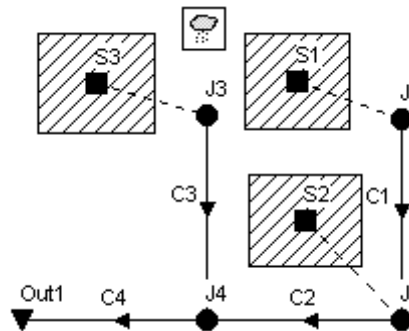


Figura 4.4.12 - Esempio di area di studio di SWMM

Nella seconda sezione per ogni sotto-modello abbiamo i seguenti blocchi (Fig. 4.4.13):

- modello di Infiltrazione;
- modello di Ruscellamento Superficiale;
- modello di Propagazione.

Sostanzialmente, le precipitazioni (P) sono l’*input* del modello di infiltrazione, mentre l’*output* restituito dal *software* è il valore della pioggia netta (P_n). La pioggia netta (P_n) sarà, a sua volta, l’*input* del modello di ruscellamento superficiale, mentre l’*output* correlato è l’idrogramma in ingresso alla condotta ($Q_{in}(t)$). L’idrogramma in ingresso alla condotta ($Q_{in}(t)$) rappresenta l’*input* per il modello di propagazione che restituirà l’idrogramma in uscita ($Q_u(t)$) ed il tirantogramma $h(t)$.

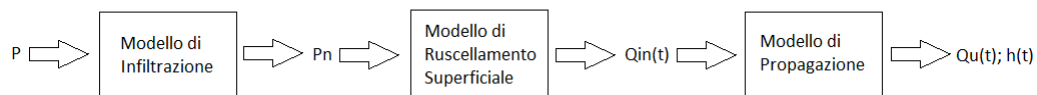


Figura 4.4.13 - Schematizzazione dei blocchi di SWMM

4.5.7 Caratterizzazione dell’area di studio

Prima di passare al calcolo idraulico ed idrologico, è fondamentale schematizzare l’area di studio, ovvero descrivere i sottobacini e le condotte. I risultati dei modelli di calcolo sono funzione delle caratteristiche del singolo sottobacino e del singolo tratto della rete di drenaggio.

4.5.7.1 Sottobacini

Con riferimento ai vari sottobacini (schematizzazione in Fig. 4.4.14) oggetto di studio è necessario immettere in SWMM i seguenti parametri:

- *Rain Gage*, nome del pluviometro associato al sottobacino;
- *Outlet*, nome del nodo o del sottobacino che riceve il deflusso del sottobacino in esame;
- *Area*, area del sottobacino misurata in ettari;
- *Width*, larghezza equivalente del percorso del flusso terrestre misurata in metri;
- *%Slope*, pendenza percentuale media del sottobacino nella direzione del deflusso;
- *%Imperv*, percentuale di area impermeabile del sottobacino;
- *N-Imperv* e *N-Perv*, rispettivamente il coefficiente di Manning per il flusso terrestre sulla parte impermeabile e permeabile del sottobacino;
- *Dstore-Imperv* e *Dstore-Perv*, rispettivamente la profondità delle depressioni sulla porzione impermeabile e permeabile del sottobacino;
- *%Zero-Imperv*, percentuale dell'area impermeabile senza depressioni superficiali;
- *CN*, *Curve Number*, parametro alla base del modello di infiltrazione;

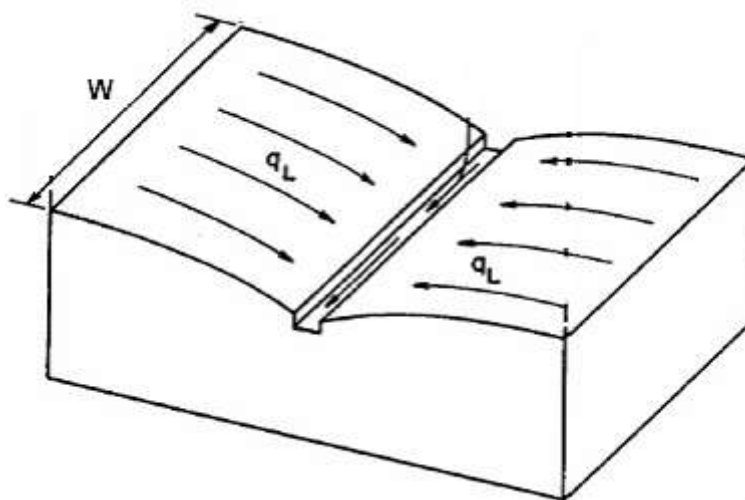


Figura 4.4.14 - Schematizzazione del sottobacino in SWMM

Si capisce benissimo come i parametri di caratterizzazione del sottobacino, quali la **larghezza equivalente** e la **percentuale di area impermeabile** del sottobacino, incidono sui modelli di calcolo.

La **larghezza equivalente** (*Width*), nella Fig. 4.4.14 indicata con *W*, incide sull'aliquota di portata in uscita dal sottobacino, più precisamente sulla forma dell'idrogramma in uscita dal modello di

ruscellamento superficiale. Lo si può dimostrare con il seguente esempio fornito dal manuale di SWMM (Fig. 4.4.15):

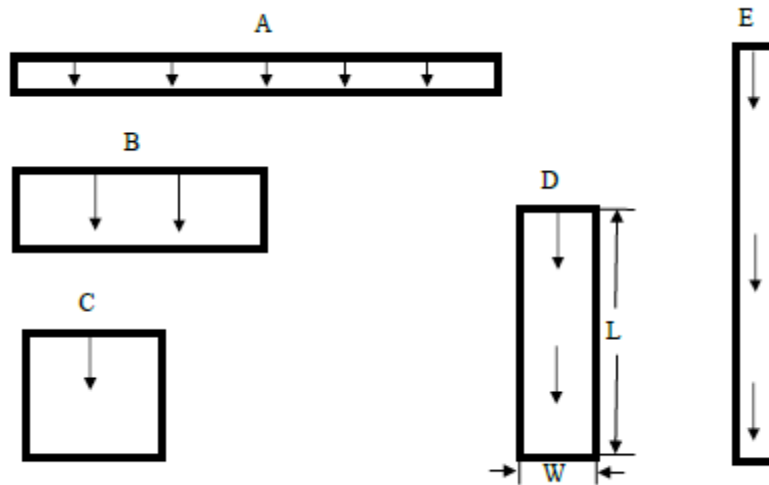


Figura 4.4.15 - Aree con diverse larghezze equivalenti (width)

Queste aree hanno risposte diverse al deflusso superficiale, come si vede dalla Fig. 4.4.16; l'area con una **W** maggiore ha una minore capacità di immagazzinamento, con conseguente crescita dei rami dell'idrogramma più repentina a parità di portata e dimensioni con le altre aree. L'area con **W** minore ha una maggiore capacità di immagazzinamento e una crescita dei rami dell'idrogramma più lenta.

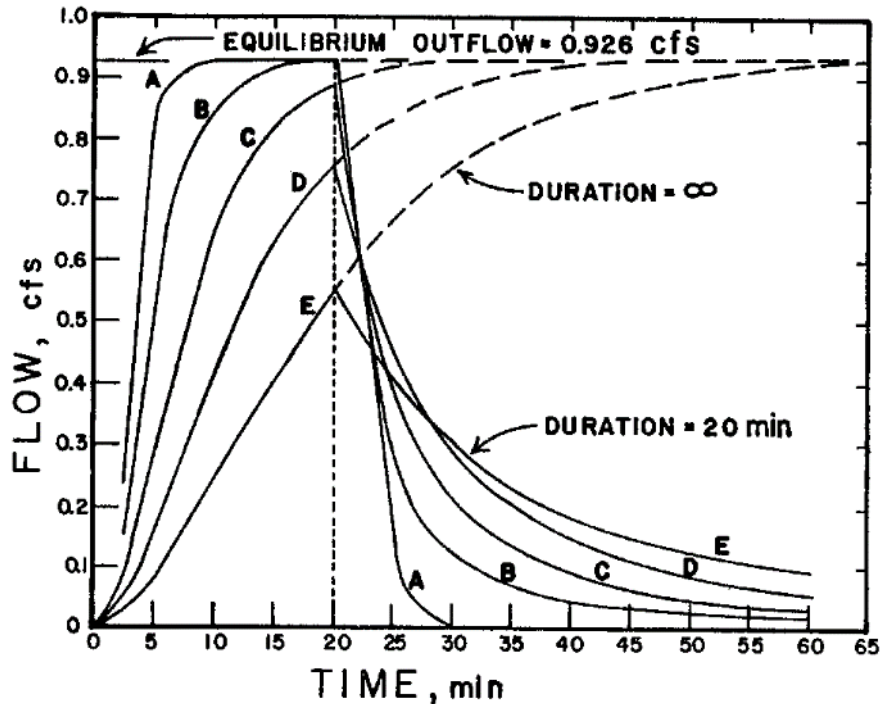


Figura 4.4.16 - Idrogrammi per i bacini al variare del valore della larghezza equivalente W

La **percentuale di area impermeabile** del sottobacino ($\%Imperv$), invece, incide sull'aliquota di pioggia che si infila nel sottosuolo, più precisamente sul valore di pioggia netta (P_n), risultato del modello di infiltrazione.

4.5.7.2 Modulo idrologico

Il modulo idrologico descrive il territorio come un insieme di sottobacini, valutando le portate prodotte da un determinato evento atmosferico. Al suo interno, si trovano i seguenti comandi.

- **Pluviometro (*Rain Gage*):** serve per definire l'intensità della precipitazione in funzione del tempo. Tali informazioni possono essere fornite sia sotto forma di serie temporali determinate dall'utente che attraverso dei file esterni;
- **Sottobacini (*Subcatchments*):** rappresentano delle porzioni di superficie che, grazie agli elementi topografici e al sistema di drenaggio, dirigono il deflusso verso un punto di uscita, che può essere sia un nodo della rete o un altro *subcatchment*.

L'utente decide come dividere l'area di studio e quale sarà il punto di uscita di ogni area. A sua volta, ogni *subcatchment* viene suddiviso in porzioni permeabili e impermeabili, in cui il deflusso potrà o meno infiltrarsi.

L'infiltrazione può essere calcolata scegliendo tra diversi modelli: il modello di *Horton*; il modello di *Horton modificato*; il modello di *Green-Ampt*; il modello di *Green-Ampt modificato* e il metodo del *Curve Number*.

I parametri che l'utente deve assegnare per la completa definizione del *subcatchment* sono: l'evento piovoso (*rain gage*), il nodo o il *subcatchment* di uscita, l'impermeabilità, la pendenza e il numero di Manning (sia per la parte impermeabile che permeabile).

4.5.7.3 Caratterizzazione delle precipitazioni all'interno di SWMM

All'interno del codice SWMM, le precipitazioni vengono caratterizzate attraverso i *Rain gages*, i quali forniscono i dati di pioggia sulle precipitazioni per uno o più sottobacini dell'area di studio. I dati di pioggia possono essere inseriti direttamente nell'interfaccia di SWMM o caricati da un file esterno. I file di *input* per i *Rain gages* sono caratterizzati dalla durata dell'evento meteorico, l'intensità di pioggia e l'intervallo di tempo di registrazione.

L'intensità di pioggia (*i*) rappresenta la variazione dell'altezza di pioggia rispetto al tempo, si misura in mm/h. L'intensità di pioggia indica una variazione, istante per istante, dell'altezza di pioggia, il valore è ricavato attraverso lo studio delle curve di probabilità pluviometrica.

4.5.8 Modelli per la simulazione dell'evento meteorico

Nei modelli trattati nel seguente paragrafo, sta la vera e propria natura di calcolatore di SWMM; infatti, il software trasforma attraverso equazioni i dati di *input* fornendo in output tirantogrammi e idrogrammi.

4.5.8.1 Modello di infiltrazione

Il modello di infiltrazione valuta l'aliquota di pioggia che, partendo dalla pioggia totale (*P*) giunta al suolo, si infiltra (*I_a*) e va ad alimentare le falde acquifere sotterranee. Valutata l'aliquota di pioggia infiltratasi nel sottosuolo, il modello restituisce la pioggia netta (*P_n*), che rappresenta la quota di pioggia che genera il volume di deflusso e che tramite il ruscellamento superficiale si immetterà nei collettori fognari a valle del sottobacino.

SWMM permette di valutare l'**infiltrazione** attraverso diversi metodi:

- Horton;
- Green-Ampt;

- Curve Number;

Si è deciso di utilizzare il metodo del Curve Number o Metodo SCS (Soil Conservation Service).

Alla base del metodo SCS c'è la seguente equazione:

$$\frac{V}{P_n} = \frac{W}{S} \quad (15)$$

dove:

- V indica il volume di deflusso;
- P_n , indica la precipitazione netta;
- W indica il volume idrico immagazzinato nel suolo;
- S indica il volume massimo immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione dopo l'inizio della precipitazione.

La precipitazione netta è pari a:

$$P_n = P - I_a \quad (16)$$

La precipitazione netta può essere vista anche come somma di due aliquote:

$$P_n = V + W \quad (17)$$

Sostituendo il valore di W ricavato dalla (17) nella (15), si ha:

$$V = \frac{(P_n)^2}{P_n + S} \quad (18)$$

L'aliquota di pioggia che si infila (I_a) è difficile da calcolare, per questo viene espressa in relazione alla capacità di infiltrazione a saturazione S:

$$I_a = 0.2 S \quad (19)$$

Sostituendo nell'equazione (16) il termine I_a con $0.2 S$, si ottiene:

$$P_n = P - 0.2 S \quad (20)$$

ne consegue che la (18) diventa:

$$V = \frac{(P_n - 0.2 S)^2}{P + 0.8 S} \quad (21)$$

Il volume massimo immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione dopo l'inizio della precipitazione, S , è pari a:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10 \quad (22)$$

dove CN è il Curve Number.

Il Curve Number (CN) è un parametro, che caratterizza le porzioni permeabili del sottobacino, assume valori compresi tra 0 e 100, è pari a 0 per il suolo completamente permeabile, è pari a 100 per il suolo completamente impermeabile. Per valutare il CN è necessario conoscere il gruppo idrologico di ciascun suolo facente parte del bacino in esame. Il *Soil Conservation Service* (SCS) ha stilato la seguente tabella (Tab. 4.4.5) nella quale si riporta, per ogni tipo di suolo, il gruppo idrologico associato.

Tabella 4.4.5 - Gruppi idrologici (SCS)

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.

Valutato il gruppo idrologico, con l'ausilio della Tab. 4.4.6, è possibile ricavare il CN per ogni singolo suolo.

Tabella 4.4.6 - Valori del CN (SCS)

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
Terreno da pascolo: buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area imperm. 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area imperm. 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500-1000 m ² (area imperm. 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000-1500 m ² (area imperm. 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500-2000 m ² (area imperm. 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000-5000 m ² (area imperm. 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000-10000 m ² (area imperm. 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Il CN è funzione, oltre che del gruppo idrologico, anche dell'umidità del terreno prima dell'inizio dell'evento meteorico, Antecedent Moisture Condition (AMC). I valori del CN presenti nella Tab. 4.4.6 sono stati valutati dal SCS in condizioni di umidità media AMC (II). Partendo dai valori tabellati è possibile valutare il CN relativo ad AMC (I) e AMC (III), rispettivamente in condizioni molto asciutte e in condizioni molto umide, attraverso le seguenti formule:

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058 CN(II)} \quad (23)$$

$$CN(III) = \frac{23 CN(II)}{10 + 0.13 CN(II)} \quad (24)$$

In conclusione, questo metodo stima il volume di deflusso a partire dai dati delle precipitazioni tenendo conto della capacità di infiltrazione totale di un terreno. Questa capacità è funzione degli usi del suolo attraverso il CN, e della capacità di infiltrazione dell'acqua nel suolo durante un evento meteorico che risulta strettamente collegata al grado di umidità posseduto dallo stesso.

4.5.8.2 Modello di ruscellamento superficiale

Il modello di ruscellamento superficiale ha l'obiettivo di valutare la portata in ingresso nei collettori fognari. Per la valutazione si parte dalla pioggia totale (P) e si tiene conto delle aliquote di essa che si perdono durante il tragitto per giungere alla rete di scolo. Una parte di afflusso meteorico, infatti viene persa a causa dell'evaporazione, dell'infiltrazione e dell'accumulo nelle depressioni superficiali.

L'infiltrazione non si ha su tutta l'area di studio ma solo sulla parte permeabile e insatura, per le caratteristiche della stessa. Viceversa, sulla parte impermeabile o satura si genera il cosiddetto ruscellamento superficiale.

Per stimare il deflusso superficiale prodotto dalla pioggia netta (P_n), SWMM modella la superficie del bacino come un serbatoio non lineare (Fig. 4.4.17).

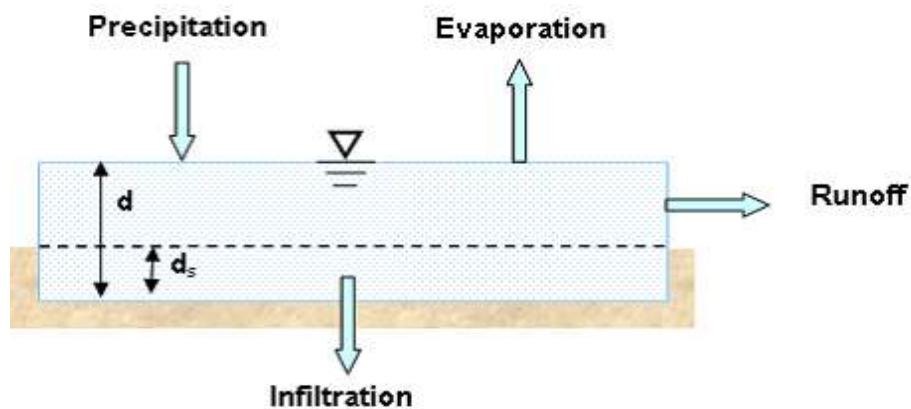


Figura 4.4.17 - Modello di ruscellamento superficiale in SWMM

Alla base di questo modello c'è la seguente equazione di bilancio di massa:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - q \quad (25)$$

dove:

- i , tasso di pioggia meteorica e per scioglimento della neve;
- e , tasso di evaporazione superficiale;
- f , tasso di infiltrazione;
- q , tasso di deflusso, ovvero la portata di deflusso per unità di superficie.

Dei termini nell'equazione di bilancio di massa che caratterizzano la variazione dell'altezza della superficie libera nel tempo, i rappresenta l'aliquota in ingresso nel serbatoio, mentre e , f e q rappresentano le aliquote in uscita dal serbatoio.

Come mostrato nella Fig. 4.4.17 il serbatoio non lineare ha una soglia di altezza ds ; il parametro ds rappresenta le depressioni superficiali, ovvero la capacità di accumulo della superficie del bacino. L'acqua si accumula fino all'altezza di soglia e quella che esce, nel caso in cui il livello dell'acqua è superiore alla soglia, genera il deflusso superficiale.

Il deflusso superficiale viene modellato con un'equazione di moto uniforme per canale rettangolare indefinitamente largo. Partendo dall'equazione di moto uniforme di Manning:

$$Q = \frac{1.49}{n} (S)^{\frac{1}{2}} (R)^{\frac{2}{3}} Ax \quad (26)$$

dove:

- n , coefficiente di Manning, ovvero di rugosità superficiale;
- S , pendenza del sottobacino nella direzione del deflusso;
- $Ax = (d - ds) * (W)$, sezione idrica, dove W rappresenta la larghezza equivalente;
- $R = \frac{W (d-ds)}{2 (d-ds)+W}$, raggio idraulico;

Ipotizzando il canale rettangolare indefinitamente largo, il raggio idraulico diventa

$$R = d - ds,$$

e si giunge alla seguente equazione:

$$Q = \frac{1.49}{n} (S)^{\frac{1}{2}} (d - ds)^{\frac{5}{3}} W \quad (27)$$

Per ottenere la portata di deflusso per unità di superficie (q), presente nell'equazione di bilancio di massa, si divide la (27) per l'area del sottobacino:

$$q = \frac{\frac{1.49}{n} (S)^{\frac{1}{2}} (d-ds)^{\frac{5}{3}} W}{A} \quad (28)$$

Sostituendo l'equazione (28) nella relazione di bilancio di massa iniziale (25), si ha:

$$\frac{\partial d}{\partial t} = i - e - f - \alpha (d - ds)^{\frac{5}{3}} \quad (29)$$

dove:

- $$\alpha = \frac{1.49 (S)^{\frac{1}{2}} W}{A}$$

L'equazione (29) è un'equazione differenziale ordinaria non lineare. Noti i valori di i , e , f , d_s e α , con una risoluzione numerica per ogni passo temporale, dall'equazione (29) si ricava d .

Ricavato d , dall'equazione (28) è possibile ricavare la portata di deflusso per unità di superficie (q).

4.5.8.3 Valutazione delle portate massime istantanee con l'ausilio del sub-modulo idrologico di SWMM

Prima di passare alla fase di calcolo si è reso necessario schematizzare, con il supporto dell'interfaccia di SWMM, i bacini idrografici e le precipitazioni che durante le simulazioni si riverseranno su di esso.

I 4 bacini sono stati caratterizzati da:

- Rain Gage, uno per ogni bacino ad ogni iterazione dell'approccio variazionale;
- Outlet, in corrispondenza della sezione di imbocco del tratto tombato;
- Area, vedasi Tab. 4.4.7;
- Width, pari alla dimensione ortogonale al deflusso del sottobacino; una stima della larghezza caratteristica è data dall'area del bacino divisa per la lunghezza massima media del flusso di superficie;
- % Slope, vedasi Tab. 5;
- % Imperv, posta pari a 0 (10 solo per il bacino 5);
- N-Imperv e N-Perv, posti rispettivamente pari a 0.02 e 0.06 per tutti i bacini;
- Dstore-Imperv e Dstore-Perv, posti entrambi pari a 0, per avere una maggiore portata defluente e quindi ragionare a vantaggio di sicurezza,
- % Zero-Imperv, posto pari a 100, ragionando anche in questo caso a vantaggio di sicurezza;
- CN valutato con l'ausilio delle Tab. 6; dalla consultazione della carta geologica si è definito il tipo di suolo, mentre con la carta Corine Land Cover si è definito l'uso del suolo che hanno consentito di valutare il CN(II). A vantaggio di sicurezza si è deciso, però, di considerare un Antecedent Moisture Condition (AMC) di tipo tre, ovvero condizioni di suolo molto umide. Nella seguente tabella (Tab. 7) sono riportati i valori di CN(III) per i 4 bacini.

Tabella 4.4.7 - Valori utilizzati del Curve Number, CN

ID	CN(III)
1	88
2	87
3	85
5	88

Le precipitazioni in SWMM vengono modellate attraverso i Rain gages. In questo lavoro si è optato per Rain gages con durata di pioggia variabile da 10 a 90 minuti, con un passo pari a 10 minuti.

I file di *input* per i Rain gages, sono ricavati dalla curva di probabilità pluviometrica (Fig. 4.4.8) e caratterizzati da pluviogrammi rettangolari. Nella seguente figura (Fig.4.4.18) sono riportati i pluviogrammi con riferimento al periodo di ritorno $T=2$ anni e durata di pioggia variabile da 10 a 90 minuti.

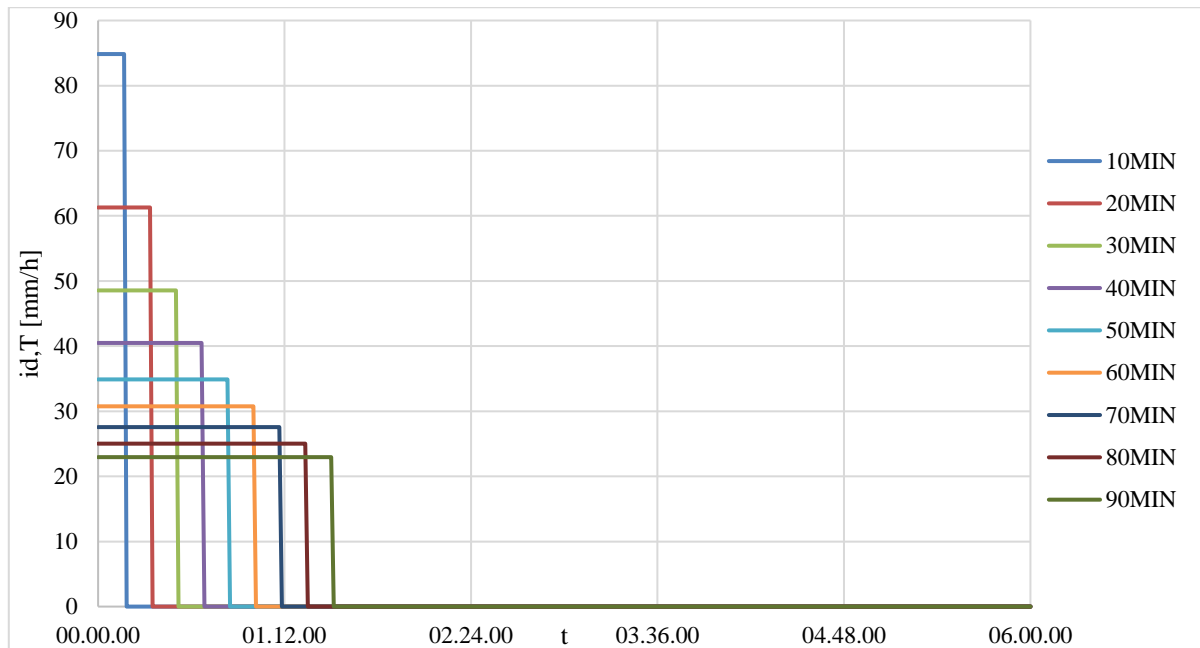


Figura 4.4.18 - Pluviogrammi rettangolari (per periodo di ritorno $T=2$ anni) in input al modello idrologico di SWMM

Per ogni iterazione dell'approccio variazionale (variando la durata di pioggia, d), i Rain gage, caratterizzati da una certa durata dell'evento meteorico, si sono fatti agire ognuno sul proprio bacino di riferimento.

Dallo studio idrologico effettuato si sono ottenute, per ogni bacino e per ogni periodo di ritorno, la massima portata in ingresso all'imbocco dei 4 tratti tombati. I risultati sono riportati nelle seguenti tabelle (Tab. 4.4.8 per $T=2$ anni, Tab. 4.4.9 per $T=5$ anni, Tab. 4.4.10 per $T=10$ anni, Tab. 4.4.11 per $T=20$ anni, Tab. 4.4.12 per $T=40$ anni, Tab. 4.4.13 per $T=50$ anni, Tab. 4.4.14 per $T=100$ anni).

Tabella 4.4.8 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=2 anni

Q [m3/s] per T=2anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	2.05260	2.30924	1.28579	5.44043
30	0.5	2.68212	3.12544	1.82253	6.00081
40	0.666667	2.98747	3.58181	2.17421	6.24949
50	0.833333	3.09967	3.80392	2.39105	6.28430
60	1	3.10238	3.88091	2.51440	6.19044
70	1.166667	3.04507	3.87006	2.57394	6.02477
80	1.333333	2.95649	3.80730	2.59026	5.82266
90	1.5	2.85327	3.71504	2.57757	5.60545

Tabella 4.4.9 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=5 anni

Q [m3/s] per T=5anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	3.90579	4.48195	2.58295	9.02915
30	0.5	4.82071	5.75041	3.49813	9.97244
40	0.666667	5.13637	6.31419	4.01858	10.21627
50	0.833333	5.14575	6.47649	4.27994	10.07274
60	1	5.00860	6.42194	4.37875	9.73810
70	1.166667	4.80743	6.25547	4.37759	9.32142

Tabella 4.4.10 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=10 anni

Q [m3/s] per T=10anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	5.56570	6.46748	3.81048	12.14386
30	0.5	6.62875	8.02101	5.00988	13.29391
40	0.666667	6.87756	8.57988	5.61910	13.42281
50	0.833333	6.75306	8.62196	5.86746	13.05278
60	1	6.47297	8.41220	5.90498	12.47100
70	1.166667	6.13987	8.08949	5.82272	11.82144

Tabella 4.4.11 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=20 anni

Q [m3/s] per T=20anni					
-----------------------	--	--	--	--	--

d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	7.54704	8.87409	5.33919	15.80853
30	0.5	8.69598	10.66045	6.82328	17.08033
40	0.666667	8.81014	11.13453	7.48318	16.98629
50	0.833333	8.50146	10.98832	7.67383	16.30307
60	1	8.04454	10.57311	7.61012	15.41234

Tabella 4.4.12 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=40 anni

Q [m3/s] per T=40anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	10.05150	11.96152	7.35311	20.40032
30	0.5	11.20493	13.91312	8.64533	21.67502
40	0.666667	11.09448	14.19590	9.78368	21.20918
50	0.833333	10.53361	13.77028	9.85573	20.09263
60	1	9.85213	13.08097	9.63656	18.80487

Tabella 4.4.13 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=50 anni

Q [m3/s] per T=50anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	10.90188	13.01965	8.05504	21.95374
30	0.5	12.03570	15.00015	9.40035	23.19764
40	0.666667	11.83915	15.20186	10.55307	22.58857
50	0.833333	11.18985	14.67435	10.57600	21.31890
60	1	10.43263	13.89017	10.29916	19.89623

Tabella 4.4.14 - Portate in ingresso nei 4 tratti tombati al variare della durata di pioggia e per T=100 anni

Q [m3/s] per T=100anni					
d [min]	d [h]	Bacino 1 Via Nizzola	Bacino 2 Via Ombrasco	Bacino 3 immissione Via V. Emanuele	Bacino 5 Via Cava
20	0.333333	14.03609	16.95609	10.71147	27.66665
30	0.5	15.02368	18.94431	12.19920	28.68205
40	0.666667	14.47938	18.79415	13.34629	27.49007
50	0.833333	13.49781	17.87092	13.15873	25.64030

Nella figura seguente (Fig. 4.4.19) sono riportate le portate massime, al variare del periodo di ritorno, in ingresso nei 4 tratti tombati.

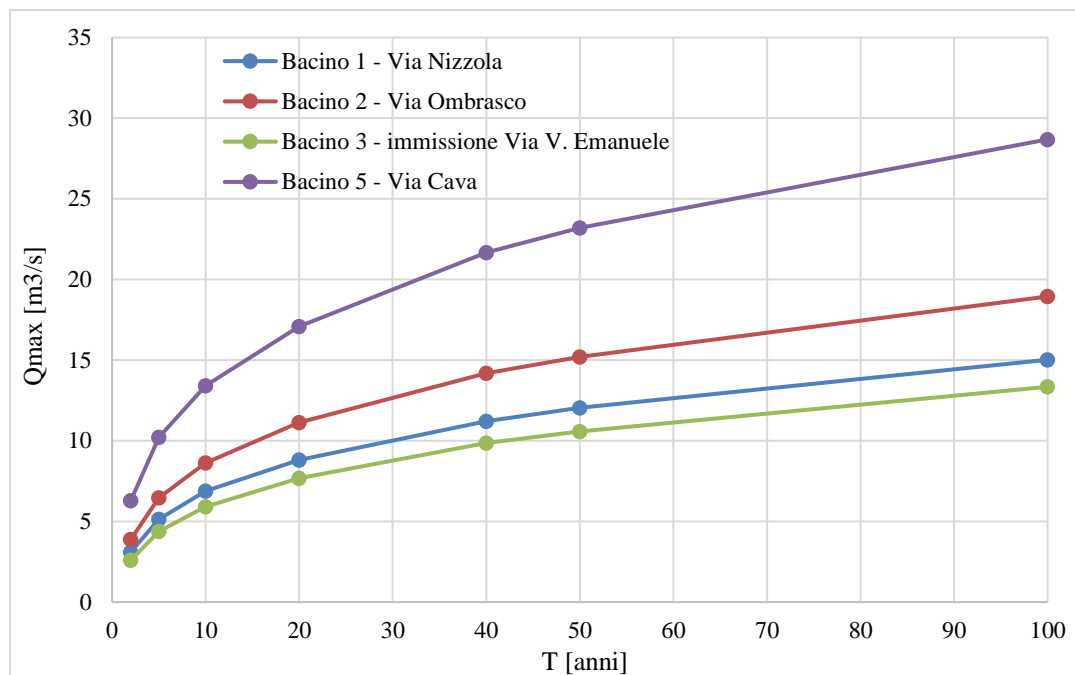


Figura 4.4.19 - Portate massime, al variare del periodo di ritorno, in ingresso nei 4 tratti tombati ottenute mediante approccio variazionale

4.6 ANALISI IDRAULICHE FINALIZZATE ALLA VERIFICA, SU BASE PROBABILISTICA, DEI COLLETTORI TERMINALI DELLE RETI FOGNARIE A SERVIZIO DEL COMUNE DI CASAMICCIOLA TERME E DI PARTE DEL COMUNE DI LACCO AMENO

4.6.1 Generalità

Nella presente parte del Piano, viene effettuata una grossolana verifica idraulica dei collettori terminali delle reti fognarie a servizio dei vari comuni dell'isola.

A tale scopo, con riferimento agli idrogrammi di piena determinati, per ogni durata di pioggia, in base alle procedure descritte nella relazione idrologica e alla simulazione, con riferimento a condizioni di moto vario (nel tempo) e non uniformi (nello spazio), dei transitori che si possono realizzare, per i diversi periodi di ritorno presi a riferimento, all'interno dei collettori principali a servizio dei Comuni di Casamicciola e di parte del Comune di Iacco Ameno, nella presente relazione si valuta, seppure con i ridottissimi dati messi a disposizione, l'ordine di grandezza delle portate che tali collettori dovrebbero riuscire a convogliare in assenza di ostruzioni provocate da rami, pietrame, fanghiglia, etc.

A tale scopo, è stato utilizzato il modulo idraulico contenuto all'interno del codice di calcolo SWMM, prodotto dall'EPA (Environmental Protection Agency) e utilizzato, come standard, in diversi Paesi del mondo.

4.6.2 SWMM, il motore di calcolo

4.6.2.1 Descrizione

Il software utilizzato per la modellazione idraulica è EPA Storm Water Management Model (SWMM, Vers. 5.2.3), prodotto e sviluppato a partire dal 1971 dal Water Supply and Water Management Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA). Il software SWMM è stato implementato a partire da un "*modello concettuale, fisicamente basato, di gestione delle acque meteoriche*", in grado di simulare il fenomeno dinamico della trasformazione afflussi-deflussi con riferimento sia ad eventi singoli che alla lunga scala temporale (nel qual caso, il modello si comporta come un vero e proprio modello di "simulazione continua"). In particolare, il software, di pubblico dominio e disponibile anche in versione sorgente, è in grado di valutare le variazioni spazio-temporali sia delle grandezze quantitative di maggiore interesse per l'utente (portate, quote piezometriche o di pelo libero, tiranti idrici, velocità medie di deflusso, etc.) sia delle caratteristiche di qualità delle acque. Il programma opera trasformando le precipitazioni che si riversano su un insieme di aree, chiamate *subcatchments*, in deflusso. Una volta che le portate di origine meteorica sopravvissute ai processi di infiltrazione e di evapotraspirazione e, quindi, derivanti dal ruscellamento superficiale, sono immesse, in preassegnati punti, all'interno della sottostante rete di drenaggio, esse vengono propagate attraverso il sistema di canali, tubi, dispositivi di stoccaggio, sistemi di trattamento, pompe, sistemi di regolazione, etc. che, nel loro complesso, vengono a costituire la rete. In fase di calcolo, SWMM memorizza, all'interno di un suo data-base, sia le variazioni temporali delle caratteristiche del deflusso che si produce in ogni area, sia, relativamente al moto dell'acqua all'interno delle varie tubazioni della rete, le variazioni spazio-temporali subite dalle grandezze quantitative di maggiore interesse per l'utente (portate, quote piezometriche o di pelo libero, tiranti idrici, velocità medie di deflusso, etc.).

Allo stato attuale, il software è ampiamente utilizzato per la pianificazione, l'analisi e la progettazione delle reti di drenaggio sia miste che separate, perché riesce a portare in conto in modo sufficientemente adeguato una moltitudine di processi idrologici, come: la variabilità delle precipitazioni nel tempo; l'evaporazione dell'acqua in superficie; l'accumulo e la fusione della neve; l'intercettazione di parte della precipitazione; l'infiltrazione negli strati di terreno più superficiali; la percolazione all'interno degli strati di terreno più profondi e il trattamento delle acque di precipitazione tramite l'uso delle *LID (Low Impact Development structures)*. L'analisi di tutti questi fenomeni nello spazio è possibile dividendo l'area di studio in altre più piccole e omogenee con determinate caratteristiche di permeabilità. Nella rappresentazione del sistema fognario è possibile gestire reti di estensione illimitata, usufruire di un'ampia scelta di forme di tubazioni e canali e

modellare strutture particolari di trattamento e stoccaggio. Appare, dunque, possibile affermare che, in generale, SWMM, sia un modello dinamico di simulazione idrologico-idraulica mediante il quale può essere affrontato sia il problema della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi di piena (modulo idrologico) che la successiva propagazione delle varie onde di piena che si generano nelle diverse parti di un bacino e che si immettono in testa ai diversi canali costituenti una rete comunque articolata e connessa, eventualmente caratterizzata sia dalla presenza di dispositivi di accumulo e/o di sfioro e/o di stramazzi, etc., sia l'eventuale funzionamento in pressione di una parte o di tutti i condotti (modulo idraulico).

4.6.2.2 *Modalità di funzionamento di SWMM*

Il funzionamento di SWMM si basa sulla quantificazione, nell'ambito di ciascun intervallo temporale di calcolo, degli scambi di volume che avvengono tra quattro diversi blocchi:

- Nel **comparto atmosfera** si origina l'evento atmosferico (pioggia o neve) che causa il deflusso superficiale o l'infiltrazione nel modulo superficie terreno. L'input fornito dalla precipitazione viene modellato dall'oggetto "*Rain Gage*";
- Il **comparto superficie terreno** è descritto dall'insieme dei "*subcatchment*", che permettono al deflusso di infiltrarsi nel blocco acque sotterranee o di essere convogliato nella rete fognaria attraverso la sezione trasporto;
- Il **comparto acque sotterranee** riceve l'infiltrazione dal terreno e trasferisce parte degli afflussi al comparto trasporto. Per rappresentare tale fenomeno si utilizza l'oggetto "*Aquifer*";
- Il **comparto trasporto** è formato da elementi di convogliamento (canali, tubi, pompe e regolatori) e unità di stoccaggio che convogliano l'acqua verso il sistema di trattamento o direttamente ai nodi di uscita. I comandi "*Node*" e "*Link*" servono per riprodurre i componenti di tale blocco.

Da un punto di vista operativo, invece, si può dividere l'utilizzo di SWMM in due grandi sezioni: la **schematizzazione** dell'area di studio e delle precipitazioni, ed il **calcolo** del sistema in esame.

Nella prima sezione dapprima si schematizza l'area di studio attraverso sottobacini, nodi e condotte, in seguito si caratterizzano le precipitazioni (Fig. 4.5.1). Ogni singolo collettore viene considerato come un sotto-modello.

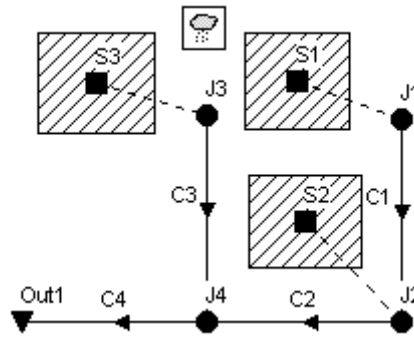


Figura 4.5.1 - Esempio di area di studio di SWMM

Nella seconda sezione per ogni sotto-modello abbiamo i seguenti blocchi (Fig. 4.5.2):

- modello di Infiltrazione;
- modello di Ruscellamento Superficiale;
- modello di Propagazione.

Sostanzialmente, le precipitazioni (P) sono l'*input* del modello di infiltrazione, mentre l'*output* restituito dal *software* è il valore della pioggia netta (P_n). La pioggia netta (P_n) sarà, a sua volta, l'*input* del modello di ruscellamento superficiale, mentre l'*output* correlato è l'idrogramma in ingresso alla condotta ($Q_{in}(t)$). L'idrogramma in ingresso alla condotta ($Q_{in}(t)$) rappresenta l'*input* per il modello di propagazione che restituirà l'idrogramma in uscita ($Q_u(t)$) ed il tirantogramma $h(t)$.

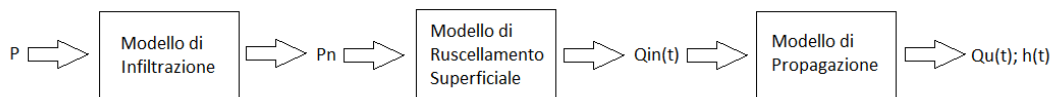


Figura 4.5.2- Schematizzazione dei blocchi di SWMM

4.6.2.3 Caratterizzazione dell'area di studio

Prima di passare al calcolo idraulico ed idrologico è fondamentale schematizzare l'area di studio, ovvero descrivere i sottobacini e le condotte. I risultati dei modelli di calcolo sono funzione delle caratteristiche del singolo sottobacino e del singolo tratto della rete di drenaggio.

4.6.2.3.1 Condotte

Le condotte sono schematizzate in SWMM con i seguenti parametri:

- *Shape*, forma della sezione;
- *Max Depth*, diametro misurato in metri;
- *Length*, lunghezza misurata in metri;
- *Roughness*, scabrezza valutata attraverso il coefficiente di Manning;
- *Invert elevation* e *Outlet elevation*, rispettivamente sfasamento in ingresso e in uscita, parametro fondamentale per gestire l'allineamento dei cieli fogna e eventuali pozzetti di salto.

Ogni condotta è posta tra due nodi, i nodi rappresentano i pozzetti, ma visto l'approccio utilizzato nel seguente elaborato, anche i nodi di calcolo; pertanto, aumentando il numero di nodi aumenta l'accuratezza, la precisione del calcolo e la discretizzazione spaziale del modello numerico; si ottiene così una griglia di calcolo più fitta.

I nodi vengono caratterizzati in SWMM attraverso:



- *Max Depth*, distanza dal fondo della condotta alla superficie stradale, misurata in metri;
- *Invert Elevation*, quota del fondo condotta, misurata in metri.

4.6.2.4 Modulo idraulico

4.6.2.4.1 Generalità

Il modulo idraulico permette la simulazione del deflusso delle portate in arrivo dai bacini tramite una rete costituita da canali con funzionamento a pelo libero o in pressione, vasche, sfioratori e impianti di pompaggio. Gli elementi che fanno parte del modulo sono i seguenti:

- Giunzioni (*Junctions Nodes*): definiscono i punti dove si uniscono i "links" (condotte, canali e tubazioni). Per descriverli, è opportuno definire: l'*invert elevation* (elevazione dal fondo del canale o tombino a valle), la profondità rispetto al piano campagna, la superficie che può essere inondata durante l'allagamento e i dati di afflusso dall'esterno.
- Scarichi (*Outfalls Nodes*): sono dei nodi terminali e stabiliscono i punti di uscita dell'acqua nella rete. Questi, al contrario delle giunzioni, possono essere collegati a una sola condotta;
- Separatori di portata (*Dividers Nodes*): consentono di dividere la portata di un condotto e possono avere, al massimo, due elementi collegati sul lato di scarico. Questi particolari nodi vengono considerati tali solo nel caso delle simulazioni di moto permanente o allorquando si utilizza il modello dell'onda cinematica, mentre vengono ridotti a delle semplici giunzioni nel caso dell'onda dinamica. A seconda di come gli afflussi vengono deviati, esistono quattro diversi tipi di deviatori di flusso: cutoff divider, overflow divider, tabular divider e weir divider;

- Accumulo (*Storage Node*): sono nodi del sistema di drenaggio caratterizzati dalla presenza di una volumetria in grado di consentire un temporaneo accumulo. Possono rappresentare sia delle strutture di stoccaggio molto piccole che molto grandi. Oltre a permettere l'entrata e l'uscita di acqua, essi possono portare in conto anche l'evaporazione superficiale e l'infiltrazione nel suolo;
- Condotte (*Conduits*) sono dei tubi o canali che in grado di consentire il convogliamento dell'acqua da un nodo ad un altro. Possono avere le più svariate forme e dimensioni: circolare, rettangolare, trapezoidale, triangolare, ellittica, ad arco, parabolica, a ferro di cavallo, irregolare;
- Pompa (*Pump*) : sono dei sistemi impiegati per sollevare l'acqua a quote più elevate. SWMM supporta cinque diversi tipi di funzionamento delle pompe;
- Orifizi (*Orifices*) : servono per modellare le strutture di scarico e di deviazione nelle reti di drenaggio. Nel programma, fungono da collegamento tra due nodi e possono avere forma rettangolare o circolare ed essere posizionati in basso o a lato del nodo a monte;
- Stramazzo (*Weir*): modellano gli scolmatori/sbarramenti posizionati all'interno della rete di drenaggio (in un tombino o lungo il lato di un canale) o nei serbatoi. Come gli orifizi, rappresentano un collegamento tra due nodi. Poiché si possono verificare delle inversioni di flusso, può essere inserita una valvola. Nel software esistono cinque differenti tipi di stramazzi, ognuno con una formula diversa per la portata defluente al di sopra dello stesso.
- Uscita (*Outlet*) sono dei dispositivi che controllano la portata in uscita dai serbatoi di accumulo, dotati in alcuni casi di una valvola, per limitare il flusso in una sola direzione. Essi sono rappresentati nel software come collegamento tra due nodi.

4.6.2.4.2 Modello di propagazione

I modelli di propagazione (modulo idraulico) sono modelli matematici che descrivono la propagazione dell'onda di piena all'interno del collettore fognario; sono modelli di moto vario nelle correnti a pelo libero monodimensionali. Il modulo idraulico del codice SWMM contiene un insieme flessibile di possibilità per la modellazione idraulica. Queste includono:

- la possibilità di effettuare simulazioni con riferimento a reti di drenaggio caratterizzate da un numero di tratti e di interconnessioni, eventualmente anche magliate, praticamente illimitato;
- la possibilità di impiego di un'ampia varietà di sezioni standard delle condotte, sia aperte che chiuse, come pure (nel caso occorressero) di sezioni mistilinee (particolarmente utili nel caso

in si volessero simulare tratti d'alveo naturali e/o tratti caratterizzati da sezioni banchinate di forma particolare);

- elementi speciali, quali unità trattamento e/o di accumulo, dispositivi scaricatori di piena, la presenza e il funzionamento di pompe, la presenza di stramazzi e/o di luci di fondo;
- applicare in tutti i nodi della rete le portate in ingresso stabilite dall'utente, siano esse costanti o variabili nel tempo;
- la possibilità di effettuare sia simulazioni "complete", utilizzando specifiche tecniche numeriche per la risoluzione delle equazioni complete del moto (costituite da una generalizzazione delle equazioni uni-dimensionali del De Saint-Venant) sia di utilizzare il modello semplificato dell'onda cinematica;
- la possibilità di applicare una serie di regole dinamiche prestabilite dall'utente per simulare il funzionamento delle pompe, l'apertura/chiusura di paratoie.

In SWMM è possibile utilizzare tre modelli di propagazione: a portata costante (modello di moto permanente non uniforme); modello dell'onda cinematica (Kinematic wave) e modello dell'onda dinamica (Dynamic wave). Nei calcoli eseguiti nell'ambito di questa Convenzione, allo scopo di valutare quanto può accadere anche nelle fasi di iniziali di una piena, nelle quali, a partire da condizioni di fondo praticamente asciutto, lungo il sistema si propaga un fronte di riempimento sufficientemente ripido, è stato utilizzato il modello dinamico alla cui base c'è un sistema di equazioni differenziali alle derivate parziali dette Equazioni del De Saint-Venant. Il metodo dell'onda dinamica risolve le equazioni monodimensionali di De Saint Venant. Queste equazioni sono costituite dall'Equazione di Continuità (Bilancio di massa) (Eq. 1) e dall'Equazione del Moto (Bilancio delle Quantità di Moto) (Eq. 2), espresse nel seguente modo:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + g A \frac{\partial H}{\partial x} + g A S f = 0 \quad (2)$$

dove:

- A , l'area della sezione idrica, ortogonale all'asse della condotta;
- Q , portata defluente all'istante t nella sezione posta all'ascissa x ;
- x , distanza lungo l'asse della condotta;
- t , variabile temporale;

- g , accelerazione di gravità;
- $H = z_f + \frac{p}{\gamma}$ è la quota piezometrica della corrente, riferita a un piano orizzontale (coincidente, nel caso di correnti con deflusso a pelo libero, con la quota della superficie di pelo libero);
- z_f è la quota di fondo della condotta;
- S_f cadente piezometrica, ovvero perdite di carico per unità di lunghezza;

Poiché, per definizione di velocità media V , risulta $Q = AV$, l'equazione di continuità (1) può anche scriversi come:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

Moltiplicando per la velocità V i termini a primo e a secondo membro dell'equazione (3), si ottiene:

$$V \frac{\partial A}{\partial t} + AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

da cui

$$V \frac{\partial A}{\partial t} = -AV \frac{\partial V}{\partial x} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (5)$$

e, quindi:

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (6)$$

da cui, ancora:

$$2AV \frac{\partial V}{\partial x} = -2V \frac{\partial A}{\partial t} - 2V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (7)$$

D'altro canto, può porsi:

$$\frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} = \frac{\partial (V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (8)$$

Sostituendo nell'espressione (8), al posto del termine $2AV \frac{\partial V}{\partial x}$, i termini a secondo membro dell'espressione (7), può scriversi:

$$\frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} = -2V \frac{\partial A}{\partial t} - 2V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} = -2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (9)$$

Sostituendo al termine $\frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x}$ presente nell'equazione (2) l'espressione presente a secondo membro dell'espressione (9), si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} - 2AV \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (10)$$

dalla quale si ricava, infine, l'equazione:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2V \frac{\partial A}{\partial t} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f \quad (11)$$

Questa equazione può essere discretizzata utilizzando le seguenti approssimazioni:

$$\bullet \frac{\partial Q}{\partial t} \approx \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad (12)$$

$$\bullet \frac{\partial H}{\partial t} \approx \frac{\Delta H}{\Delta t} \quad (13)$$

$$\bullet \frac{\partial A}{\partial x} \approx \frac{\Delta A}{\Delta x} = \frac{(A_2 - A_1)}{L} \quad (14)$$

$$\bullet \frac{\partial H}{\partial x} \approx \frac{\Delta H}{\Delta x} = \frac{(H_2 - H_1)}{L} \quad (15)$$

$$\bullet \frac{\partial A}{\partial t} \approx \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad (16)$$

nelle quali:

A_1 = area della sezione idrica in corrispondenza dell'estremità a monte del tratto preso a riferimento (m²);

A_2 = area della sezione idrica in corrispondenza dell'estremità a valle del tratto preso a riferimento (m²);

H_1 = quota piezometrica esistente in corrispondenza dell'estremità a monte del tratto preso a riferimento (m s.l.m.m.);

H_2 = quota piezometrica esistente in corrispondenza dell'estremità a valle del tratto preso a riferimento (m s.l.m.m.);

Δx = L, lunghezza del canale preso a riferimento nei calcoli (m);

Δt = intervallo di calcolo delle grandezze di interesse (s);

$\Delta \underline{A}$ = $(\underline{A}^{t+\Delta t} - \underline{A}^t)$ = cambiamento, nell'intervallo di tempo Δt , dell'area media di deflusso \underline{A} (m^2);

ΔQ = $(Q^{t+\Delta t} - Q^t)$ = cambiamento, nell'intervallo di tempo Δt , della portata Q defluente nel tratto (m^3/s);

ΔH = $(H^{t+\Delta t} - H^t)$ = cambiamento, nell'intervallo di tempo Δt , del carico piezometrico H esistente nel nodo preso in esame (quello a monte o quello a valle del tratto, m s.l.m.m.);

\underline{A} = $\frac{(A_1+A_2)}{2}$ = area della sezione idrica media lungo il collettore (m^2);

\underline{V} = $\frac{(Q_1+Q_2)}{A_1+A_2}$ = velocità media di deflusso lungo il collettore (m/s);

\underline{R} = $\frac{(R_1+R_2)}{2}$ = raggio idraulico medio lungo il collettore (m);

la (11) diviene:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2\underline{V} \frac{\Delta A}{\Delta t} + \underline{V}^2 \frac{\Delta A}{\Delta x} - g\underline{A} \frac{\Delta H}{\Delta x} - g \frac{n^2 QV}{k^2 R^3} \quad (17)$$

vale a dire:

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2\underline{V} \frac{\Delta A}{\Delta t} + \underline{V}^2 \frac{(A_2-A_1)}{\Delta x} - g\underline{A} \frac{(H_2-H_1)}{\Delta x} - g \frac{n^2 QV}{k^2 R^3} \quad (18)$$

Per quanto, invece, attiene l'equazione di continuità (bilancio di massa), essa viene risolta non più con riferimento ai singoli tratti, ma con riferimento ai singoli nodi. In particolare, viene preso a riferimento un elemento virtuale definito "node assembly" (cioè un nodo assemblato come se fosse un unico blocco), costituito dal vero e proprio nodo nonché da metà tratto delle varie condotte poste idraulicamente a monte e da metà tratto delle condotte poste idraulicamente a valle (cfr. la successiva Fig. 4.5.3).

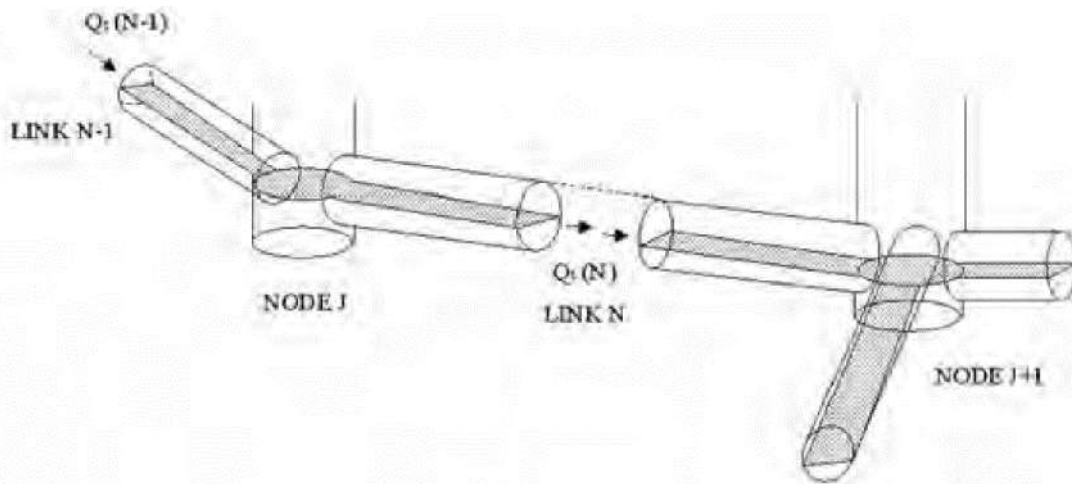


Figura 4.5.3 - Schema di calcolo preso a riferimento da SWMM

Pertanto, tenuta presente la sostanziale incomprimibilità dell'acqua, l'equazione di conservazione della massa, scritta per questo "nodo fittizio", può senz'altro essere espressa in termini di conservazione dei volumi in ingresso ed in uscita dal nodo durante l'intervallo temporale di calcolo.

Indicato con $W(t)$ il volume di acqua complessivamente presente all'interno del nodo all'istante t , l'equazione di continuità sarà dunque data dall'espressione:

$$\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u) = \frac{dW}{dt} \quad (19)$$

nella quale:

- col pedice "e", si è indicata la generica condotta, percorrendo la quale la portata Q_e entra nel nodo preso a riferimento;
- col pedice "u", si è indicata la generica condotta, percorrendo la quale la portata Q_u esce dal nodo preso a riferimento;
- con N_e , si è indicato il numero complessivo di condotte, percorrendo le quali le varie portate Q_e entrano nel nodo preso a riferimento;
- con N_u , si è indicato il numero complessivo di condotte, percorrendo le quali le varie portate Q_u escono dal nodo preso a riferimento;

Il volume con $W(t)$ di acqua presente nel “*node assembly*” varierà, durante l’intervallo di calcolo, in quanto varierà la quota di pelo libero presente all’interno del nodo stesso e, quindi, in quanto varierà, eventualmente, H . Di conseguenza, potrà scriversi:

$$W(t) = W[H(t)] \quad (20)$$

Pertanto, sarà:

$$\frac{dW}{dt} = \frac{dW}{dH} \frac{dH}{dt} = A_s \frac{dH}{dt} \quad (21)$$

dove con A_s si è indicata la superficie superiore del “*node assembly*”, data dalla somma dell’area della sezione trasversale dell’eventuale pozzetto, $A_{storage}$, e della sommatoria delle aree delle superfici libere relative alle metà dei collettori posti a monte e, rispettivamente, a valle del nodo di calcolo:

$$A_s = \left[A_{storage} + \sum_{e=1}^{N_e} \left(A_{\frac{1}{2channel_e}} \right) + \sum_{u=1}^{N_u} \left(A_{\frac{1}{2channel_u}} \right) \right] \quad (22)$$

Sostituendo la (21) nella (19), si avrà:

$$\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u) = A_s \frac{dH}{dt} \quad (23)$$

per cui, considerando la (22), si potrà scriversi:

$$\frac{dH}{dt} = \frac{\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u)}{\left[A_{storage} + \sum_{e=1}^{N_e} \left(A_{\frac{1}{2channel_e}} \right) + \sum_{u=1}^{N_u} \left(A_{\frac{1}{2channel_u}} \right) \right]} \quad (24)$$

Discretizzando, si ottiene:

$$\frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u)}{\left[A_{storage} + \sum_{e=1}^{N_e} \left(\frac{A}{2channel_e} \right) + \sum_{u=1}^{N_u} \left(\frac{A}{2channel_u} \right) \right]} \quad (25)$$

Le equazioni (18): $\frac{\Delta Q}{\Delta t} = 2\underline{V} \frac{\Delta A}{\Delta t} + \underline{V}^2 \frac{(A_2 - A_1)}{\Delta x} - \underline{gA} \frac{(H_2 - H_1)}{\Delta x} - \underline{g} \frac{n^2 QV}{k^2 R^3}$

e (25): $\frac{\Delta H}{\Delta t} = \frac{\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u)}{\left[A_{storage} + \sum_{e=1}^{N_e} \left(\frac{A}{2channel_e} \right) + \sum_{u=1}^{N_u} \left(\frac{A}{2channel_u} \right) \right]}$

sono quelle che, di fatto, vengono utilizzate da SWMM per la risoluzione numerica del sistema di equazioni (1, equazione di continuità) e (2, equazione del moto).

La tecnica di risoluzione numerica utilizzata dalle precedenti versioni di SWMM era basata su una discretizzazione in forma esplicita, “*forward*”, delle equazioni (metodo di Eulero modificato, a due stadi), che dava origine a un approccio molto meno robusto ed accurato di quello attualmente utilizzato. Infatti, a partire da SWMM 5 si utilizza il metodo implicito di Eulero, “*backwards*” nel tempo, molto più stabile di quello precedente (Ascher and Petzold, 1998).

In particolare, in base all’approccio utilizzato da Ascher and Petzold, la portata $Q^{t+\Delta t}$ al tempo $(t + \Delta t)$ può essere calcolata, iterativamente, a partire dall’espressione

$$Q^{t+\Delta t} = \frac{Q^t + \Delta Q_{inertia} + \Delta Q_{pressure}}{1 + \Delta Q_{friction} + \Delta Q_{losses}} \quad (26)$$

dove i singoli termini di questa espressione sono dati dalle seguenti relazioni

- $\Delta Q_{inertia} = 2\underline{V} (A^{t+\Delta t} - A^t) + V^2 (A_2 - A_1) \Delta t / L$ (27)

- $\Delta Q_{pressure} = \underline{gA} (H_1 - H_2) \Delta t / L$ (28)

- $\Delta Q_{friction} = \frac{g n^2 |V| \Delta t}{k^2 R^3}$ (29)

dove i valori attuali di H e delle quantità A , \underline{A} , \underline{V} e \underline{R} sono valutati tutti al tempo $t + \Delta t$.

La quota piezometrica H in ciascun nodo è a sua volta calcolata, iterativamente, mediante una discretizzazione dell'equazione (25). In particolare:

- per i nodi ordinari:

$$H^{t+\Delta t} = H^t + \frac{\frac{\Delta t}{2} \left[\sum_{e=1}^{N_e} (Q_e^{t+\Delta t} + Q_e^t) - \sum_{u=1}^{N_u} (Q_u^{t+\Delta t} + Q_u^t) \right]}{\left\{ A_{storage}^{t+\Delta t} + \sum_{e=1}^{N_e} \left[\left(\frac{A^{t+\Delta t}_1}{2channel} \right)_e \right] + \sum_{u=1}^{N_u} \left[\left(\frac{A^{t+\Delta t}_1}{2channel} \right)_u \right] \right\}} \quad (30)$$

- per i nodi costituiti terminali della rete:

$$H^{t+\Delta t} = H_{terminale}(t + \Delta t) \quad (31)$$

dove $H_{terminale}(t + \Delta t)$ può essere un valore costante assegnato dall'utente, oppure un valore variabile nel tempo, oppure l'altezza di stato critico oppure l'altezza di moto uniforme.

Data la geometria della condotta, l'area A risulta funzione del tirante idrico y , il quale può essere ottenuto dalla quota di pelo libero H . Pertanto, le variabili dipendenti in queste equazioni sono la portata Q e la quota di pelo libero H , a sua volta funzioni della distanza x e del tempo t .

Per risolvere le equazioni (26) e (30) relativamente ad una singola condotta sono richieste sia una serie di condizioni iniziali per H e Q , sia le condizioni al contorno in corrispondenza delle sezioni poste ad $x = 0$ e $x = L$ per tutta la durata della simulazione.

Il tirante idrico alla fine di una condotta connessa ad un nodo può essere computato come differenza tra la grandezza H in quel nodo e la quota del fondo della condotta.

4.6.2.4.3 Soluzione generica per tratti:

Le equazioni (26) e (30) sono risolte dal codice SWMM convertendole in una serie di equazioni alle differenze finite di tipo "implicito" che permettono di computare, istante per istante, la portata Q defluente in ogni condotta e la quota piezometrica H presente in ciascun nodo come funzioni di valori già noti al tempo t . In particolare, il modello SWMM risolve le equazioni (26) e (30) usando un metodo numerico che procede, iterativamente, per approssimazioni successive.

Tale metodo è, qui di seguito, brevemente descritto:

1. si effettua una prima stima della portata defluente in ogni condotta al tempo $t + \Delta t$ mediante l'equazione (26), all'interno della quale sono utilizzati i valori delle quote piezometriche H , le aree e le velocità di deflusso trovate al tempo t ;
2. successivamente, attraverso l'espressione (30), utilizzando i valori di portata appena computati nello step 1, si effettua una prima stima delle quote piezometriche H presenti in ogni nodo al tempo $t + \Delta t$. Queste soluzioni sono denominate, rispettivamente, come Q_{last} e H_{last} .
3. viene risolta nuovamente l'espressione (26), inserendo in essa i livelli, le aree, i raggi idraulici e le velocità medie che competono ai valori Q_{last} e H_{last} appena computati. I valori così calcolati vengono definiti Q_{new} .
4. per combinare le nuove portate stimate allo step 3, Q_{new} , con quelle stimate alla fine dello step 1, Q_{last} , viene impiegato un coefficiente Ω , ottenendo un valore aggiornato di Q_{new} attraverso l'espressione $Q_{new} = (1 - \Omega) Q_{last} + \Omega Q_{new}$;
5. si applica nuovamente l'espressione (30), utilizzando, però, i livelli impiegati per la stima di Q_{new} . Le soluzioni così dedotte vengono denominate H_{new} .
6. come già fatto per le portate, per ottenere una nuova soluzione all'istante $t + \Delta t$, la nuova soluzione ottenuta allo step 5, H_{new} , è pesata con la soluzione H_{last} ottenuta nello step 2, in modo da produrre una stima aggiornata per i livelli:

$$H_{new} = (1 - \Omega) H_{last} + \Omega H_{new};$$

7. se H_{new} è abbastanza vicino a H_{last} il processo iterativo si arresta, e si assumono, come soluzioni al tempo $t + \Delta t$, i valori di Q_{new} e di H_{new} . Diversamente, H_{last} e Q_{last} sono sostituiti, rispettivamente, con Q_{new} ed H_{new} , ed il procedimento ritorna allo step 3;
8. nell'implementare questa procedura, il programma impiega un fattore di rilassamento Ω costante e pari di 0.5, una tolleranza di convergenza ai nodi pari a 0.005 m, e limita il numero di iterazioni a 4.

4.6.3 AREA DI STUDIO

4.6.3.1 Inquadramento

L'area oggetto di studio è il comune di Casamicciola Terme, isola di Ischia (Figg. 4.5.4 e 4.5.5).

È situato nella parte settentrionale dell'isola d'Ischia, dispone di un porto misto commerciale e turistico. È l'unico comune che confina con tutti gli altri dell'isola: a est con il Comune di Ischia, a sud con il Comune di Barano d'Ischia lungo il sentiero che separa il bosco della Maddalena dal Monte Maschiatta, e con Serrara Fontana attraverso le colline Jetto, toccando a sud-ovest il Comune di Forio e lambendo a ovest con la Fundera anche quello di Lacco Ameno. Ha una superficie di circa 5,5 km², con una conformazione in gran parte collinare. Man mano che si risale verso l'entroterra, allontanandosi dalla costa, la densità demografica diminuisce, azzerandosi o quasi, in prossimità del monte Epomeo.



Figura 4.5.4 - Inquadrimento satellitare dell'isola di Ischia e dei diversi comuni

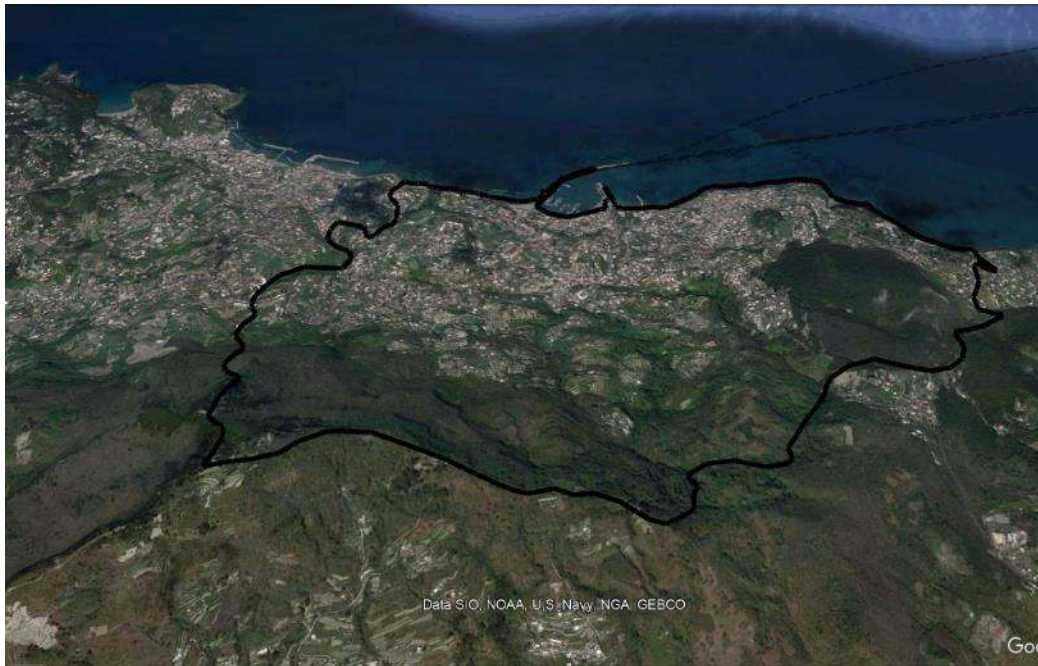


Figura 4.5.5 - Inquadramento satellitare (Google Earth) del comune di Casamicciola Terme

L'obiettivo di questo studio è quello di effettuare una verifica idraulica della rete fognaria del comune di Casamicciola Terme e, in particolare, dei tratti tombati (Fig. 4.5.6) che costituiscono la parte storica e principale della rete di drenaggio urbano.



Figura 4.5.6 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del comune di Casamicciola Terme

La rete è costituita principalmente da quattro tratti:

- tratto 1, interessa Via Nizzola per, poi, proseguire lungo Piazza Bagni;
- tratto 2, interessa Via Ombrasco per, poi, proseguire lungo Via Giuseppe Garibaldi (Piazza Bagni);
- tratto 3, interessa parte di Corso Vittorio Emanuele per, poi, congiungersi con gli altri due tratti all'inizio di Via Monte della Misericordia;
- tratto 4, derivante dalla confluenza dei primi tre tratti, interessa tutta Via Monte della Misericordia fino allo sbocco a mare.

Oltre questa porzione di rete, che interessa l'area di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, lo studio ha riguardato anche il tratto tombato lungo Via Cava (Fig. 4.5.7), al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.



Figura 4.5.7 - Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

In Fig. 4.5.8 è riportata l'intera area oggetto di studio.

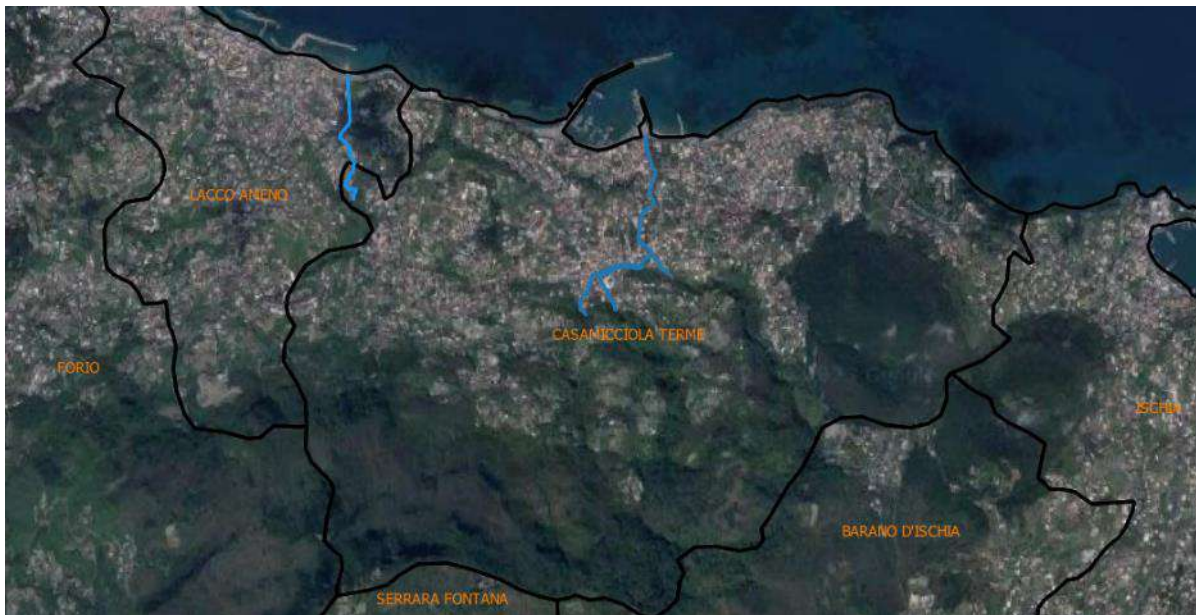


Figura 4.5.8 - Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio

4.6.3.2 Studio idraulico

Lo studio idraulico è finalizzato a valutare il corretto funzionamento del sistema di drenaggio oggetto di studio, ovvero i tratti tombati che costituiscono la rete fognaria del comune di Casamicciola Terme. Mediante l'approccio variazionale, si vuole valutare quale è la massima portata che il sistema è in grado di trasportare senza andare in pressione.

4.6.3.3 Schematizzazione rete di drenaggio urbano

La schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa la zona di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia è riportata in Fig. 4.5.9.

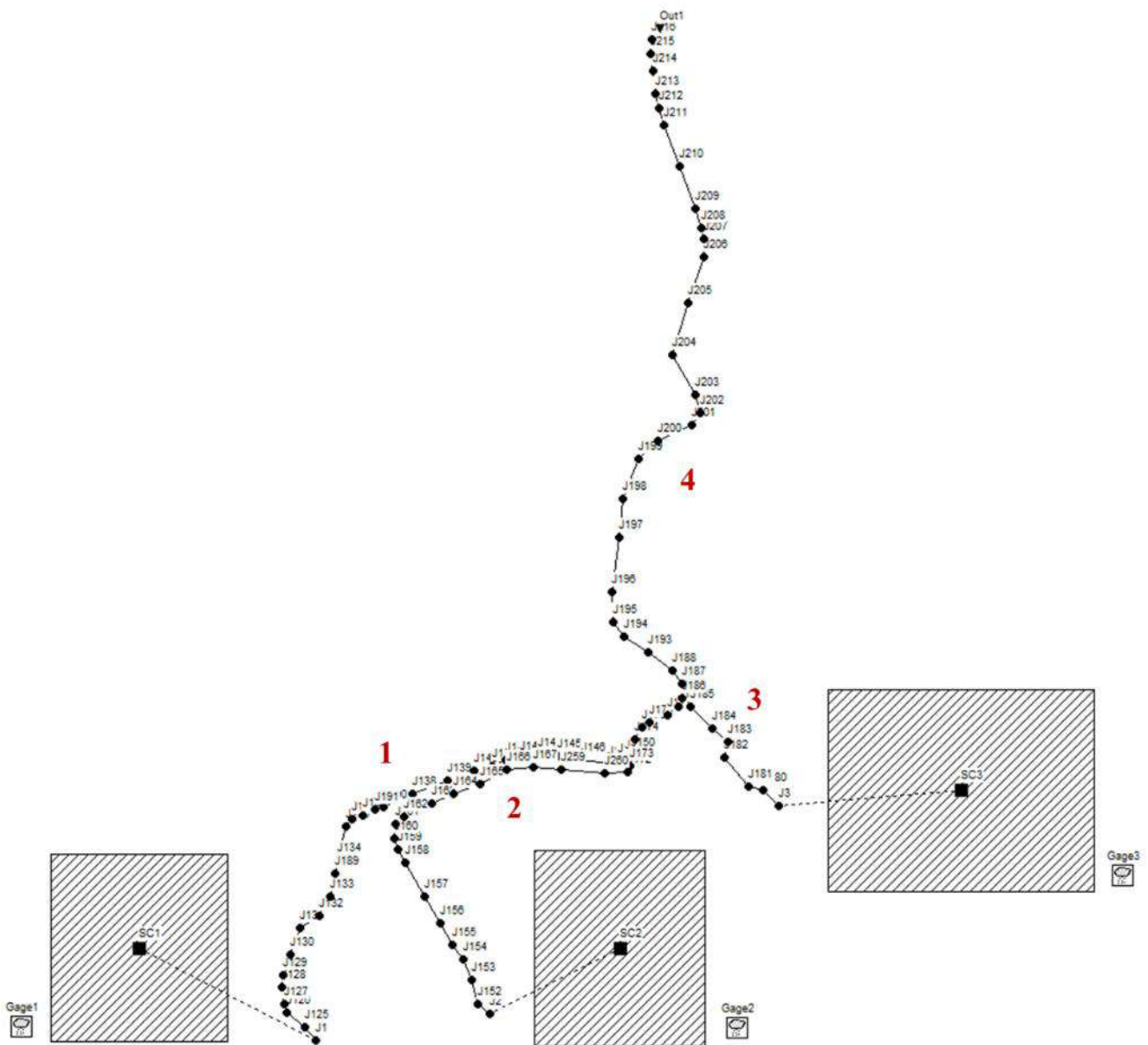


Figura 4.5.9 - Schematizzazione tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbano che interessa Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia con identificativo nodi e collettori principali

La schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa Via Cava è riportata in Fig. 4.5.10.

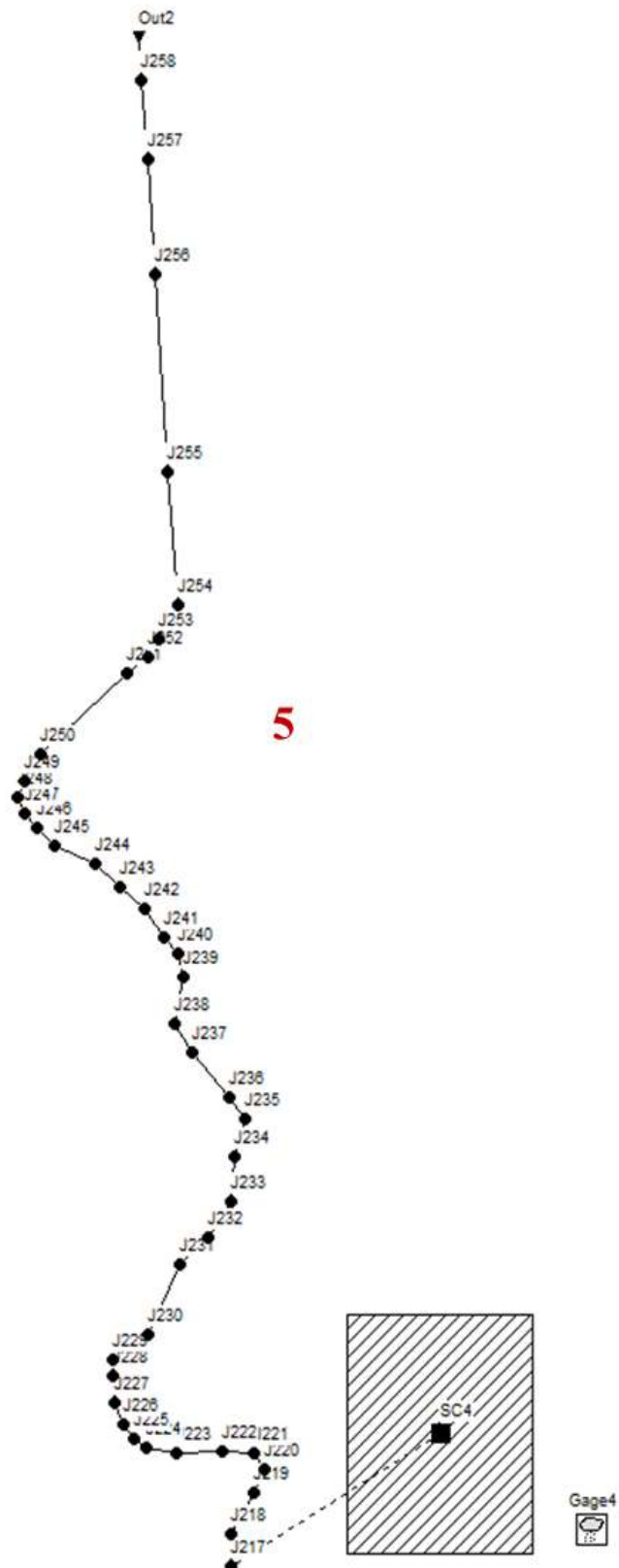


Figura 4.5.10 - Schematizzazione tratto tombato costituente la rete di drenaggio urbano in Via Cava con identificativo nodi

Ad ognuno degli elementi (condotte e nodi) è associato un identificativo. Per la caratterizzazione degli elementi si sono usati i parametri indicati nel paragrafo 5.3.3; in particolare:

Le condotte sono state contrassegnate da:

- Shape, speco del collettore fognario; principalmente sono sezioni rettangolari chiuse, mentre solo pochi tratti sono a sezione rettangolare aperta o sezione trapezia.
- Length, valutata scomponendo le condotte del sistema di drenaggio in più tratti, ovvero ogni qual volta vi era una variazione planimetrica, altimetrica (pendenze) o cambio speco.
- Roughness, posta pari a 0.016 per tutte le condotte;
- Invert elevation e Outlet elevation, valutato a seconda del caso, per modificare la pendenza e fare l'allineamento dei cieli fogna al fine di rispettare le verifiche;

I nodi sono stati caratterizzati da:

- Max Depth e Invert Elevation, variabili da condotta a condotta; si è seguito la pendenza della strada soprastante prevedendo 1m tra il cielo fogna e il piano stradale.

Tramite l'Invert Elevation del nodo di monte e valle di un tratto di condotta e la lunghezza della condotta stessa si ottiene la pendenza del tratto. Non avendo informazioni sulle sezioni trasversali, si è supposto che la pendenza dei collettori coincida con quella della strada. Dunque, l'Invert Elevation di ogni nodo è stato ricavato mediante il software QGIS sfruttando il DEM con risoluzione spaziale di 1m x 1m.

Nelle seguenti figure, sono rappresentate le sezioni longitudinali rispettivamente delle condotte 1-4 ovvero Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 4.5.11), 2-4 ovvero Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 4.5.12), 3-4 ovvero immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare (Fig. 4.5.13), 5 ovvero Via Cava (Fig. 4.5.14).

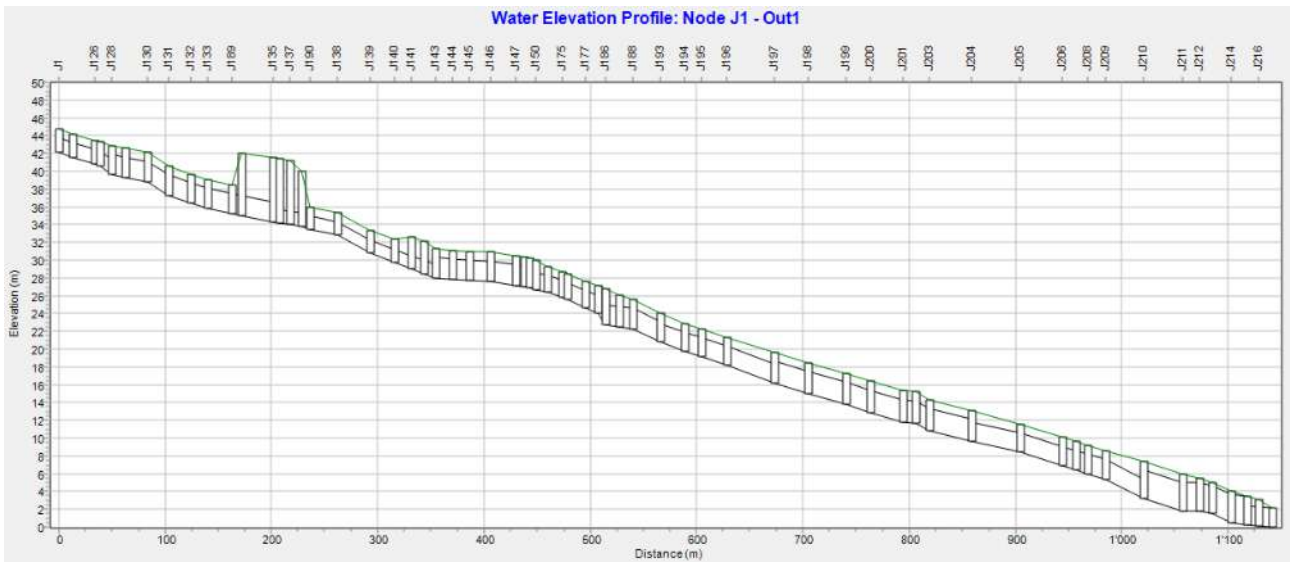


Figura 4.5.11 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

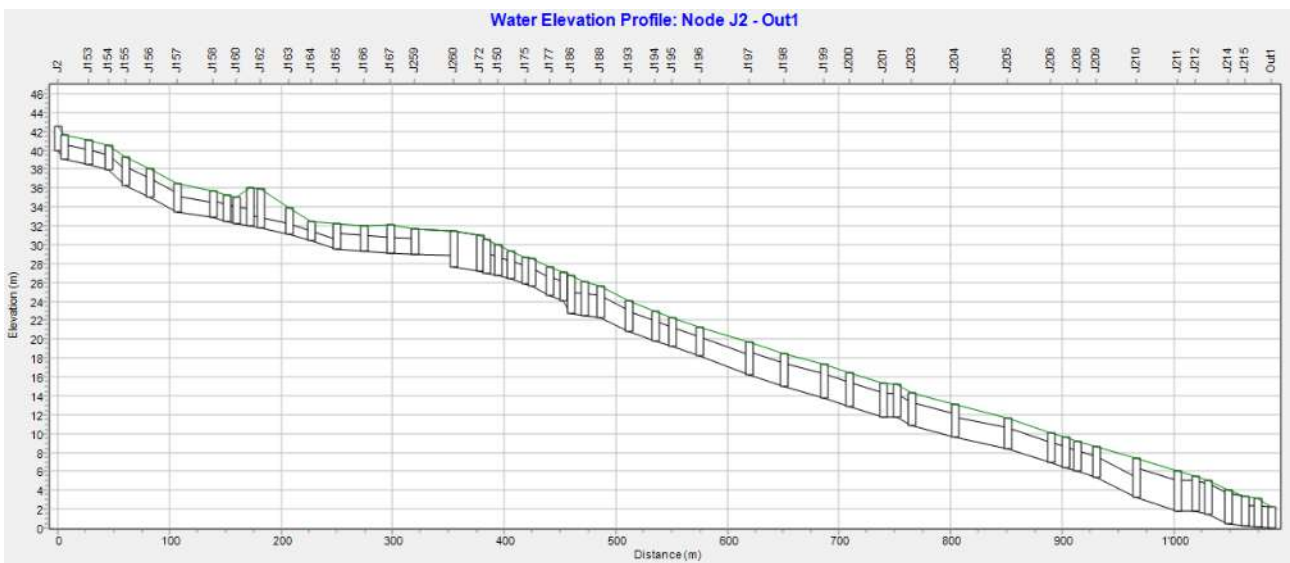


Figura 4.5.12 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

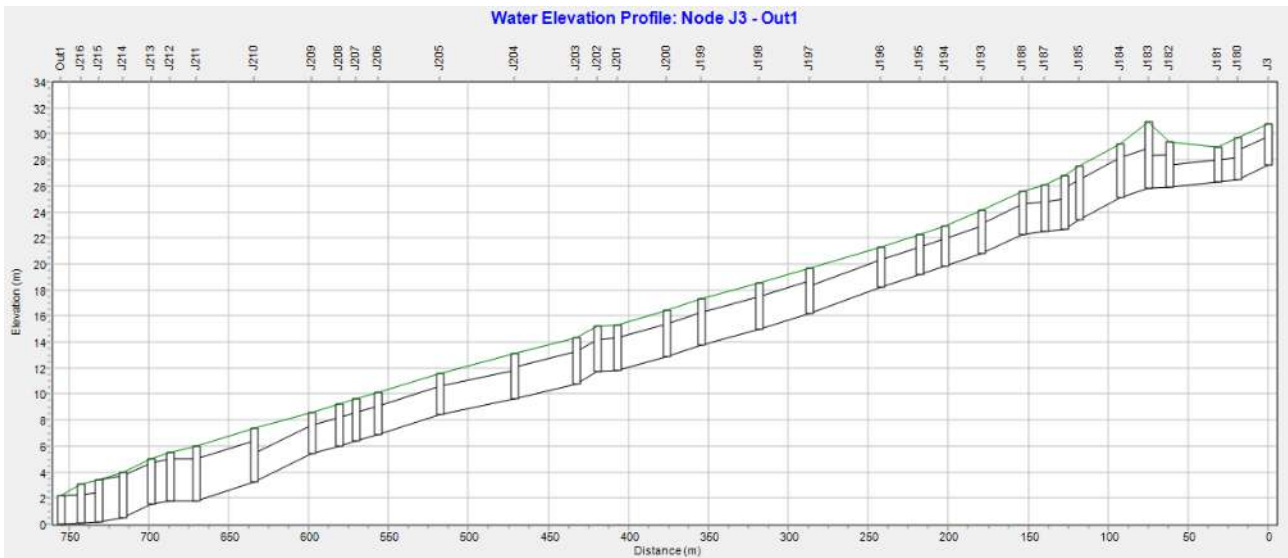


Figura 4.5.13 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

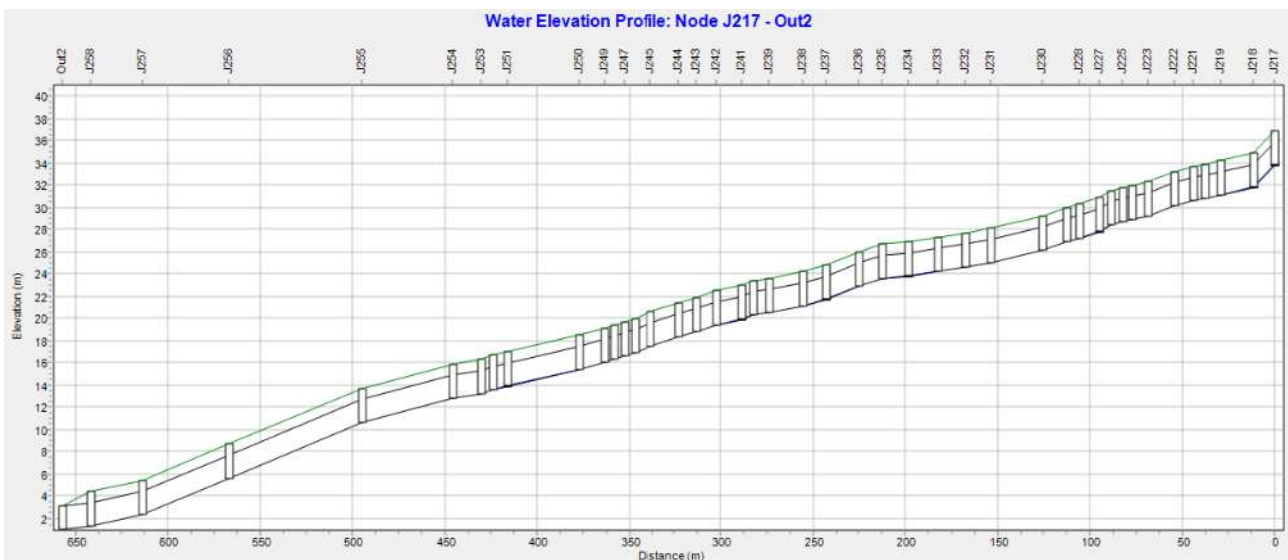


Figura 4.5.14 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

Nella tabella seguente (Tab. 4.5.1), invece, sono riportati, per ogni tratto (compreso tra due nodi) costituente i 5 collettori principali, le caratteristiche in termini di speco e lunghezza. In appendice A, invece, è riportata la tabella con le caratteristiche di ciascuno dei nodi considerati.

Tabella 4.5.1 - Caratteristiche dei tratti di condotta schematizzati in SWMM

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C130	J1	J125	RECT_CLOSED	2.8	1.7	13.132
C131	J125	J126	RECT_CLOSED	2.8	1.7	20.747
C132	J126	J127	RECT_CLOSED	2.8	1.7	4.953
C133	J127	J128	RECT_CLOSED	2.8	1.7	10.573
C134	J128	J129	RECT_CLOSED	2.8	2.3	13.22
C135	J129	J130	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C136	J130	J131	RECT_CLOSED	2.8	2.3	20.4
C137	J131	J132	RECT_CLOSED	3.55	2.3	20.246
C138	J132	J133	RECT_CLOSED	3.55	2.3	16.681
C140	J134	J135	RECT_CLOSED	3.55	2.3	29.731
C141	J135	J136	RECT_CLOSED	2.2	1.5	6.059
C142	J136	J137	RECT_CLOSED	2.2	1.5	9.874
C144	J138	J139	RECT_CLOSED	2.2	1.5	30.411
C145	J133	J189	RECT_CLOSED	3.55	2.3	22.613
C146	J189	J134	RECT_CLOSED	3.55	2.3	8.518
C148	J190	J138	RECT_CLOSED	2.2	1.5	26.208
C149	J137	J191	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11.022
C150	J191	J190	RECT_CLOSED	2.2	1.5	8.143
C151	J139	J140	RECT_CLOSED	2.2	1.5	23.201
C152	J140	J141	RECT_CLOSED	2.2	1.5	15.769
C153	J141	J142	RECT_CLOSED	2.2	1.5	12
C154	J142	J143	RECT_CLOSED	2.2	1.5	11
C155	J143	J144	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.641
C156	J144	J145	RECT_CLOSED	3.55	2.3	15.971
C157	J145	J146	RECT_CLOSED	3.55	2.3	19.354
C158	J146	J147	RECT_CLOSED	3.55	2.3	24.119
C159	J147	J148	RECT_CLOSED	3.55	2.3	7.74
C160	J148	J149	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.031
C161	J149	J150	RECT_CLOSED	3.55	2.3	5.806
C162	J2	J152	RECT_CLOSED	2.5	1.6	5.617
C163	J152	J153	RECT_CLOSED	2.5	1.6	21.673
C164	J153	J154	RECT_CLOSED	2.5	1.6	18.465
C165	J154	J155	RECT_CLOSED	2.5	1.6	14.745
C166	J155	J156	RECT_CLOSED	2.8	2	22.118
C167	J156	J157	RECT_CLOSED	2.8	2	24.326
C168	J157	J158	RECT_CLOSED	2.8	1.6	32.336
C169	J158	J159	RECT_CLOSED	2.4	1.8	11.595
C170	J159	J160	RECT_CLOSED	2.4	1.8	9.23
C171	J160	J161	RECT_CLOSED	2.4	1.8	12.403
C172	J161	J162	RECT_CLOSED	3.3	1.1	8.771
C173	J162	J163	RECT_CLOSED	3.3	1.1	26.075
C174	J163	J164	RECT_CLOSED	3.3	1.1	19.689
C175	J164	J165	RECT_CLOSED	3.3	1.1	22.249

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C176	J165	J166	RECT_CLOSED	3	1.7	25.32
C177	J166	J167	RECT_CLOSED	3	1.7	22.822
C183	J172	J173	RECT_CLOSED	3.3	2.1	6.187
C184	J173	J150	RECT_CLOSED	3.3	2.1	10.03
C187	J150	J174	RECT_CLOSED	2.8	1.9	11.58
C188	J174	J175	RECT_CLOSED	2.8	1.9	13.235
C189	J175	J176	RECT_CLOSED	2.8	1.9	5.235
C190	J176	J177	RECT_CLOSED	2.8	1.9	16.819
C191	J177	J178	RECT_CLOSED	3	2	11.945
C192	J178	J186	RECT_CLOSED	3	2	6.928
C193	J3	J180	RECT_CLOSED	3.7	2.2	19.064
C194	J180	J181	RECT_CLOSED	2.8	1.7	12.224
C195	J181	J182	RECT_CLOSED	2.8	1.7	30.631
C196	J182	J183	RECT_CLOSED	2.6	2.5	13.095
C197	J183	J184	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	17.303
C198	J184	J185	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	25.833
C199	J185	J186	TRAPEZOIDAL	4.7	3.1	9.403
C200	J186	J187	RECT_CLOSED	3	2.3	12.386
C201	J187	J188	RECT_CLOSED	3	2.3	13.475
C202	J188	J193	RECT_CLOSED	3	2.3	25.916
C203	J193	J194	RECT_CLOSED	3	2.1	23.13
C204	J194	J195	RECT_CLOSED	3	2.1	15.333
C205	J195	J196	RECT_CLOSED	3	2.1	24.364
C206	J196	J197	RECT_CLOSED	3	2.1	44.646
C207	J197	J198	RECT_CLOSED	3	2.5	31.718
C208	J198	J199	RECT_CLOSED	3	2.5	35.698
C209	J199	J200	RECT_CLOSED	3	2.5	22.194
C210	J200	J201	RECT_CLOSED	3	2.5	30.623
C211	J201	J202	RECT_CLOSED	3	2.5	12.294
C212	J202	J203	RECT_CLOSED	3	2.5	13.061
C213	J203	J204	RECT_CLOSED	3	2.5	39.223
C214	J204	J205	RECT_CLOSED	3	2.2	46.53
C215	J205	J206	RECT_CLOSED	3	2.2	38.867
C216	J206	J207	RECT_CLOSED	3	2.2	13.446
C217	J207	J208	RECT_CLOSED	3	2.2	10.501
C218	J208	J209	RECT_CLOSED	3	2.2	17.132
C219	J209	J210	RECT_CLOSED	3	2.2	35.843
C220	J210	J211	RECT_CLOSED	4.9	3.2	36.52
C221	J211	J212	RECT_CLOSED	4.9	3.2	15.977
C222	J212	J213	RECT_CLOSED	4.9	3.2	11.808
C223	J213	J214	RECT_CLOSED	4.9	3.2	17.897
C224	J214	J215	RECT_CLOSED	4.9	3.2	14.907
C225	J215	J216	RECT_CLOSED	3	2.2	11.17

Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C227	J216	Out1	RECT_CLOSED	3	2.2	12.729
C228	J217	J218	RECT_CLOSED	2.1	2.1	11.57
C229	J218	J219	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.303
C230	J219	J220	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.734
C231	J220	J221	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.595
C232	J221	J222	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10
C233	J222	J223	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.342
C234	J223	J224	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.561
C235	J224	J225	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.058
C236	J225	J226	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.337
C237	J226	J227	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.554
C238	J227	J228	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.707
C239	J228	J229	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.782
C240	J229	J230	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.946
C241	J230	J231	RECT_CLOSED	2.1	2.1	28.567
C242	J231	J232	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.521
C243	J232	J233	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.628
C244	J233	J234	RECT_CLOSED	2.1	2.1	16.021
C245	J234	J235	RECT_CLOSED	2.1	2.1	14.589
C246	J235	J236	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.248
C247	J236	J237	RECT_CLOSED	2.1	2.1	17.631
C248	J237	J238	RECT_CLOSED	2.1	2.1	12.591
C249	J238	J239	RECT_CLOSED	2.1	2.1	18.358
C250	J239	J240	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.95
C251	J240	J241	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.099
C252	J241	J242	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.432
C253	J242	J243	RECT_CLOSED	2.1	2.1	10.871
C254	J243	J244	RECT_CLOSED	2.1	2.1	9.816
C255	J244	J245	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.812
C256	J245	J246	RECT_CLOSED	2.1	2.1	8.546
C257	J246	J247	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.333
C258	J247	J248	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.015
C259	J248	J249	RECT_CLOSED	2.1	2.1	5.031
C260	J249	J250	RECT_CLOSED	2.1	2.1	13.668
C261	J250	J251	RECT_CLOSED	2.1	2.1	39.222
C262	J251	J252	RECT_CLOSED	2.1	2.1	7.558
C263	J252	J253	RECT_CLOSED	2.1	2.1	6.526
C264	J253	J254	RECT_CLOSED	2.1	2.1	15.247
C265	J254	J255	RECT_CLOSED	2.1	2.1	49.472
C266	J255	J256	RECT_CLOSED	4.4	2.1	72
C267	J256	J257	RECT_CLOSED	4.4	2.1	46.479
C268	J257	J258	RECT_CLOSED	4.9	2.1	28.256
C269	J258	Out2	RECT_CLOSED	4.9	2.1	15.41

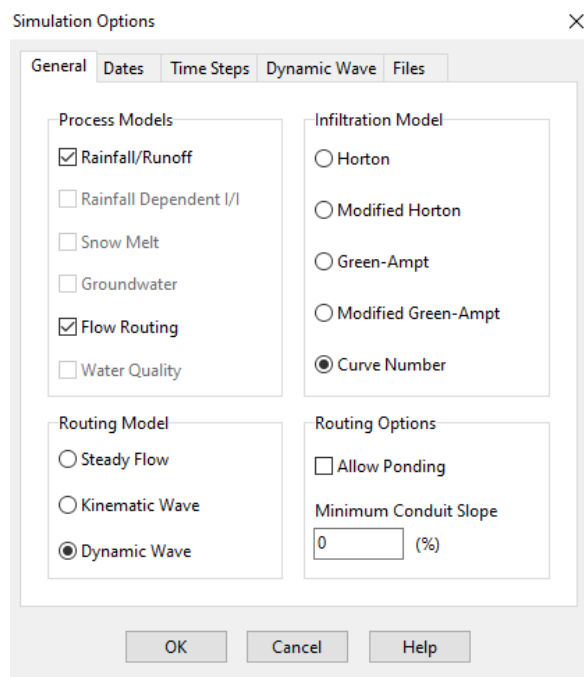
Condotta ID	Nodo monte	Nodo valle	Speco	Larghezza [m]	Altezza [m]	Lunghezza [m]
C270	J167	J259	RECT_CLOSED	3	1.7	22.38
C271	J259	J260	RECT_OPEN	3	2.65	35
C272	J260	J172	RECT_OPEN	3.8	3.85	23

4.6.3.4 Settaggio dei parametri utilizzati nel modello di simulazione

Prima di passare alle iterazioni dell'approccio variazionale, in SWMM è indispensabile settare i modelli di simulazione scelti (Fig. 4.5.15). Nel seguente elaborato, sono stati usati i seguenti modelli:

- il metodo del Curve Number per l'infiltrazione;
- l'onda dinamica per la propagazione.

Figura 4.5.15 - Modelli di calcolo di SWMM



4.6.4 L'approccio variazionale

Si applica l'approccio variazionale stimando la massima portata in uscita dai tratti tombati in corrispondenza dello sbocco al mare.

La durata critica (d_c) è la durata per la quale si ha il valore massimo dei massimi valori della variabile in esame, valori che si verificano durante gli eventi meteorici valutati al variare della durata d . Valutata la durata critica per il sistema, si analizzano i tiranti in condotta verificando che quest'ultima non vada in pressione.

- T=20 anni

Q [m3/s] per T=20anni			
d [min]	d [h]	Via Monte della Misericordia - sbocco a mare	Via Cava - sbocco a mare
20	0.333333	27.30735	44.84620
30	0.5	33.64201	45.38443
40	0.666667	36.43417	17.18081
50	0.833333	32.57159	16.42493
60	1	32.62081	15.49345

Sistema drenaggio Piazza Bagni - Via Monte della Misericordia; $d_c=40$ min

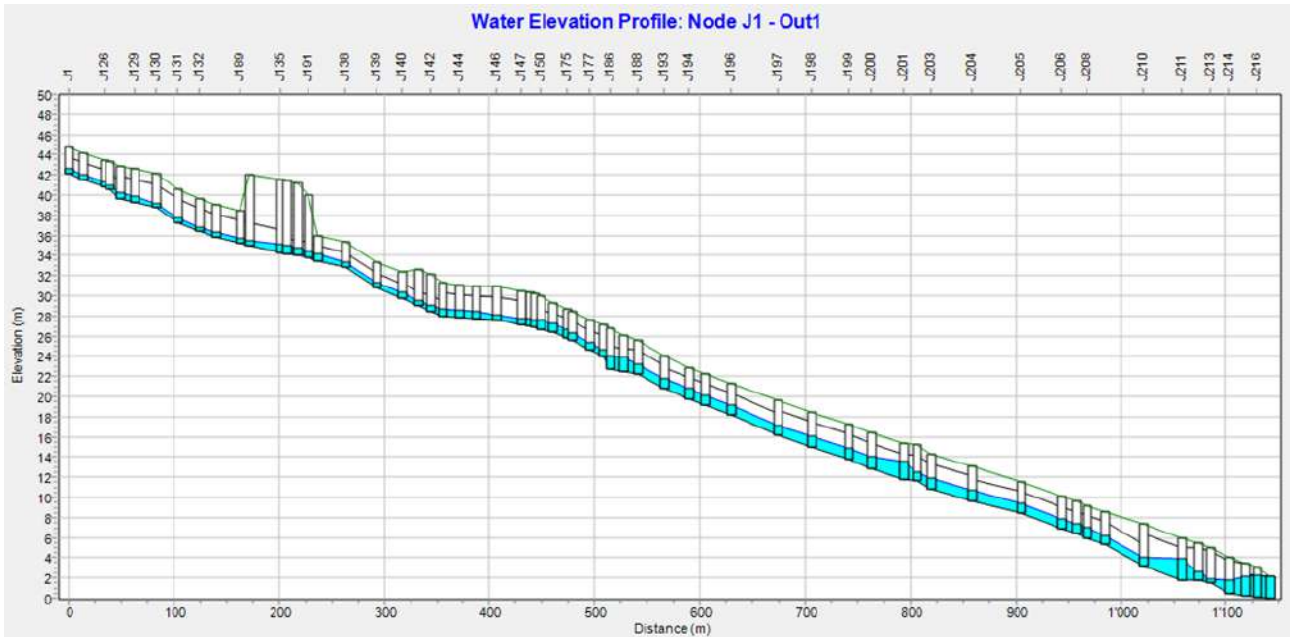


Figura 4.5.15 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

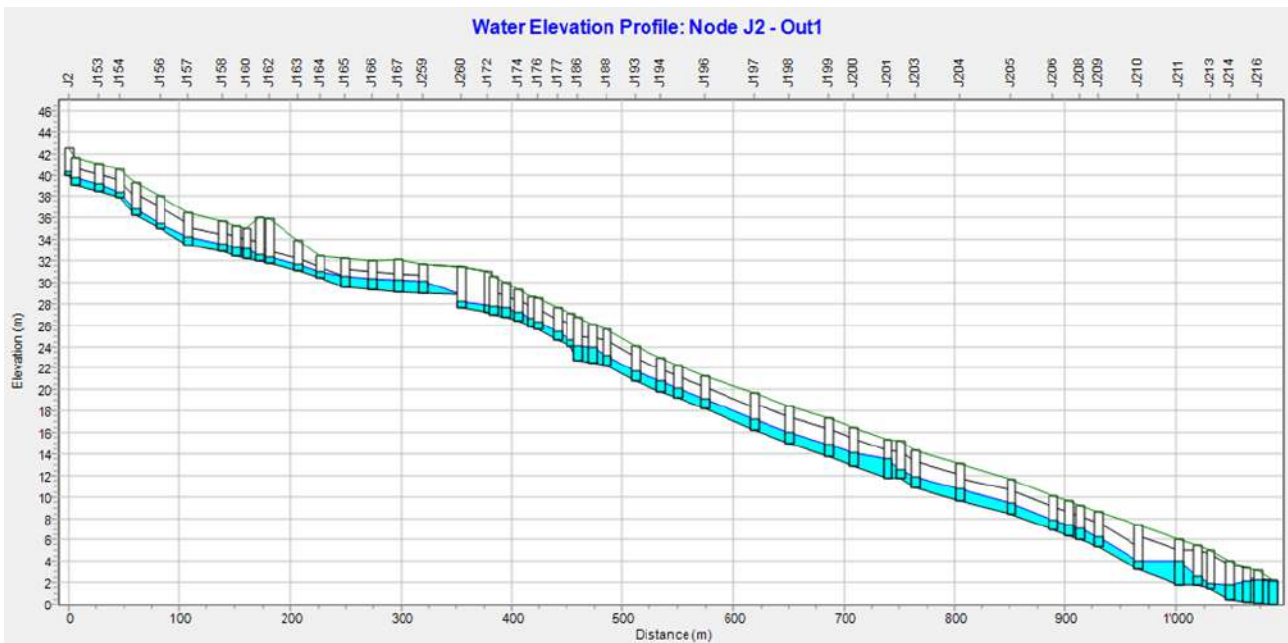


Figura 4.5.16 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

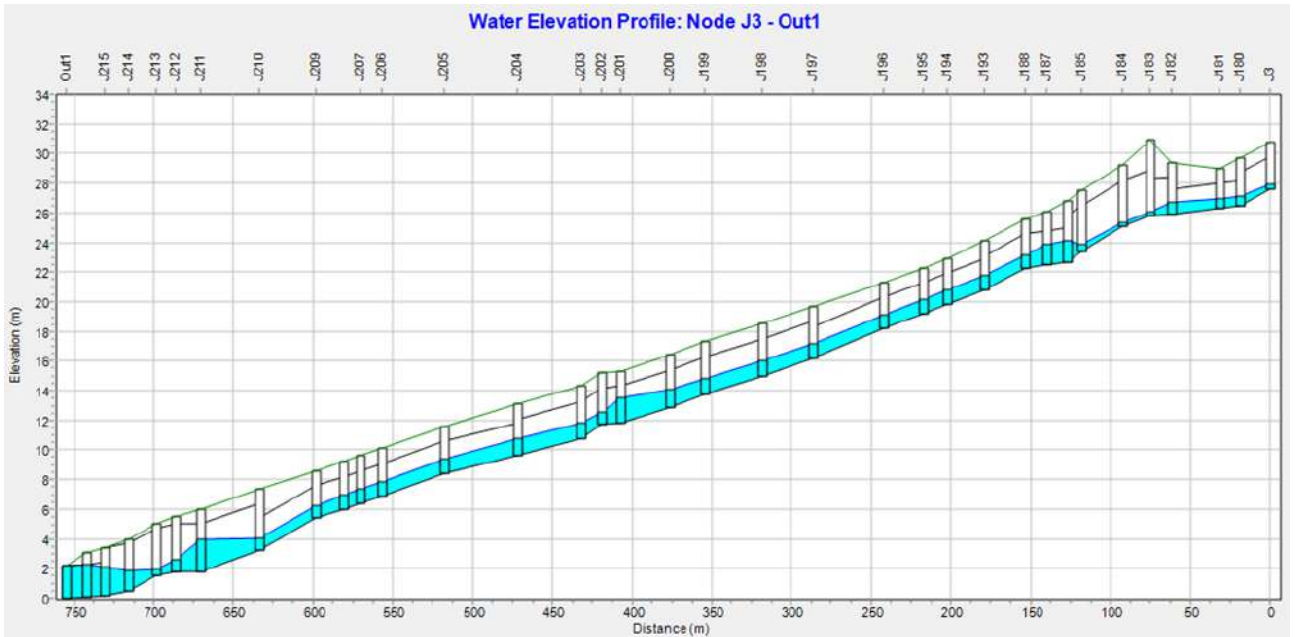


Figura 4.5.17 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

Sistema drenaggio Via Cava; dc=30 min

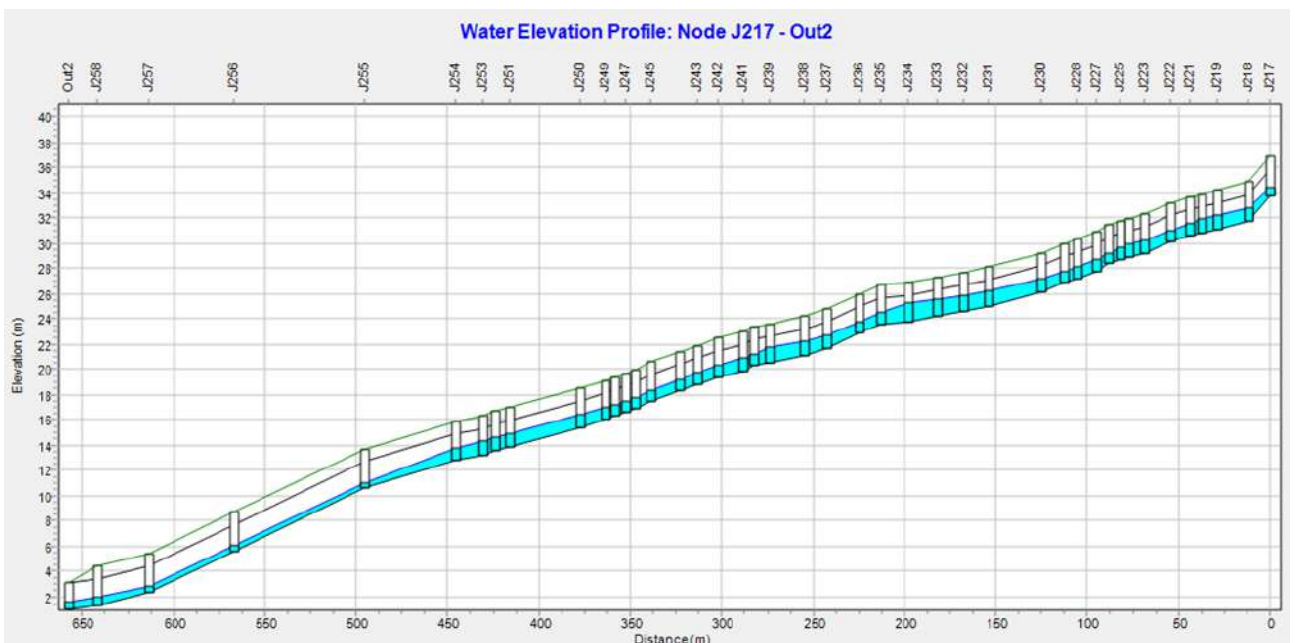


Figura 4.5.18 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

- T=50anni

Q [m3/s] per T=50anni			
d [min]	d [h]	Via Monte della Misericordia - sbocco a mare	Via Cava - sbocco a mare
10	0.166666	37.46273	17.33799
20	0.333333	47.34020	45.61953
30	0.5	46.90997	44.76803
40	0.666667	50.00715	45.37273
50	0.833333	49.60122	21.51814
60	1	49.48443	20.03003

Sistema drenaggio Piazza Bagni - Via Monte della Misericordia; dc=40 min

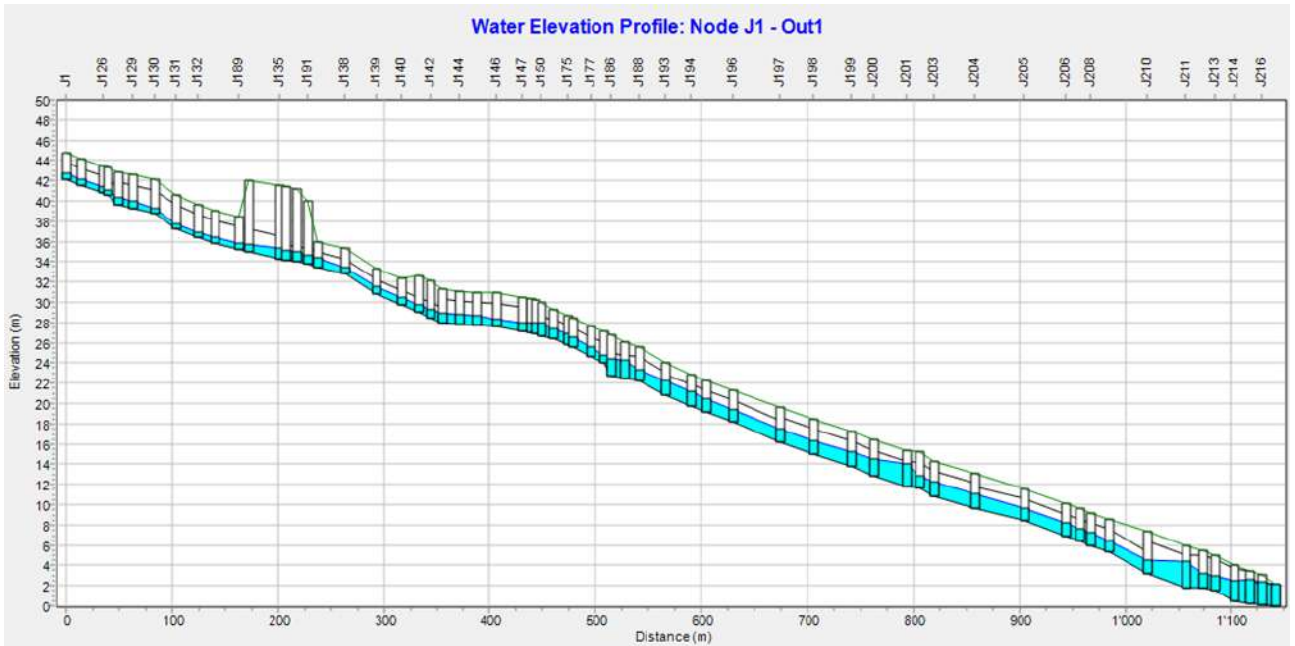


Figura 4.5.19 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

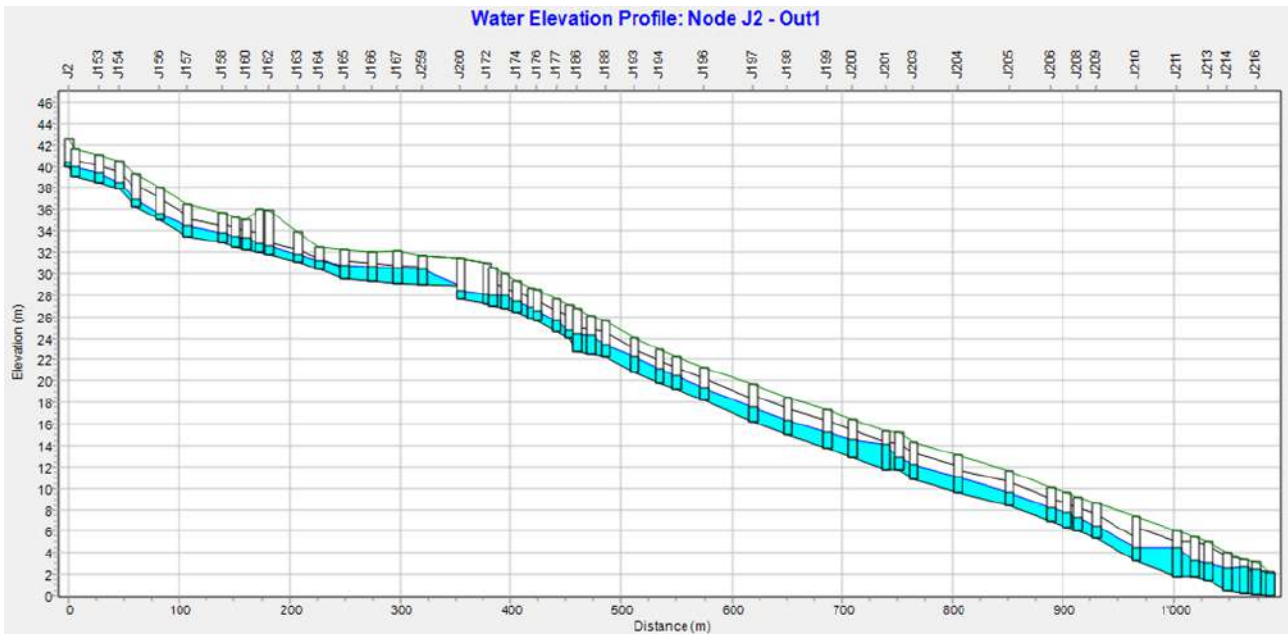


Figura 4.5.20 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

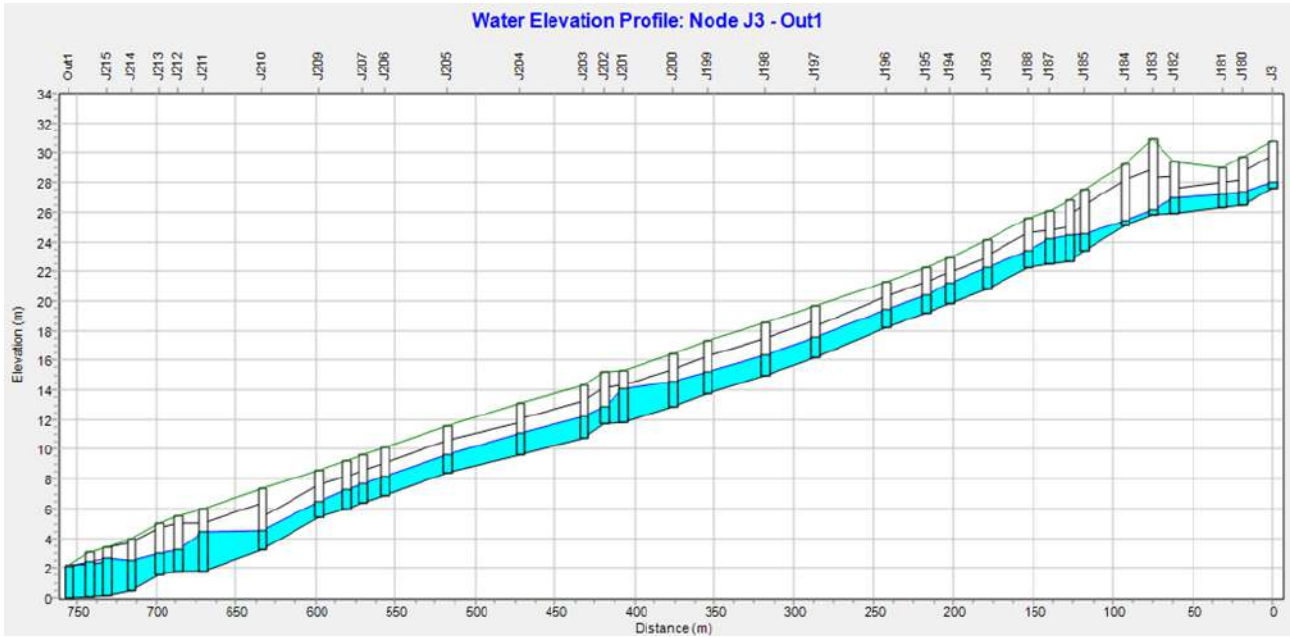


Figura 4.5.21 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

Sistema drenaggio Via Cava; dc=20 min

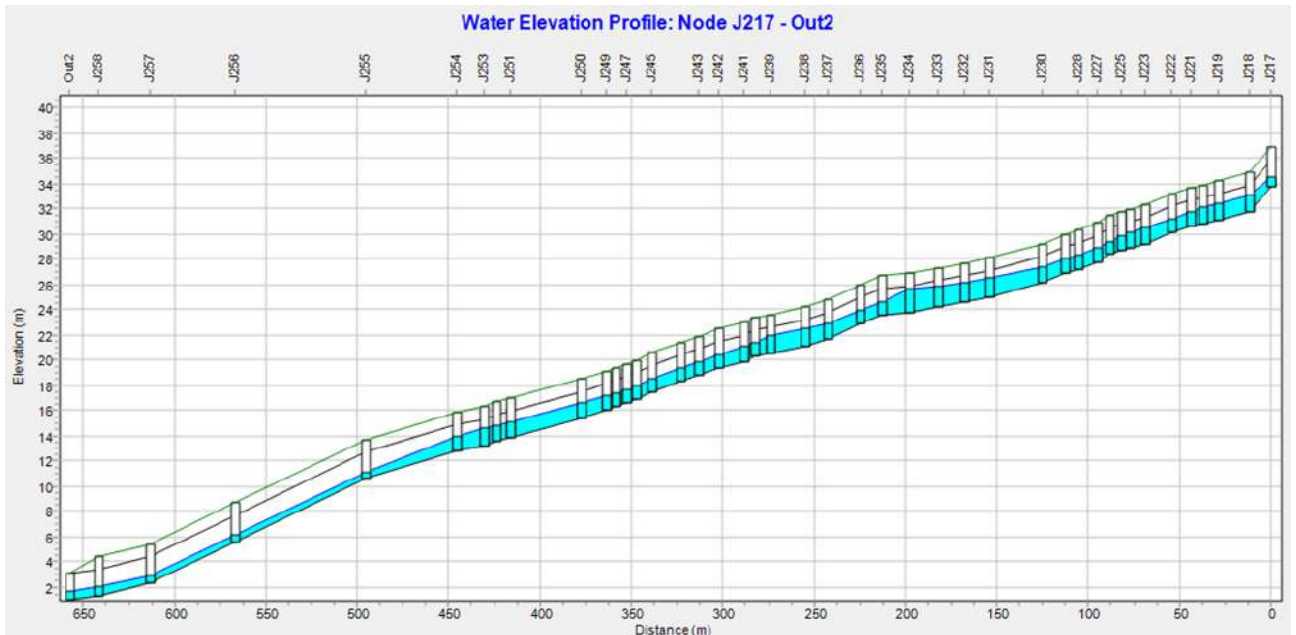


Figura 4.5.22 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

- T=100anni

Q [m3/s] per T=100anni			
d [min]	d [h]	Via Monte della Misericordia - sbocco a mare	Via Cava - sbocco a mare
10	0.166666	37.28061	45.73285
20	0.333333	53.78425	45.75625
30	0.5	57.28237	44.87772
40	0.666667	57.94251	44.88967
50	0.833333	58.57577	44.67479
60	1	51.75938	

Sistema drenaggio Piazza Bagni - Via Monte della Misericordia; dc=50min

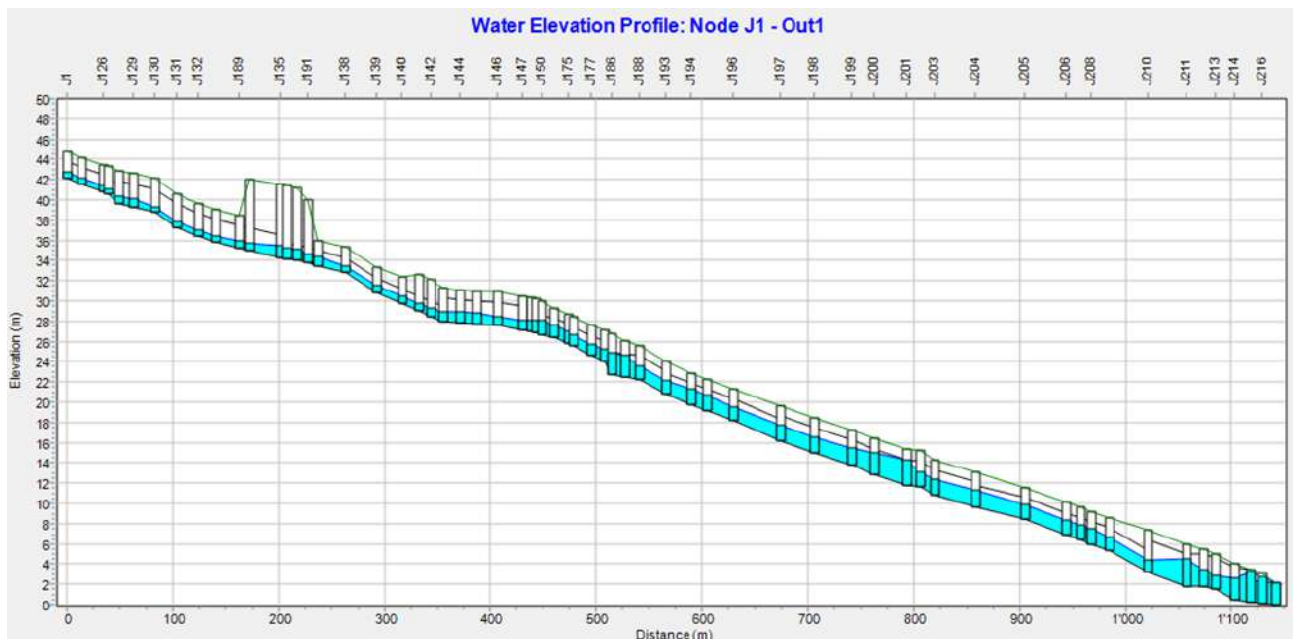


Figura 4.5.23 - Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

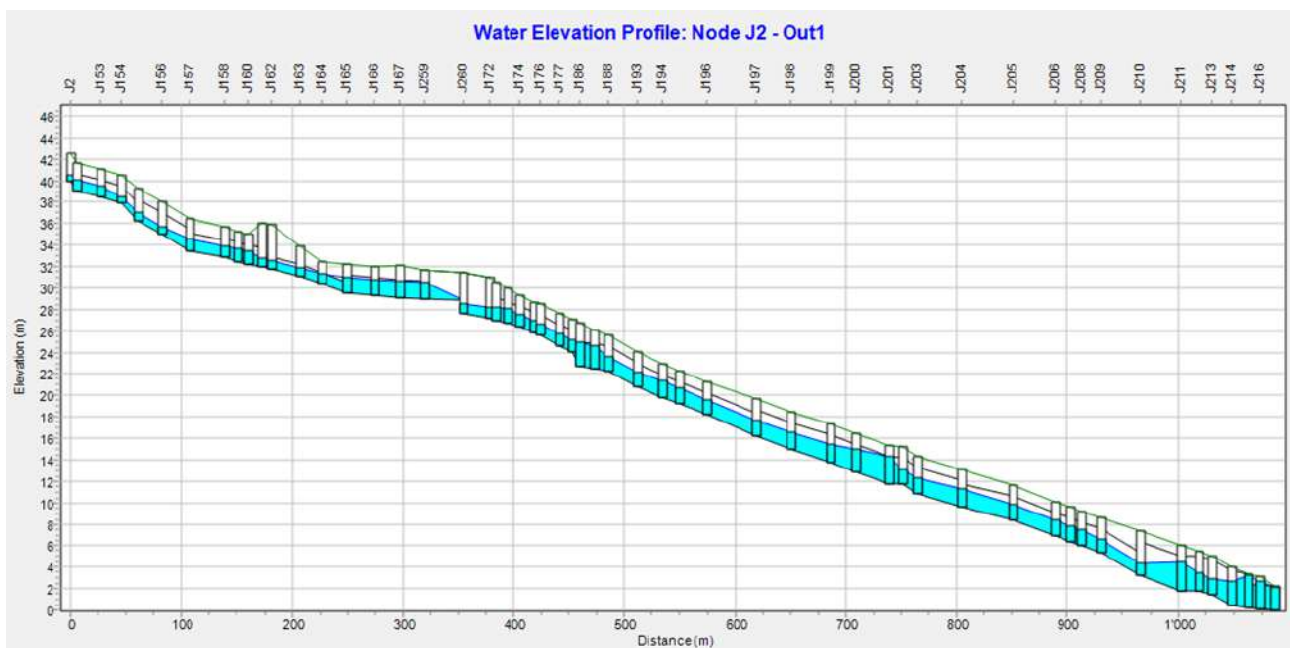


Figura 4.5.24 - Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

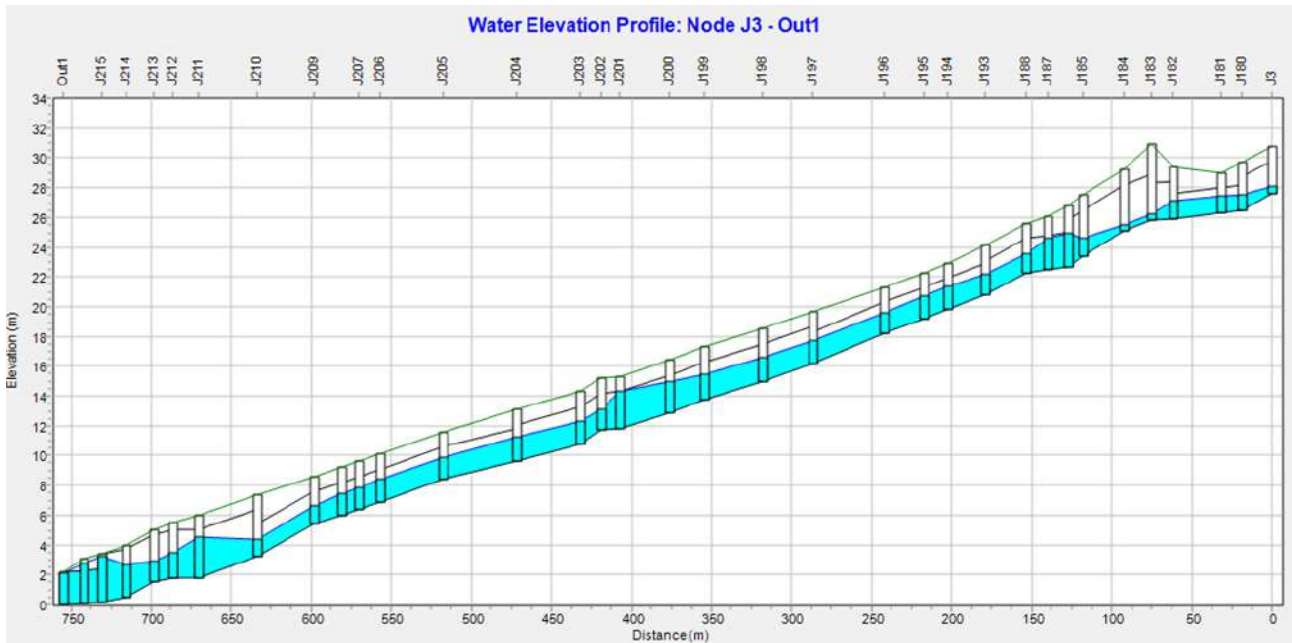


Figura 4.5.25 - Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

Sistema drenaggio Via Cava; dc=20 min

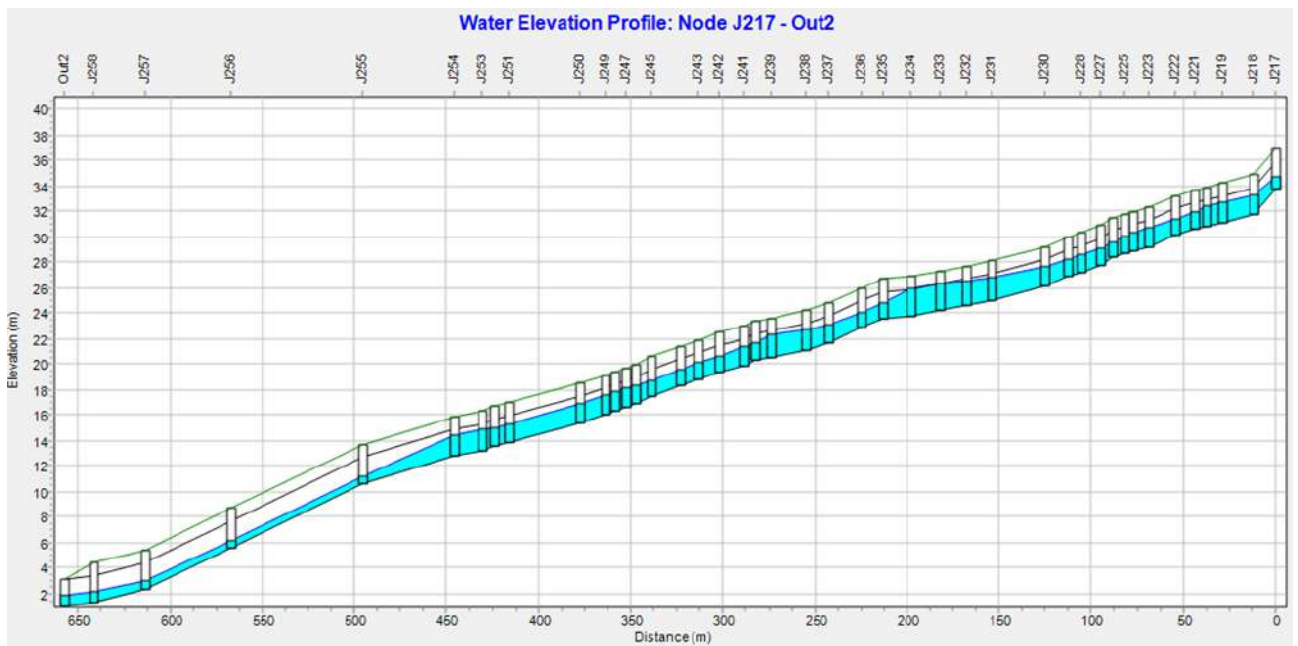


Figura 4.5.26 - Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

Appendice A

Tabella 4.5.A1 - Caratteristiche dei nodi schematizzati in SWMM: ID, Invert Elevation e Max Depth di ogni nodo

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J1	42.1	2.7
J2	39.9	2.6
J3	27.6	3.2
J125	41.5	2.7
J126	40.8	2.7
J127	40.6	2.7
J128	39.6	3.3
J129	39.3	3.3
J130	38.8	3.3
J131	37.3	3.3
J132	36.4	3.3
J133	35.8	3.3
J134	35	7
J135	34.3	7.2
J136	34.2	7.2
J137	34	7.2
J138	32.8	2.5
J139	30.8	2.5
J140	29.75	2.65
J141	29	3.6
J142	28.5	3.6
J143	28	3.3
J144	27.8	3.3
J145	27.7	3.3
J146	27.6	3.3
J147	27.2	3.3
J148	27	3.3
J149	26.9	3.3
J150	26.7	3.3
J152	39	2.6
J153	38.5	2.6
J154	37.9	2.6
J155	36.3	3
J156	35	3
J157	33.5	3
J158	32.9	2.8
J159	32.4	2.8
J160	32.2	2.8

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J161	32	4
J162	31.8	4.1
J163	31.1	2.8
J164	30.4	2.1
J165	29.5	2.7
J166	29.3	2.7
J167	29.1	3
J172	27.15	3.85
J173	27	3.6
J174	26.4	2.9
J175	25.8	2.9
J176	25.6	2.9
J177	24.6	3
J178	24.1	3
J180	26.5	3.2
J181	26.3	2.7
J182	25.9	3.5
J183	25.8	5.1
J184	25.1	4.1
J185	23.4	4.1
J186	22.7	4.1
J187	22.5	3.6
J188	22.3	3.3
J189	35.2	3.3
J190	33.5	2.5
J191	33.8	6.2
J193	20.8	3.3
J194	19.8	3.1
J195	19.2	3.1
J196	18.2	3.1
J197	16.2	3.5
J198	15	3.5
J199	13.8	3.5
J200	12.9	3.5
J201	11.8	3.5
J202	11.7	3.5
J203	10.8	3.5
J204	9.6	3.5
J205	8.4	3.2
J206	6.9	3.2
J207	6.4	3.2
J208	6	3.2
J209	5.4	3.2

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J210	3.2	4.2
J211	1.8	4.2
J212	1.8	3.7
J213	1.5	3.5
J214	0.5	3.5
J215	0.2	3.2
J216	0.1	3
J217	33.8	3.1
J218	31.8	3.1
J219	31.1	3.1
J220	30.8	3.1
J221	30.6	3.1
J222	30.1	3.1
J223	29.2	3.1
J224	28.9	3.1
J225	28.7	3.1
J226	28.4	3.1
J227	27.8	3.1
J228	27.2	3.1
J229	26.9	3.1
J230	26.1	3.1
J231	25	3.1
J232	24.6	3.1
J233	24.2	3.1
J234	23.8	3.1
J235	23.6	3.1
J236	22.9	3.1
J237	21.7	3.1
J238	21.1	3.1
J239	20.5	3.1
J240	20.3	3.1
J241	19.9	3.1
J242	19.4	3.1
J243	18.8	3.1
J244	18.3	3.1
J245	17.5	3.1
J246	16.9	3.1
J247	16.6	3.1
J248	16.3	3.1
J249	16	3.1
J250	15.4	3.1
J251	13.9	3.1
J252	13.6	3.1

Nodo ID	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]
J253	13.2	3.1
J254	12.8	3.1
J255	10.6	3.1
J256	5.6	3.1
J257	2.3	3.1
J258	1.3	3.1
J259	29	2.65
J260	27.65	3.85

5. CARATTERIZZAZIONE DEI BACINI E LORO CRITICITÀ

Con riferimento alle descrizioni generali del Capitolo 1 nonché alle definizioni degli ambiti bacinali individuati nel Capitolo 3, nel seguito vengono dettagliati, per ogni singolo bacino, gli aspetti d'interesse relativamente agli assetti geologici, geomorfologici, vegetazionali, idrogeologici e idrologici, alle caratteristiche geotecniche e geomeccaniche delle formazioni presenti, ai fenomeni indotti agli eventi piovosi del 26 novembre, nonché all'eventuale presenza di studi ed indagini pregresse nell'area. Su tali basi sono definite le principali criticità connesse all'attivazione di processi di frana, erosivi e di alluvionamento in occasione di eventi di pioggia ad elevata intensità.

Il complesso degli elementi dedotti costituisce, quindi, la base dei criteri per l'adozione delle possibili soluzioni progettuali finalizzate alla mitigazione dei rischi connessi a fenomeni franosi e alluvionali, secondo scenari definibili sulla base della conoscenza dei fenomeni recenti e di quelli del passato, nonché sulle simulazioni numeriche sviluppate in questa sede.

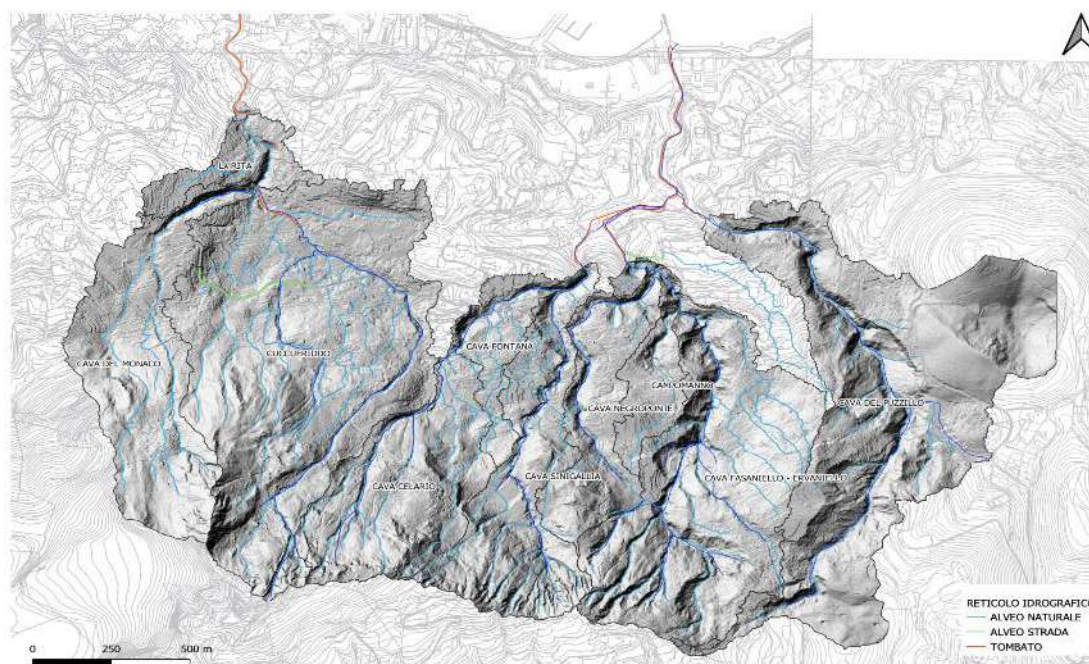


Figura 5.1.1. Reticolo idrografico e individuazione dei bacini principali

Come di fatto è già stato esplicitato in precedenza, le unità idrografiche individuate mostrano diversità morfo-topografiche significative da correlare al complesso assetto litostrutturale dell'area

indotto principalmente dalla risorgenza del blocco epomeico e dagli imponenti processi erosionali e di frana successivamente impostatisi, nonché dai depositi di eventi vulcanici più recenti.

L'analisi è quindi svolta per i bacini idrografici principali, procedendo da quello più orientale, denominato Cava Puzzillo, a quello più occidentale, denominato Cava La Rita - Cava del Monaco (Figura 5.1.1).

Le Cartografie nel seguito richiamate sono state sviluppate sulla base del DTM post evento (rilievo LIDAR Copernicus del novembre 2022) e riportano i risultati delle elaborazioni sviluppate nell'ambito della fase emergenziale, integrate dagli approfondimenti condotti nel quadro delle attività che hanno consentito la redazione di questo documento.

La cartografia geologica di riferimento è costituita dalla Carta 1:10.000 della Regione Campania redatta nel quadro delle attività CARG. Nella Figura 5.1.2 ne è riportato uno stralcio, con indicazione delle tracce delle sezioni lungo i diversi alvei principali, che verranno successivamente richiamate.

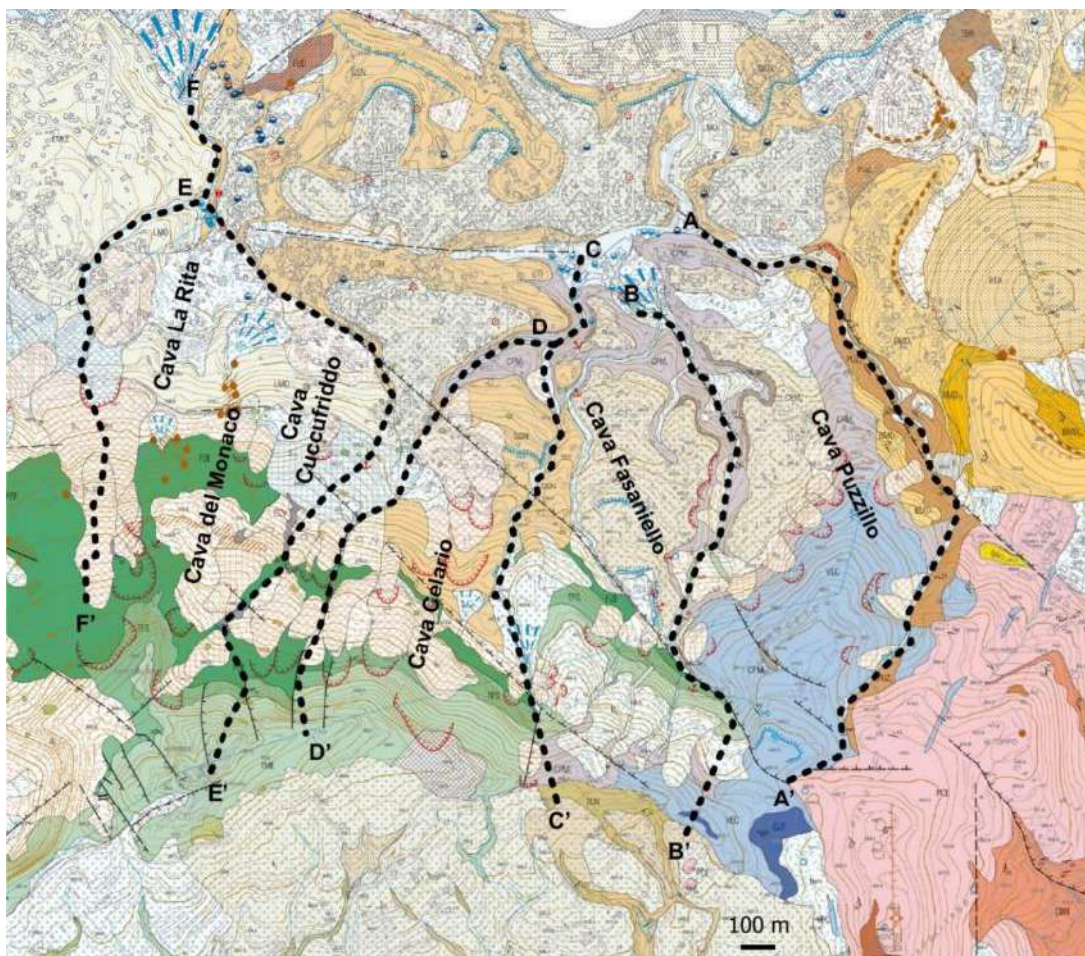


Figura 5.1.2. Tracce delle sezioni stratigrafiche lungo gli alvei principali, sovrapposte alla CARG (Foglio n°464 Isola

d'Ischia).

La cartografia di Figura 5.1.3, relativa agli effetti degli eventi del novembre 2022 ed in particolare dei fenomeni di frana, è basata sul contributo prodotto in prima fase a cura dal Gruppo DICEA guidato dal prof. Santo, integrato da ulteriori rilievi di sito, aerofotografici e LIDAR disponibili.

Nella Figura 5.1.4 sono invece rappresentati gli angoli di pendio che caratterizzano in sintesi i vari bacini, cartografia che è presente come allegato al CAPITOLO 3.

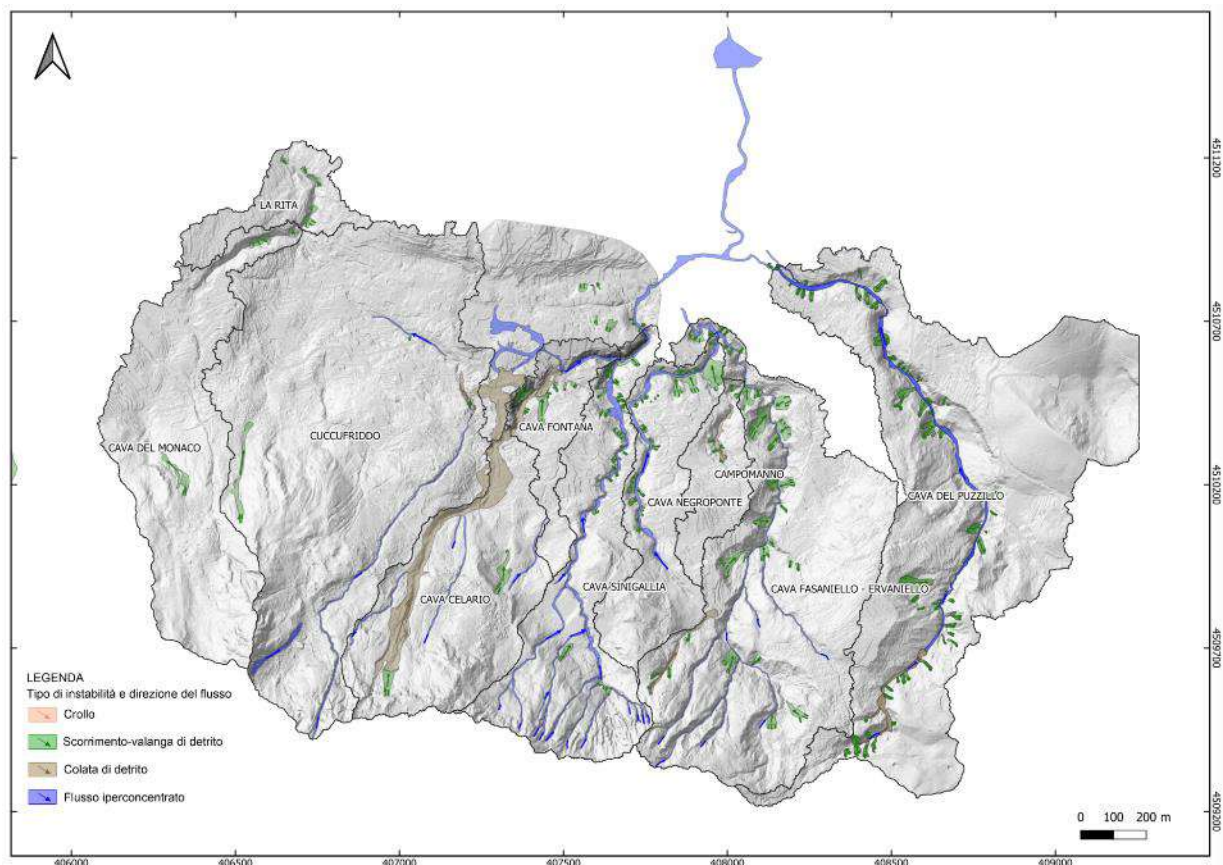


Figura 5.1.3. Individuazione e classificazione dei principali fenomeni di dissesto.

Nella Figura 5.1.5 è riportata la distribuzione delle indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche in foro, raccolte a partire dagli studi di Microzonazione seguiti all'evento sismico del 2017, integrate con quelle successivamente eseguite dal DICEA nell'ambito del progetto MASLIDE, e dalla Regione Campania per gli studi sulla liquefacibilità dei terreni costieri, propedeutici al Piano di Ricostruzione post-sisma. E' possibile notare che il numero d'indagini è molto limitato nell'intera perimetrazione dei bacini a monte delle sezioni d'imbocco degli alvei tombati, mentre sono più diffuse nelle aree urbanizzate a valle.

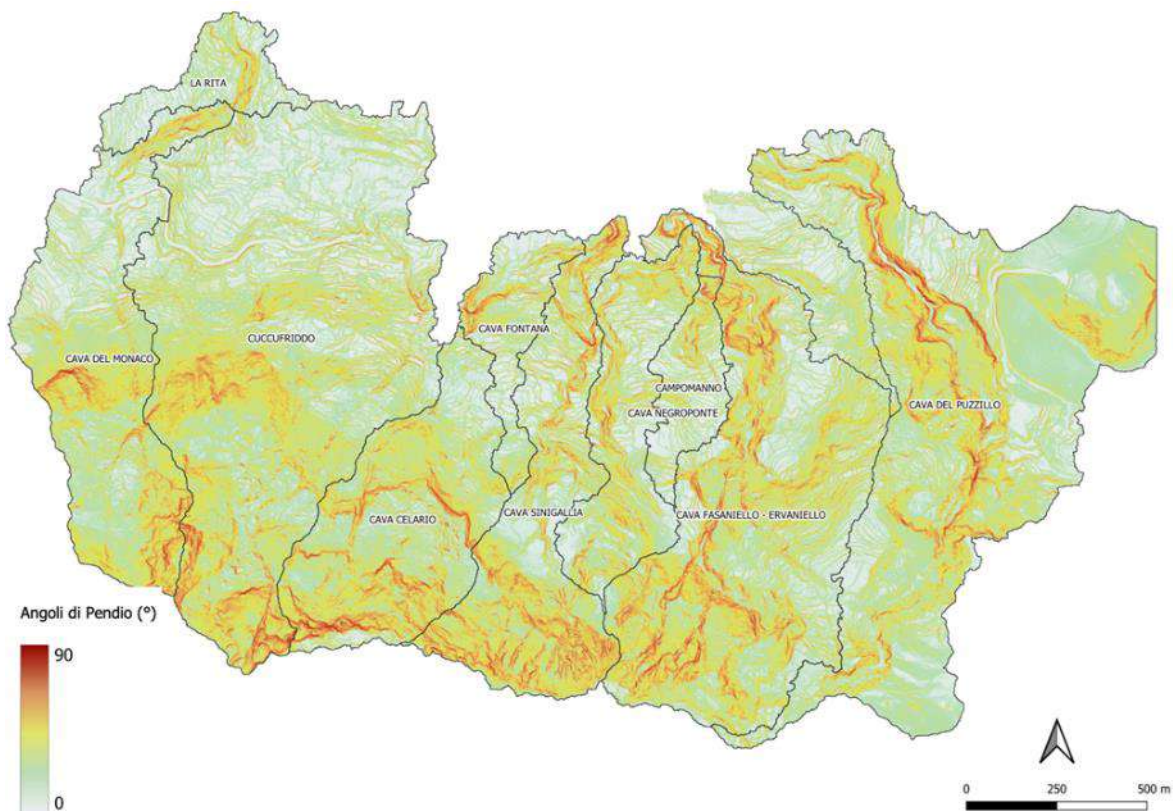


Figura 5.1.4. Carta delle acclività ricavata dal DTM 1m x 1m.

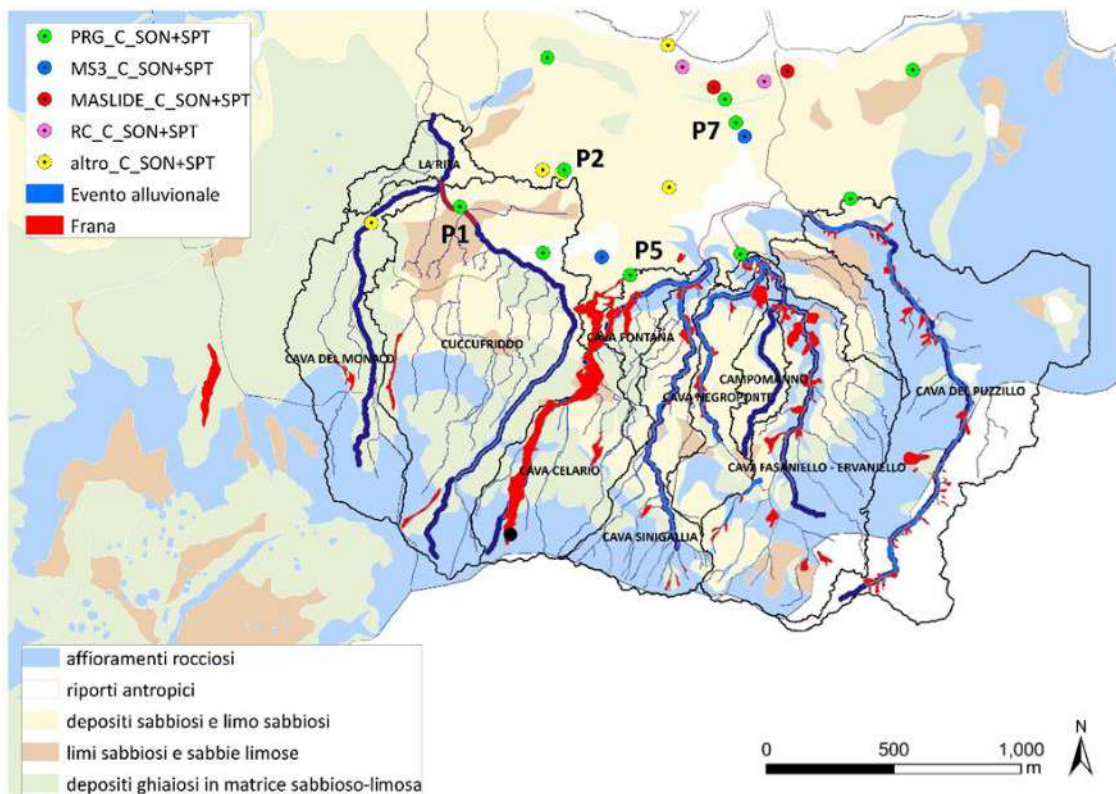


Figura 5.1.5. Distribuzione delle indagini in foro esistenti nell'ambito dei bacini idrografici d'interesse

5.1 CORNICE SOMMITALE

Al fine di ottenere dati utili alla caratterizzazione della cornice sommitale del versante settentrionale del Monte Epomeo e all'identificazione delle criticità specifiche riferibili alle condizioni di suscettibilità all'innesco, transito e invasione da frane da crollo di roccia (anche attraverso l'interpretazione critica dei risultati delle simulazioni di cui al capitolo 4), sono stati effettuati rilievi di sito durante specifici sopralluoghi ed alcune campagne di acquisizione di immagini da aeromobile a pilotaggio remoto (Figura 5.1.1). Tali rilievi/campagne sono stati eseguiti in data 8, 16 e 28 marzo e 6 aprile. I rilievi di sito sono stati orientati all'acquisizione di informazioni inerenti alle caratteristiche dei depositi/formazioni affioranti, incluso il loro stato di fratturazione, e alla presenza, distribuzione e dimensioni di blocchi di roccia mobilizzati e/o potenzialmente mobilizzabili da frane da crollo di roccia. Ad integrazione sono stati mappati i blocchi presenti lungo il settore superiore del versante attraverso l'analisi visiva delle ortofoto a colori ad alta risoluzione acquisite durante specifici rilievi post-evento (Copernicus).

Le immagini acquisite attraverso aeromobile a pilotaggio remoto hanno permesso di integrare le informazioni acquisite durante i sopralluoghi offrendo una prospettiva visiva più adatta a valutazioni a scala di versante e permettendo di raggiungere zone altrimenti non raggiungibili per questioni di sicurezza. L'acquisizione delle immagini è avvenuta attraverso pilotaggio manuale dell'aeromobile (quota relativa compresa tra i 25 e 120 m) con prese sia nadirali che inclinate, assicurando la sovrapposizione tra immagini successive/adiacenti in modo da permetterne l'utilizzo ai fini della ricostruzione di modelli fotogrammetrici tridimensionali. Corrispondendo alla zona di distacco e transito della frana principale (località Celario), alla scarpata sub-verticale localizzata a monte dell'area di espansione del flusso all'uscita della "cava" Celario, e al settore centrale e occidentale della cornice sommitale, le aree rilevate sono localizzate anche a quote relativamente più basse della cima del Monte Epomeo in conseguenza della loro rappresentatività delle condizioni di suscettibilità all'innesco di frane da crollo in roccia e/o criticità in termini di propagazione preferenziale in tratti di versante modificati dal frane pregresse (rimozione della vegetazione da parte della frana principale di località Celario).

Le osservazioni di sito hanno indicato come la cornice sommitale abbia una conformazione particolarmente articolata anche in relazione alla presenza di linamenti vulcano-tettonici e alle

caratteristiche del reticolo idrografico che localmente ne modifica i tratti fino alle quote più elevate. Il suo sviluppo è significativo sia dal punto di vista planimetrico che verticale: localmente la differenza di quota tra la base e la sommità della scarpata costituente la cornice è stimabile in diverse decine di metri. Non si rileva la presenza di infrastrutture significative, se non una strada locale che segue la cresta a sud dello spartiacque principale. Sono presenti alcune strutture isolate in prossimità della cresta, alcune delle quali ad uso militare. Le acclività raggiungono gli 80/90° e tale condizione, unitamente all'affioramento del tufo fratturato, rappresenta un elemento predisponente rispetto al distacco di blocchi di roccia. Di particolare significato è la presenza di blocchi isolati o diffusi in prossimità della cresta e/o alla base della cornice. Non è stata rilevata la presenza di interventi effettuati in passato lungo la cornice sommitale.

La carta di Figura 5.1.1, evidenziando la distribuzione dei blocchi “mappabili” già coinvolti e/o coinvolgibili in fenomeni gravitativi, la loro forma attraverso immagini esemplificative e, allo stesso modo la loro dimensione, sintetizza le osservazioni di sito e le loro interpretazioni in termini di suscettibilità al distacco. In particolare, considerando la presenza di blocchi con volumetrie variabili da qualche metro cubo a decine di metri cubi, di forma rettangolare, ellissoidale e discoidale e la loro concentrazione a valle di zone ad elevata acclività, sono state identificate sulla base dell'acclività due zone a suscettibilità crescente. La prima ad elevata suscettibilità corrispondente all'intervallo di acclività 60-75° e la seconda a suscettibilità molto elevata corrispondente ad acclività superiori a 75°.

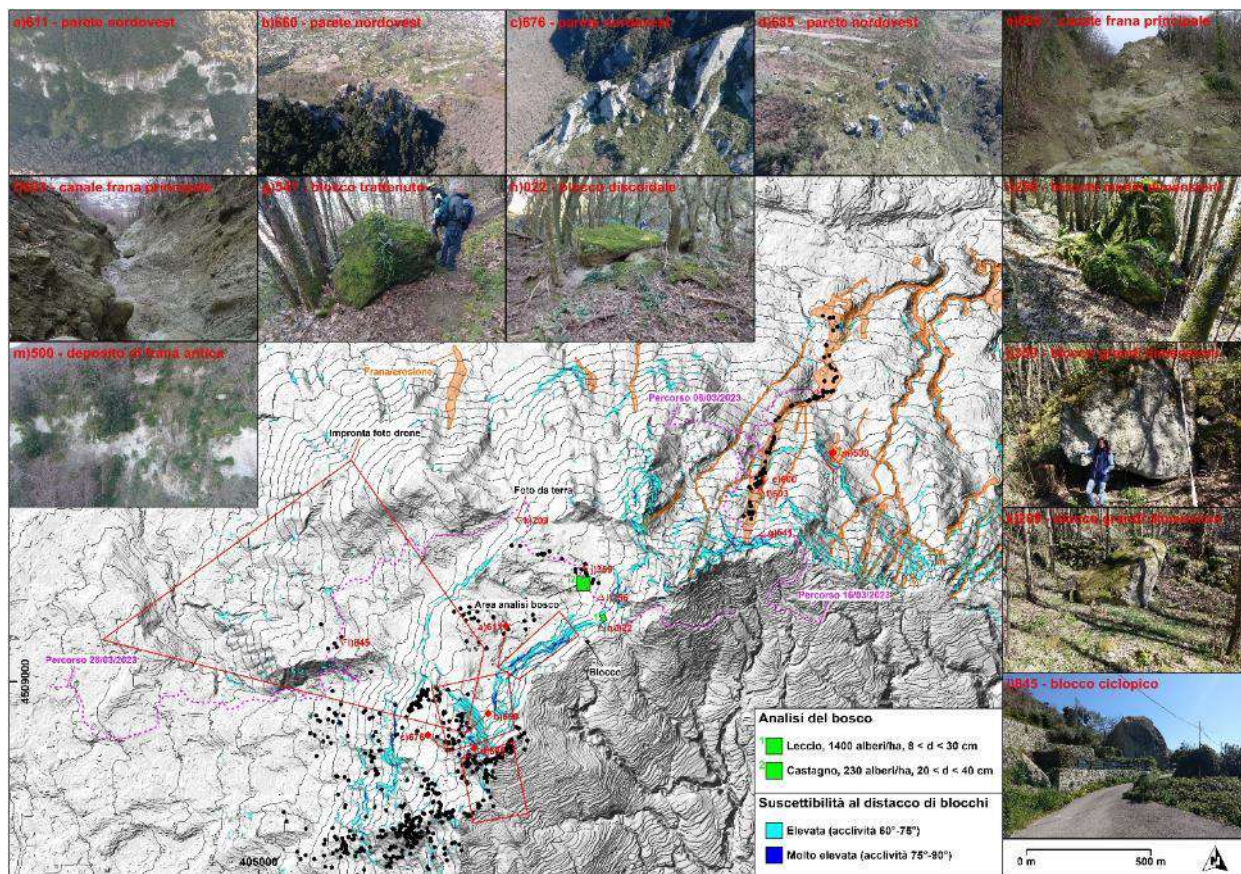


Figura 5.1.1. Carta di sintesi delle osservazioni di sito e relative interpretazioni in termini di suscettibilità al distacco di blocchi per la fascia montana del versante settentrionale del Monte Epomeo.

La Figura 5.1.2, Figura 5.1.3 e Figura 5.1.4 sono esemplificative dei risultati dell'elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite. In particolare, la nuvola di punti di Figura 5.1.2 offre una prospettiva nadirale sull'area di distacco e sulla porzione superiore dell'area di transito della frana principale permettendo di coglierne la geometria trapezoidale caratteristica dei fenomeni che evolvono verso meccanismi di valanga di detrito. Altro elemento significativo è rappresentato dalla completa assenza della vegetazione lungo l'area di innesco/propagazione del fenomeno, con implicazioni per quanto riguarda la propagazione di frane da crollo di roccia eventualmente innescatesi lungo la cornice sommitale. Dalla nuvola di punti di Figura 5.1.3, rappresentativa delle condizioni della scarpata in zona Celario, si evince la presenza di un deposito assimilabile al prodotto di uno o più eventi di frana costituito da blocchi di dimensioni metriche immersi in una matrice di colore chiaro suscettibile a fenomeni di erosione/frana, con implicazioni per quanto riguarda la suscettibilità all'innescio di frane da crollo di roccia legate al disfacimento del deposito. La nuvola di punti di Figura 5.1.4 si osservano le condizioni morfologiche del settore centrale, in

asse con la direzione di sviluppo della frana principale in zona Celario, della cornice sommitale. Di particolare significato sono le evidenze di fratturazione pervasiva del materiale costituente la cornice sommitale predisponenti rispetto al distacco di blocchi di roccia. Sebbene il modello si riferisca ad un settore specifico del versante, tali condizioni sono state riconosciute durante i sopralluoghi anche più ad ovest e in corrispondenza di scarpate sub-verticali ubicate a quote più basse.



Figura 5.1.2. Nuvola di punti derivata dall'elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite attraverso aeromobile a pilotaggio remoto: prospettiva nadirale sull'area di distacco della frana principale in località Celario.

Studi pregressi eseguiti da Alvioli et al. (2022) hanno evidenziato come la cornice sommitale sia suscettibile al distacco di blocchi di roccia e le propagazioni delle frane da crollo di roccia raggiungano in condizioni specifiche il costruito. Della Seta et al. (2011) hanno indicato come la porzione superiore del Monte Epomeo sia particolarmente suscettibile a franare sul lungo periodo anche in relazione al significativo stato di fratturazione dei corpi geologici e fenomeni di *uplift* vulcano-tettonico.

Su tale base, per quanto riguarda la cornice sommitale e le aree morfologicamente simili ubicate a quote minori, gli elementi di criticità sono da ricondurre a condizioni di distacco preferenziale di blocchi anche legate alle caratteristiche dei depositi affiorati e alle morfologie sito-specifiche, all'effetto di fenomeni pregressi connessi alla modifica dell'assetto forestale del versante che indice condizioni di propagazione preferenziale verso aree antropizzate, peraltro già

coinvolte dagli eventi recenti, alla potenziale volumetria significativa dei blocchi potenzialmente distaccabili e alla presenza diffusa di blocchi già coinvolti da fenomeni gravitativi e potenzialmente nuovamente interessabili da movimenti al variare delle condizioni al contorno. In questo senso, di particolare rilevanza sono i casi in cui i blocchi si presentano trattenuti dalla vegetazione di alto fusto, anche in considerazione delle osservazioni di diffusa degradazione della copertura forestale.



Figura 5.1.3. Nuvola di punti derivata dall'elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite attraverso aeromobile a pilotaggio remoto: prospettiva frontale della scarpata sub-verticale localizzata a monte dell'area di espansione del flusso all'uscita della "cava" Celario.



Figura 5.1.4. Nuvola di punti derivata dall'elaborazione fotogrammetrica delle immagini acquisite attraverso aeromobile a pilotaggio remoto: prospettiva frontale della scarpata sub-verticale che costituisce il settore centrale della cornice sommitale del Monte Epomeo.

5.1.1 Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio

La densità di fusti, la fitomassa e la necromassa per ettaro stimata (vedi tabella sinottica Tabella 5.1.1, plot 1) è:

- alberi vivi 2057, di cui circa il 60% di carpino nero;
- alberi morti in piedi e al suolo 971, di cui circa il 65% di castagno ucciso da cancro corticale;
- fitomassa epigea degli alberi vivi 309 Mg, di cui il 56% di carpino nero;
- necromassa legnosa epigea è circa 65 Mg, di cui l'88% di castagno.

Tutte le specie arboree presenti sono costituzionalmente ad apparato radicale fittonante (radice ad andamento verticale) più o meno pronunciato. L'impenetrabilità alle radici del substrato roccioso compatto ha determinato l'atrofizzazione del fittone a favore di radici ad andamento orizzontale che, negli alberi vegetanti sul substrato detritico della base delle rupi, mostra uno sviluppo preferenziale sulle curve di livello, piuttosto che a monte e a valle. Solo i lecci ubicati in posizione rupestre hanno approfondito il fittone nella roccia tufacea fessurata.

5.1.2 Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto

La densità di fusti e la fitomassa e necromassa per ettaro stimata (vedi tabella sinottica Tabella 5.1.1 plot 2 e 3) è:

- alberi vivi 1973, di cui 127 di carpino nero e orniello;
- alberi morti in piedi e al suolo di castagno 2674;
- fitomassa epigea degli alberi vivi 477 Mg, di cui il 92% di castagno;
- necromassa legnosa epigea è circa 90 Mg, esclusivamente di castagno.

La profondità del suolo esplorato dalle radici degli alberi non è mai superiore a 25-30 cm. Gli apparati radicali, anche in questa tipologia forestale, sono superficiali e ad andamento plagiotropo. Le ceppaie di castagno e delle matricine associate mancano di un fittone perché il substrato "tufo verde" è molto compatto e non fessurato. Gli apparati radicali superficiali sono pertanto disaccoppiati dal substrato roccioso e questa discontinuità fisico-meccanica rende le piante molto

propense allo sradicamento e al ribaltamento quando il suolo è saturo e le parti epigee sollecitate da moti turbolenti del vento.

5.1.3 Ceduo di castagno non gestito

La densità di fusti e la fitomassa e necromassa per ettaro di castagno stimata (vedi tabella sinottica Tabella 5.1.1, plot 4) è:

- alberi vivi 1471;
- alberi morti in piedi e al suolo 2886;
- fitomassa epigea degli alberi vivi 325 Mg;
- necromassa legnosa epigea 140 Mg.

L'interruzione della ceduzione ha favorito i fenomeni naturali di mortalità causati dalla competizione per le risorse (autodiradamento) fra i polloni presenti sulla stessa ceppaia e dal cancro corticale del castagno. L'incidenza della mortalità riguarda ben il 66% dei fusti censiti nel ceduo. L'incidenza dello sradicamento delle ceppaie di castagno è stimata molto inferiore al 10%. La profondità del suolo esplorato dalle radici degli alberi è sempre superiore a 70-80 cm ma non è stato possibile verificare in campo mediante scavo di trincee la profondità reale del suolo esplorato dagli apparati radicali del castagno e la loro eventuale discontinuità con il substrato roccioso tufaceo.

Alberi vivi									
Plot	Specie	Densità fusti	Area basimetrica	Altezza media	Diametro medio (dg)	Volume legnoso epigeo	Fitomassa legnosa epigea	Fitomassa legnosa ipogea	Fitomassa legnosa totale
		<i>fusti/ha</i>	<i>m²/ha</i>	<i>m</i>	<i>cm</i>	<i>m³/ha</i>	<i>Mg/ha</i>	<i>Mg/ha</i>	<i>Mg/ha</i>
1 (35 x 5)	carpino nero	1200	31.3	11.0	18.2	172.6	172.6	43.1	215.7
	castagno	286	13.5	9.9	24.5	73.3	73.3	18.3	91.6
	leccio	229	3.6	8.3	14.1	16.3	16.3	4.1	20.4
	orniello	286	2.6	9.5	10.9	13.8	13.8	3.5	17.3
	roverella	57	4.0	15.0	30.0	33.3	33.3	8.3	41.7
	totale	2057	55.1				309.3	309.3	77.3
2 <i>r=10</i>	castagno	1846	51.6	15.5	18.9	439.7	439.7	109.9	549.6
	carpino nero	127	5.3	12.8	22.9	37.1	37.1	9.3	46.4
	totale	1974	57				476.8	119.2	596.0
3 <i>r=7.5</i>	castagno	2829	40.2	12.0	13.5	265.5	265.5	66.4	331.9
4 <i>r=7.5</i>	castagno	1471	33.9	17.4	17.1	324.6	324.6	81.2	405.8
Alberi morti in piedi e al suolo									
		Densità fusti	Area basimetrica	Altezza media	Diametro medio (dg)	Volume legnoso epigeo	Necromassa legnosa epigea	Necromassa legnosa ipogea	Necromassa legnosa totale
		<i>fusti/ha</i>	<i>m²/ha</i>	<i>m</i>	<i>cm</i>	<i>m³/ha</i>	<i>Mg/ha</i>	<i>Mg/ha</i>	<i>Mg/ha</i>
1 (35 x 5)	carpino nero	114	0.8	6.5	9.6	2.7	2.7	0.7	3.4
	castagno	629	18.4	6.1	19.3	57.1	57.1	14.3	71.3
	leccio								
	orniello	171	0.9	5.7	8.2	2.5	2.5	0.6	3.2
	roverella	57	0.9	5.5	14.5	2.6	2.6	0.6	3.2
	totale	971	21.1				64.9	64.9	16.2
2 <i>r=10</i>	castagno	2674	20.1	8.2	9.8	90.3	90.3	22.6	112.9
	carpino nero								
	totale	2674	20.1				90.3	22.6	112.9
3 <i>r=7.5</i>	castagno	2094	17.0	8.2	10.2	78.9	78.9	19.7	98.6
4 <i>r=7.5</i>	castagno	2886	24.6	9.4	10.4	140.3	140.3	35.1	175.4

Tabella 5.1.1. Caratterizzazione della fitomassa e necromassa per ettaro per le tipologie forestali individuate sul versante settentrionale del Monte Epomeo.

5.2 CAVA DEL PUZZILLO FINO ALLA TOMBATURA

5.2.1 Caratteristiche essenziali

5.2.1.1 Caratteri geologici

La successione esposta lungo il vallone di Cava Puzzillo (Figura 5.2.1) è formata dai depositi epiclastici marini dell'Unità di Campomanno (CPMa) costituita da ceneri fini e grossolane, litici di lave e tufi in matrice fine argillosa verdastro-giallastra, derivanti dallo smantellamento delle successioni ignimbriche del M. Epomeo e accumulatisi come apron vulcano-sedimentari ai margini del blocco risorgente. Questi depositi mostrano una giacitura suborizzontale. Lo spessore è

di circa 100 m. In analogia con le aree attigue, i depositi marini poggiano sui tufi TME e hanno un'età compresa tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

I depositi CPMa sono ricoperti in concordanza da altri depositi marini dell'Unità Cava Leccio (VEC), formati da argille, argille siltose e sabbiose grigie e grigio-azzurrognole, con intercalazioni di lenti sabbiose, argille brune e giallo-ocracee, con lenti di sabbie. Lo spessore è di circa 50 m e hanno un'età di sedimentazione compresa tra 55.000 e 10.000 anni fa (Barra et al., 1992).

Questi depositi marini sono ricoperti in discordanza da depositi di tipo debris-flow dell'Unità Grande Sentinella (GSN) con giaciture parallele al versante. Questo deposito ricopre le faglie ad andamento NO-SE e s'ispessisce nel letto di tali strutture. I depositi GSN sono a loro volta coperti da depositi di frane, detriti di versante e coltri eluvio-colluviali.

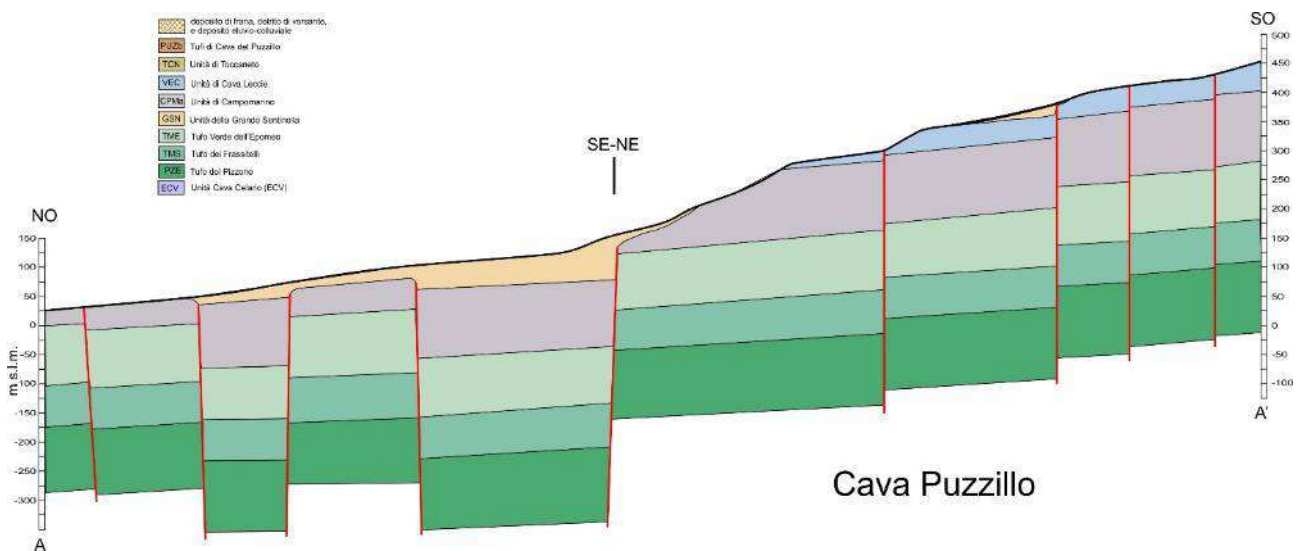


Figura 5.2.1. Sezione geologica del vallone Cava Puzzillo.

5.2.1.2 Aspetti geo-morfo-strutturali e descrizione dei dissesti

L'incisione torrentizia si sviluppa con un andamento arcuato in una zona di confine geologico, costituendo l'area una fascia di contatto tra i recenti depositi del centro eruttivo del Rotaro (lave e piroclastiti) e quelli più antichi attribuiti alla cosiddetta formazione dei tufi di cava Puzzillo e ai depositi dell'unità di Campomano. La parte alta dell'incisione ricade in una zona di affioramento dell'unità di colle Jetto e delle piroclastiti del Cretaio.

In effetti si ritiene che lo specifico andamento del corso d'acqua sia direttamente da relazionare alla recente attività vulcanica che ha condotto alla formazione degli apparati vulcanici di monte

Rotaro e del Montagnone, che di fatto costituiscono ostacolo deviando repentinamente l'orientazione del corso d'acqua.

Le caratteristiche dell'alveo, con una prevalente morfologia a V molto stretta e con versanti talora particolarmente acclivi (anche $>70^\circ$), conferma la natura delle formazioni costituenti l'ossatura dei versanti sia in sinistra che in destra.

In entrambi i casi si tratta di formazioni definibili sostanzialmente litoidi con vario grado di litificazione e, generalmente, da classificare quali "tenere". Infatti, se i tufi di monte Pozzillo possono dirsi anche discretamente litificati, i depositi epiclastici della formazione di Campomanno presentano a livelli un discreto livello di litificazione

Nelle figure dei punti singolari e nelle sezioni geometriche riportate nel Capitolo 3 sono rappresentati i profili trasversali illustranti le caratteristiche geometriche dell'alveo nelle differenti sezioni ritenute chiave procedendo dalla sommità fino all'inizio del tratto tombato. Si evidenzia che l'altezza di versanti può essere anche notevole, raggiungendo a volte oltre 70 m.

Le osservazioni su foto aeree del passato (1955) nonché i confronti con quanto riportato nella cartografia geologica e dalle notizie bibliografiche le analisi sviluppate attraverso un approccio "expert-based", evidenziano la sussistenza di una franosità del passato più o meno recente che ha coinvolto in modo specifico le alteriti, i suoli e gli scarsi depositi da caduta, secondo meccanismi tipo "scorrimento planare" su versanti ad elevata acclività, solo occasionalmente evolventi a cinematiche valanghivo.

In effetti queste caratteristiche cinematiche deducibili dalla franosità del passato possono essere attribuite anche agli eventi che hanno coinvolto i versanti della cava nel 2022.

I versanti della cava sono stati estensivamente coinvolti in fenomenologie di frana, secondo meccanismi di scorrimento traslativo, di masse costituite da coltri alteritiche e detritiche superficiali nonché da suoli, ivi compresi i carichi vegetali, che si sono accumulate alla base dei versanti. I rilievi hanno messo in evidenza che queste masse detritiche sono state per buona parte coinvolte nei processi erosionali connessi agli eventi dello scorso novembre, sebbene cospicue porzioni relitte siano ancora presenti lungo le linee di deflusso.

Degli oltre 50 eventi franosi cartografati, solo alcuni hanno avuto carattere valanghivo. È da evidenziare che in diversi casi i fenomeni sembrano essersi attivati per gli effetti erosivi e di scalzamento indotti dalla piena di alveo. Inoltre, non è possibile escludere che i corpi di frana

abbiano condotto alla formazione di dighe temporanee, e che si possano essere attivati locali fenomeni di colate detritiche per erosione nelle tratte di più elevata pendenza dell'alveo, che comunque è sempre ben confinato.

In ogni caso lungo tutto l'alveo si osserva una diffusa condizione erosiva che ha indotto un elevato trasporto solido, anche se l'alveo del Puzillo è l'unico di fatto a non aver subito fenomeni di occlusione dell'imbocco.

Durante l'evento del 10 novembre 2009 (cfr. § 2.3) questo alveo ha subito processi erosionali e di frana meno intensi, in quanto è stato interessato solo marginalmente dal fenomeno alluvionale, che ha innescato 11 frane lungo i versanti più acclivi nel tratto precedente l'immissione nell'alveo tombato.

Allo stato attuale, lungo l'alveo sono presenti opere miranti alla mitigazione degli effetti erosivi delle correnti, costituite da gabbionate e materassi antierosione che di fatto hanno stabilizzato, almeno per i tratti di intervento, gli abbondanti depositi di fondo. Lungo alcune tratte, le reti metalliche dei materassi presentano danni indotti dai flussi iperconcentrati e ad elevata velocità.

Relativamente ai depositi di fondo, dato di particolare interesse sia per le simulazioni numeriche sia perché direttamente funzionale alla progettazione di eventuali opere, è da evidenziare che lo spessore effettivo non è allo stato conosciuto, ma è da ritenersi, nella tratta d'alveo a minore pendenza, caratterizzato da valori fino ad alcuni metri, considerando le caratteristiche morfologiche e costitutive dell'alveo.

Una porzione del bacino imbrifero è stata oggetto nell'anno 2022 di un'attività di progettazione di primi interventi di messa in sicurezza, giunta nell'anno 2022 al livello esecutivo, basata su indagini destinate alle verifiche degli spessori ritenuti mobilizzabili lungo il corso ed i versanti dell'alveo, attraverso fioretture (realizzate mediante prove penetrometriche leggere DL030) e prospezioni sismiche di superficie.

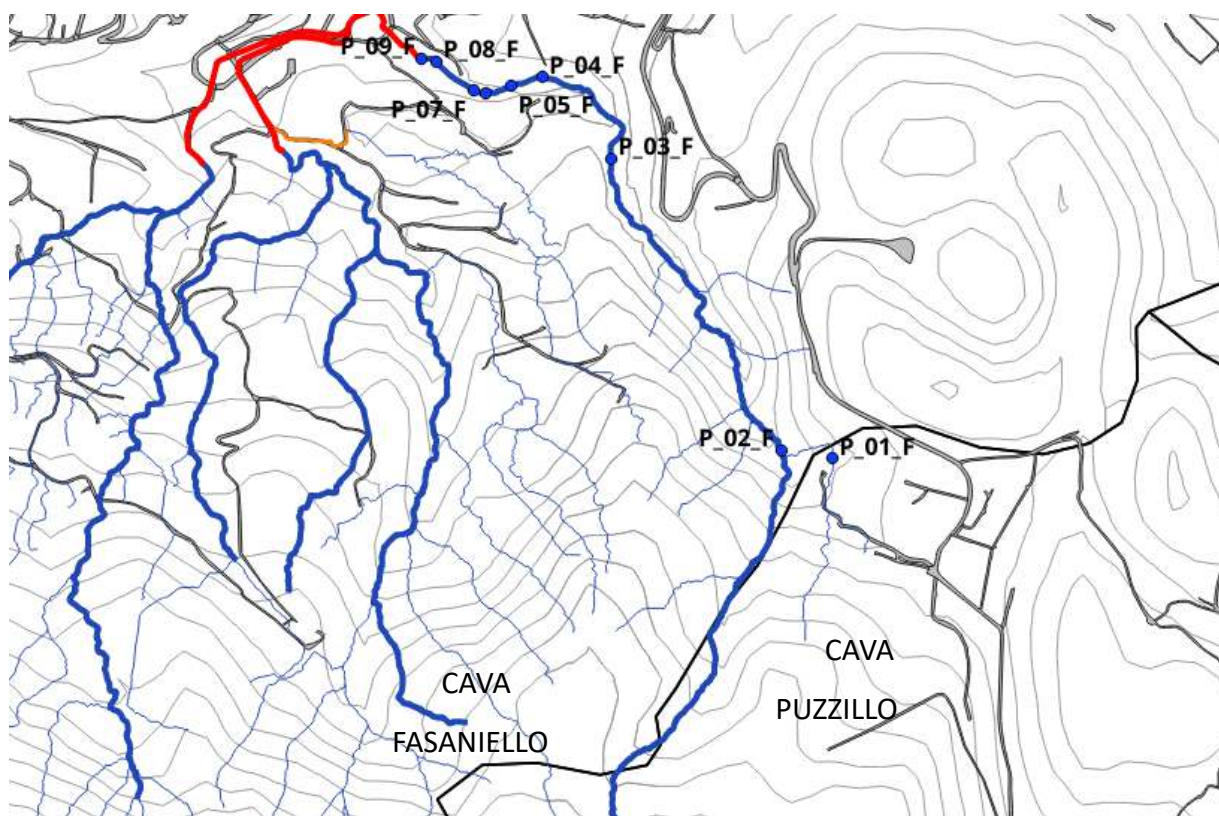
Tralasciando le modellazioni conseguenti, si evidenzia che lungo i versanti dell'alveo e nelle zone di interfluvio è stata definita la presenza di coperture il cui spessore è stato valutato tra i pochi decimetri fino a circa un metro.

Gli interventi progettati, che secondo gli indirizzi generali dovrebbero tendere "alla eliminazione delle locali situazioni di pericolo, concorrendo al ripristino della capacità di deflusso delle sezioni, al recupero della funzionalità delle opere idrauliche, alla riqualificazione

dell'ambiente fluviale”, prevedono una serie di opere diversificate miranti alla prevenzione delle “colate di fango provenienti da monte” per cui si propone “il risanamento del versante in frana attraverso opere di contenimento e sistemi di monitoraggio per il controllo dell'evoluzione dei fenomeni di dissesto e il ripristino della sezione idraulica”.

Questi obiettivi, secondo i progettisti, dovrebbero essere raggiunti attraverso interventi di pulizia dell'alveo e riparazione delle gabbionate esistenti poste lungo l'asse fluviale, la messa in opera di barriere flessibili in rete d'acciaio e vasche di accumulo in gabbionate metalliche, nonché opere di protezione dei versanti spondali, da realizzare con tecniche di ingegneria naturalistica e con terra rinforzata rinverdibile.

5.2.2 Punti singoli



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



P_1_F. Piazzale realizzato con terreno di riporto in corrispondenza della zona sommitale della sponda in destra idraulica. Il terreno di riporto non presenta alcuna opera di contenimento e presenta importanti dislocazioni lungo il versante che determinano accumulo di materiale all'interno dell'alveo inficiandone l'officiosità. In aggiunta il piazzale risultante dal riporto del terreno ha modificato il sistema di raccolte delle acque in destra idraulica del Puzillo.



P_2_F. Vista da valle, prodotta in tempi anteriori al 26 novembre del 2022, di una vasca di accumulo di altezza pari a circa 3 m e sedime di circa 6x10 mq, realizzata in corrispondenza dell'alveo con gabbioni metallici. L'alveo in

questo punto presenta notevoli criticità connesse alla forte pendenza dei pendii e alla difficoltà nell'accesso.



P_3_F. Ortofoto che evidenzia materiale derivante da fenomeni di scorrimento superficiale lungo i pendii e accumulato sul fondo dell'alveo. Lo scorrimento lungo gli alvei si compone di terre, rocce e materiale ligneo oltre ad una certa componente organica.



P_4_F. Gabbionate metalliche realizzate nell'intervento post frana 2009 per riprofilare l'alveo in corrispondenza delle sponde; è evidente la massiccia presenza di materiale di accumulo e vegetazione proveniente dalle pareti laterali o dal trasporto in condizioni di forte afflusso meteorico. Le gabbionate hanno in parte resistito alla forte azione di

erosiva degli eventi verificatesi dalla loro realizzazione.

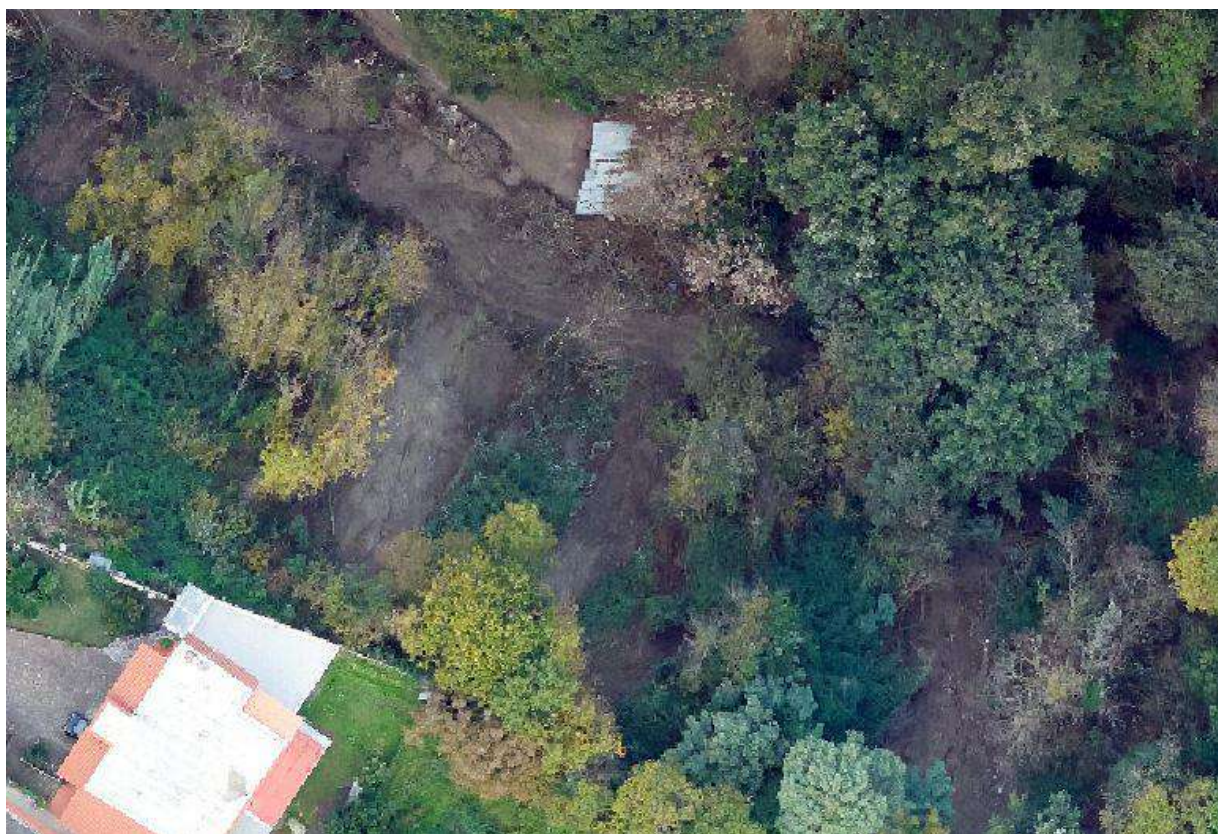


P_5_F. Gabbionate metalliche realizzate nell'intervento post frana 2009 per riprofilare l'alveo e disposte oltre che sulle pareti anche sul fondo. È evidente la massiccia presenza di materiale di accumulo e di origine antropica proveniente dalle pareti laterali o dal trasporto in condizioni di forte afflusso meteorico. La pendenza ha esaltato l'azione erosiva del flusso di acqua e fango determinando, rispetto alla sezione riportata nella foto precedente, lo sradicamento della rete metallica a doppia torsione delle gabbionate presenti sul fondo dell'alveo mentre quelle presenti sulle sponde hanno in parte resistito alla forte azione di erosiva degli eventi verificatesi.



P_6_F. Evidenza della rottura della rete a doppia torsione dei gabbioni metallici. Si nota il forte mescolamento di

materiale lapideo e legnoso alla struttura di gabbioni riposta sul fondo alveo.



P_ 7_F. Ortofoto che mostra lo scorrimento superficiale dei versanti laterali con deposito del materiale sul fondo dell'alveo. Lungo queste sezioni non sono state riscontrate le gabbionate metalliche realizzate a monte a seguito dell'evento 2009



P_ 8_F. Scorrimenti superficiali dei versanti laterali terrazzati mediante muri a secco, parracine.



P_9_F. Imbocco dell'alveo a sezione aperta in corrispondenza della sezione di monte del tratto a sezione chiusa ovvero tombato; la sezione è chiusa tramite un solaio in putrelle e tavelloni utilizzato per l'accesso pedonale alle abitazioni. La luce libera è fortemente ridotta.

5.2.3 Criticità

Con riferimento al descritto quadro conoscitivo, vengono evidenziate specifiche condizioni di criticità che devono essere tenute in considerazione per indirizzare negli obiettivi degli interventi da progettare. Preliminarmente si evidenzia che l'analisi morfologica non ha evidenziato specifiche criticità dell'andamento dell'alveo fatta eccezione dell'imbocco del tratto tombato che verrà successivamente descritto. Inoltre, gli approfondimenti svolti finalizzati alla definizione di possibili aree sorgente di fenomeni di instabilità evolvuti a fenomeni valanghivi o a colate detritiche (cfr. capitolo modellazioni), hanno evidenziato, di fatto la limitata rilevanza delle fenomenologie. Considerati gli assetti geomorfologici presenti alle quote più elevate gli scenari di riferimento definiscono masse comunque defluenti in modo confinato nell'alveo incassato della Cava Puzzillo.

- a) La principale criticità è da connettere alla presenza di masse relitte lungo l'alveo potenzialmente suscettibili di mobilitazione come conseguenza di significative correnti in alveo, sia come trasporto solido sia come colate detritiche nei tratti più pendenti.

- b) Il segmento altimetricamente superiore dell'impluvio di Cava Puzzillo è ricoperto da ceduo di castagno prevalentemente non gestito che vegeta su suoli superficiali con pendenze medie intorno a 25°. Questa copertura ha mostrato propensione allo sradicamento e al ribaltamento delle piante a causa dello sviluppo suborizzontale delle radici e assenza del loro ancoraggio nella matrice rocciosa. Le condizioni di stabilità meccanica degli alberi sono ancora più critiche in corrispondenza di cornici e di scarpate subverticali e/o ad elevata acclività. Le condizioni di criticità legate al sovraccarico di biomassa epigea e di precario ancoraggio ricorrono lungo tutto l'asse fluviale. Nella porzione medio-bassa del bacino, dove la copertura forestale a leccio si mescola o si alterna ad altre latifoglie mesofile decidue (castagno, roverella, carpino nero, orniello), le condizioni di stabilità biomeccanica sono a tratti compromesse dall'elevato carico di biomassa epigea riconducibile alla maggiore profondità e fertilità del suolo. Una ulteriore criticità è rappresentata da alberi vivi e alberi morti presenti sul fondo dell'impluvio. Presenza di scarpate di frana attualmente esposte
- c) Una significativa criticità su cui è necessario sviluppare indagini e approfondimenti di dettaglio è quella relativa alla presenza in destra alveo ad una quota di circa 230 m s.l.m. di un esteso ripiano antropico indotto, come definibile da analisi multi-temporale, da successive movimentazioni di terra anche molto recenti. L'originaria linea di deflusso è stata modificata nel tempo, ed oggi risulta di fatto limitatamente definibile. In tale situazione, ciò consentirebbe l'infiltrazione delle acque nei depositi ammassi di riporto, può avere conseguenze anche sulla stessa stabilità degli ammassi detritici. In effetti gli eventi del novembre 2022 hanno instabilizzato masse superficiali di bordo del rilevato che si sono riversate verso l'alveo. In un'ipotesi di movimentazione più significativa del prisma detritico, si potrebbero determinare condizioni di occlusione dello stesso.
- d) Sezioni inadeguate in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato

5.3 CAVA ERVANIELLO (O FASANIELLO) – CAMPOMANNO - CAVA NEGROPONTE FINO ALLA TOMBATURA

5.3.1 Caratteristiche essenziali

5.3.1.1 Caratteri geologici

La successione esposta nella zona Cava Fasaniello-Ervaniello (Figura 5.3.1) è formata alla base dai tufi di Pizzone (PZE), seguita dai tufi dei Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). I depositi epiclastici marini dell'Unità di Campomanno (CPMa) ricoprono i tufi TME. Questi depositi sono costituiti da ceneri fini e grossolane, litici di lave e tufi in matrice fine argillosa verdastro-giallastra, derivanti dallo smantellamento delle successioni ignimbriche del M. Epomeo e accumulatisi come apron vulcano-sedimentari ai margini del blocco risorgente. Questi depositi mostrano una giacitura suborizzontale nella parte centrale e settentrionale, mentre immergono verso sud di 20-15° insieme ai sottostanti tufi nella parte meridionale dell'area. Lo spessore è di circa 100 m. I depositi CPMa sono ricoperti da altri depositi marini dell'Unità Cava Lecce (VEC), formati da argille, argille siltose e sabbiose grigie e grigio-azzurrognole, con intercalazioni di lenti sabbiose, argille brune e giallo-ocracee, con lenti di sabbie. Lo spessore è di circa 50 m e hanno un'età di sedimentazione compresa tra 55,000 e 10,000 anni fa (Barra et al., 1992). Infine, l'intera successione è ricoperta da depositi di frane, detriti di versante e coltri eluvio-colluviali.

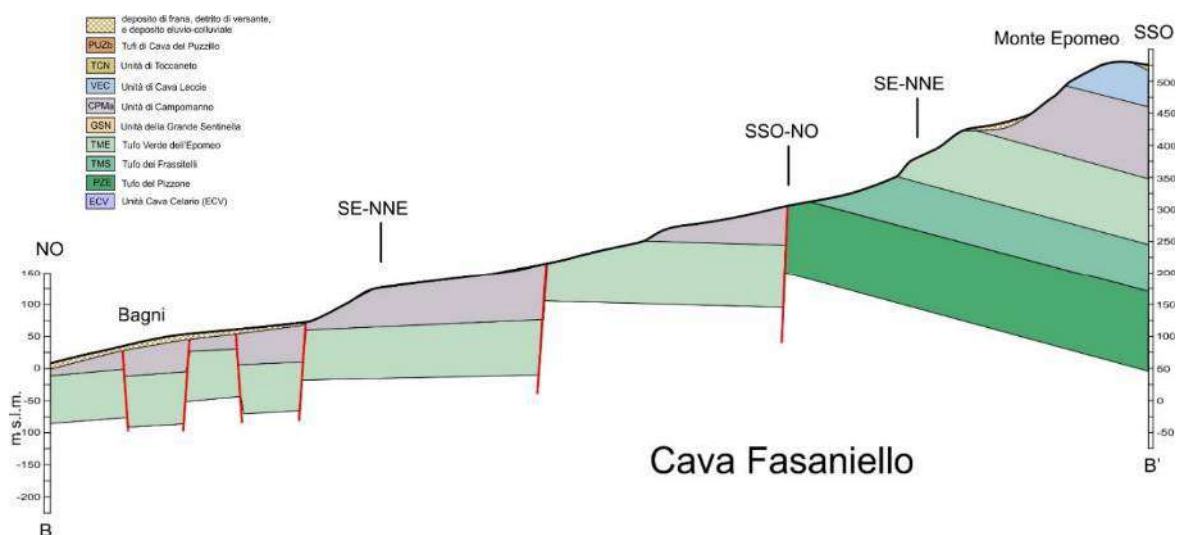


Figura 5.3.1. Sezione geologica del vallone Ervaniello

5.3.1.2 *Aspetti geo-morfo-strutturali e descrizione dei dissesti*

Come può osservarsi anche in Figura 5.1.1, le incisioni torrentizie si sviluppano con un articolato andamento, indotto dall'assetto lito-strutturale, in un'area caratterizzata dal prevalente affioramento dei depositi dell'unità di Campomanno nelle due litofacies riconosciute (CPMa e CPMb). Con riferimento alla sezione della carta geologica Figura 5.3.1, la parte alta del bacino, attribuibile specificamente al solo Fasaniello, è per la gran parte impostata nei depositi tufacei che caratterizzano la cornice epomeica (tufo del Pizzone, Frassitelli e del Monte Epomeo), nella zona ribassati rispetto a quelli del blocco epomeico più elevato.

In effetti una faglia a carattere normale (in Figura 5.3.1 indicata con tratto rosso) connessa alla risorgenza della struttura mette a contatto le due formazioni ad una quota di circa 400 m s. l.m.. Indotti dalla presenza di questo contatto sono presenti specifici andamenti del reticolo idrografico, quale quello rettilineo del tratto iniziale dell'alveo del Campomanno. È ancora da sottolineare che la parte bassa dell'alveo del Fasaniello potrebbe essere impostata su di una faglia normale con analoga direzione di quella precedentemente descritta, così come indicato nella cartografia della Regione Campania, sebbene i riscontri di sito non abbiano trovato effettive giustificazioni geometriche. In tutti i casi, a luoghi, sono state individuate tracce palesi di attività fumarolica, possibile indizio della presenza della struttura tettonica e di una conseguente zona di fratturazione. Completa il quadro descrittivo la presenza di antichi depositi da colata detritica, a debole litificazione, il cui spessore è stato valutato in circa 2-3 m. Sulla base degli elementi costitutivi e della loro posizione, a questi depositi viene attribuita nella cartografia geologica un'età di circa 5000 anni.

Gli assetti geologici descritti condizionano le caratteristiche degli alvei nelle differenti zone di affioramento delle formazioni. Infatti, nelle aree incidenti i depositi dell'Unità di Campomanno gli alvei risultano approfonditi e caratterizzati da una morfologia a V, anche molto stretta, e con versanti talora particolarmente acclivi ($>70^\circ$). Infatti, i detti depositi epiclastici di Campomanno si presentano con un discreto livello di litificazione che consente anche la formazione di pareti verticali. Inoltre, è da segnalare la presenza di alcuni salti morfologici in alveo, che inducono la presenza di singolari forme erosive e docce di erosione.

Relativamente al reticolo idrografico appare significativo evidenziare che le analisi morfologiche evidenziano la sussistenza di una condizione “anomala” costituita dalla vicinanza dell’alveo del Negroponte a quello limitrofo del Sinigallia, che verrà successivamente descritto. L’esile cresta di separazione nonché la differente quota di fondo alveo, che vede quello del Negroponte ad una quota più elevata di circa 30 m, deve essere oggetto di approfondimento, al fine di definire eventuali percorsi anomali dei deflussi, anche a seguito di interventi antropici. Inoltre, è particolarmente rilevante evidenziare che le analisi topografiche e geomorfologiche sviluppate nelle varie cartografie disponibili (cfr. Capitolo 4 -articolazione dei bacini basati su DTM pre e post 2022 e Capitolo 2 Analisi geomorfologiche) definiscono l’influenza degli apparati stradali sulla circolazione delle acque superficiali. Di fatto questi, in sistemi geologici dotati di non elevata permeabilità, possono svolgere la funzione di vero e proprio canale di gronda recapitando le acque in punti singolari, specie se presente il manto bituminoso.

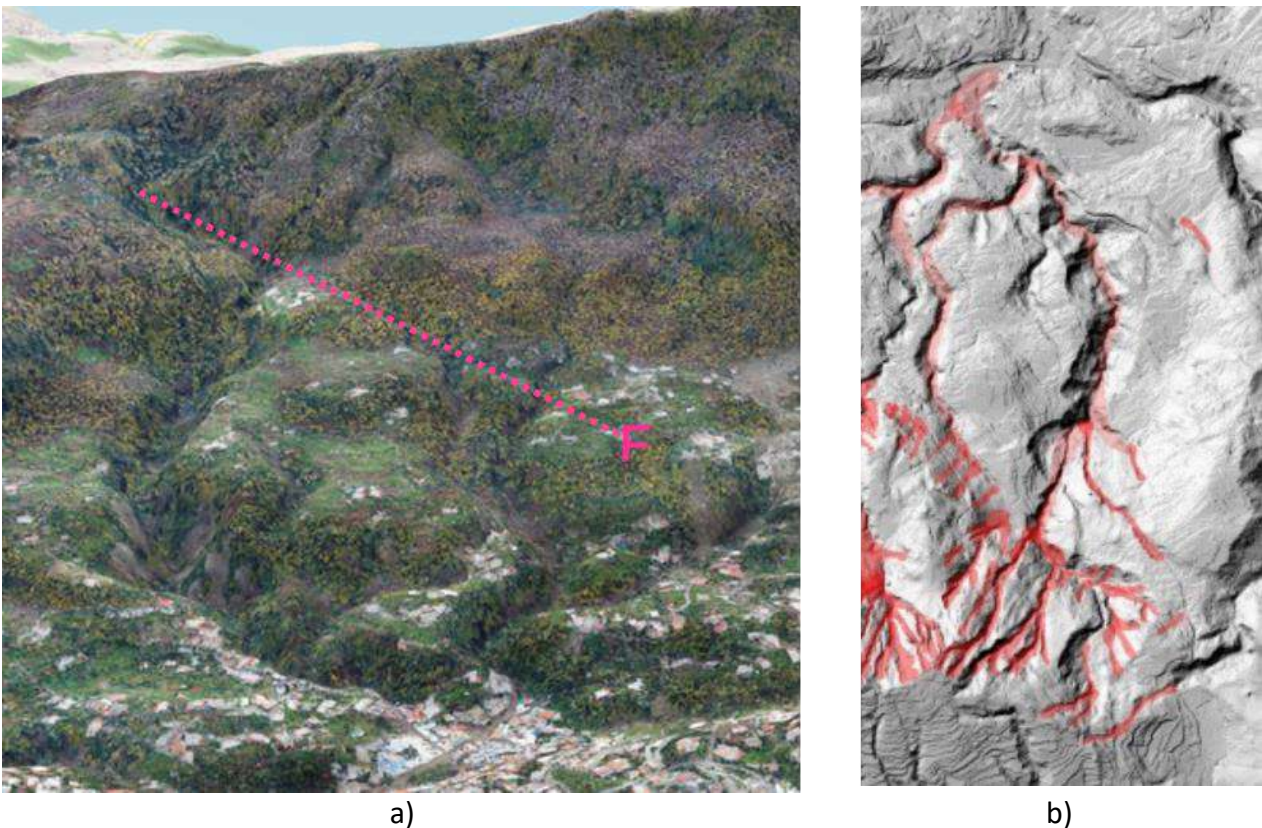


Figura 5.3.2 a) Veduta a volo di uccello dell’area del bacino imbrifero del Fasaniello, Capomanno e Negroponte; b) Stralcio planimetria illustrante morfologie da connettere ad eventi franosi pregressi

Nella zona in esame sussiste un tracciato stradale che ad una quota tra circa 300 e 260 m s.l.m. recapita dal bacino Fasaniello verso il Negroponte e il Sinigallia. Tracce di deflussi anomali si

manifestano in sito come solchi di erosione e riversamenti in punti singolari, sia negli alvei, sia lungo i versanti aperti in zone di curva o di "corda molle".

Nel quadro morfologico è inoltre da segnalare a più livelli da una quota di circa 300 m, la presenza di superfici di abrasione, che inducono un caratteristico aspetto spianato alle aree sommitali di interfluvio. In quelle presenti a quota 250 e 300 m sono stati segnalati anche depositi marini.

Gli approfondimenti svolti e le osservazioni su foto aeree del passato (1955) nonché i confronti con quanto riportato nella cartografia geologica 1:100000-Regione Campania e dalle notizie bibliografiche, nonché le analisi sviluppate attraverso gli studi geomorfologici eseguiti (Figura 5.3.2 b), evidenziano la sussistenza di una franosità del passato più o meno recente che ha coinvolto in modo specifico le alteriti, i suoli e gli scarsi depositi da caduta, secondo meccanismi tipo "scorrimento planare" su versanti ad elevata acclività, in alcuni casi alimentanti colate detritiche.

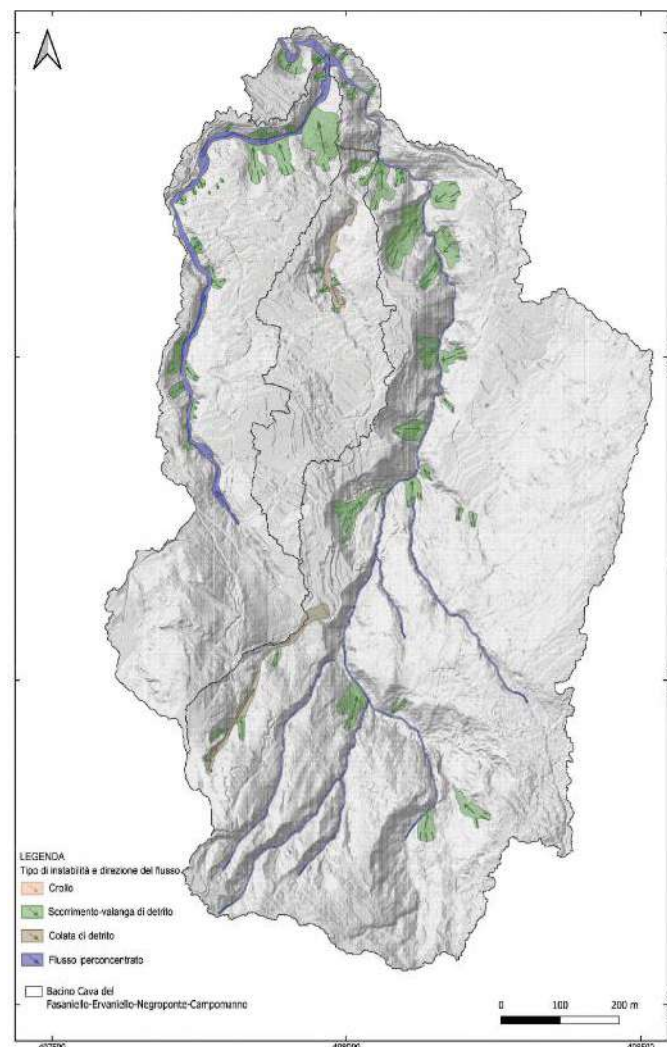


Figura 5.3.3 . Bacino Cava Fasaniello, Cava Campomanno e cava Negrofonte: individuazione e classificazione dei

principali fenomeni di dissesto.

In effetti queste caratteristiche cinematiche deducibili dalla franosità del passato possono essere attribuite anche agli eventi che hanno coinvolto i versanti della cava nel 2022. Con riferimento alla Figura 5.3.3, anche in questo caso, come per la cava Puzzillo, i versanti dell'incisione sono stati coinvolti in fenomenologie di frana, secondo meccanismi di scorrimento traslativo di masse costituite da coltri alteritiche e detritiche superficiali nonché da suoli, ivi compresi i carichi vegetali, masse che si sono accumulate alla base dei versanti. I rilievi hanno messo in evidenza che questi accumuli sono stati per buona parte coinvolti nei processi erosionali connessi agli eventi dello scorso novembre, sebbene sussistano cospicue porzioni relitte lungo le linee di deflusso.

Considerate le caratteristiche morfologiche delle incisioni, non sono state riconosciute evoluzioni in vere e proprie valanghe e colate detritiche. È però da osservare che una delle instabilità a quota 300 m s.l.m. è da connettere direttamente al recapito delle acque indotto dalla presenza del tracciato stradale prima descritto.

Il conseguente imponente trasporto solido costituito, oltre che dai detriti, da un particolarmente cospicuo carico vegetale, ha indotto l'ostruzione dell'imbocco e la conseguente tracimazione dei flussi lungo gli assi viari, nonché l'accumulo nelle anse torrentizie a monte dell'imbocco di oltre 4000 m³ di materiale solido di varia natura.

Durante l'evento del 10 novembre 2009 (cfr. § 2.3) questo alveo ha subito processi erosionali e di frana abbastanza intensi, consistiti in circa 70 frane con volumi compresi tra 200 e 1000 m³, innescate dai versanti spondali e in genere arrestate alla base degli stessi.

Così come mostrato nel paragrafo seguente dei punti singolari, lungo l'alveo sono presenti opere miranti alla mitigazione degli effetti erosivi delle correnti, costituite da soglie in muratura di varia epoca, ma che si ritengono prevalentemente messe in opera successivamente agli eventi del 1910.

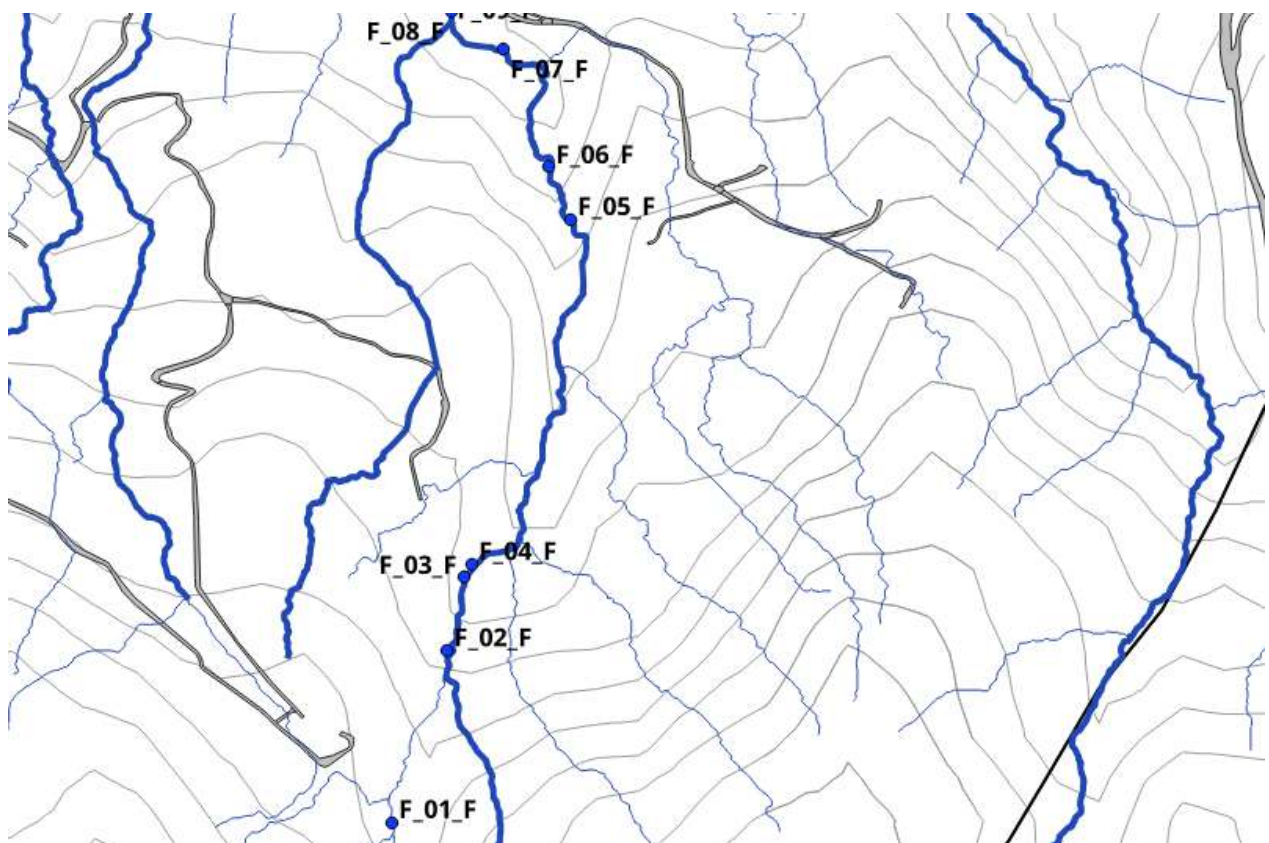
Queste, di altezza variabile, sono collocate nelle zone di quota già bassa delle vallecole, di fatto a nei tratti finali prima delle confluenze. Alcune di queste opere sono state rilocalizzate solo a seguito dei fenomeni erosivi indotti dagli eventi del 26 novembre 2022, in quanto obliterate dagli accumuli detritici e dalla vegetazione.

Nell'area di questo bacino imbrifero non risultano eseguite opere successivamente agli eventi del 2009, così come non sono disponibili indagini e progetti di intervento recenti. Si ha solo notizia della programmazione di un intervento (identificato con codice 25_CTa) da attuare nell'immediatezza, che dovrebbe provvedere al consolidamento e al ripristino della funzionalità idraulica degli alvei Negroponte (foce), Fasaniello o Ervaniello. In definitiva, non si dispone di dati orientativi relativamente sia agli spessori delle coperture sia alla naturali depositi presenti in alveo.

Relativamente a questi, richiamando quanto detto relativamente agli accumuli indotti dall'ostruzione che formano rilevanti prismi sedimentari, si evidenzia che, considerate le morfologie e la presenza di briglie e soglie, lo spessore in alveo dei depositi può raggiungere valori anche di diversi metri.

5.3.2 Punti singoli

5.3.2.1 Cava Ervaniello o Fasaniello fino alla tombatura



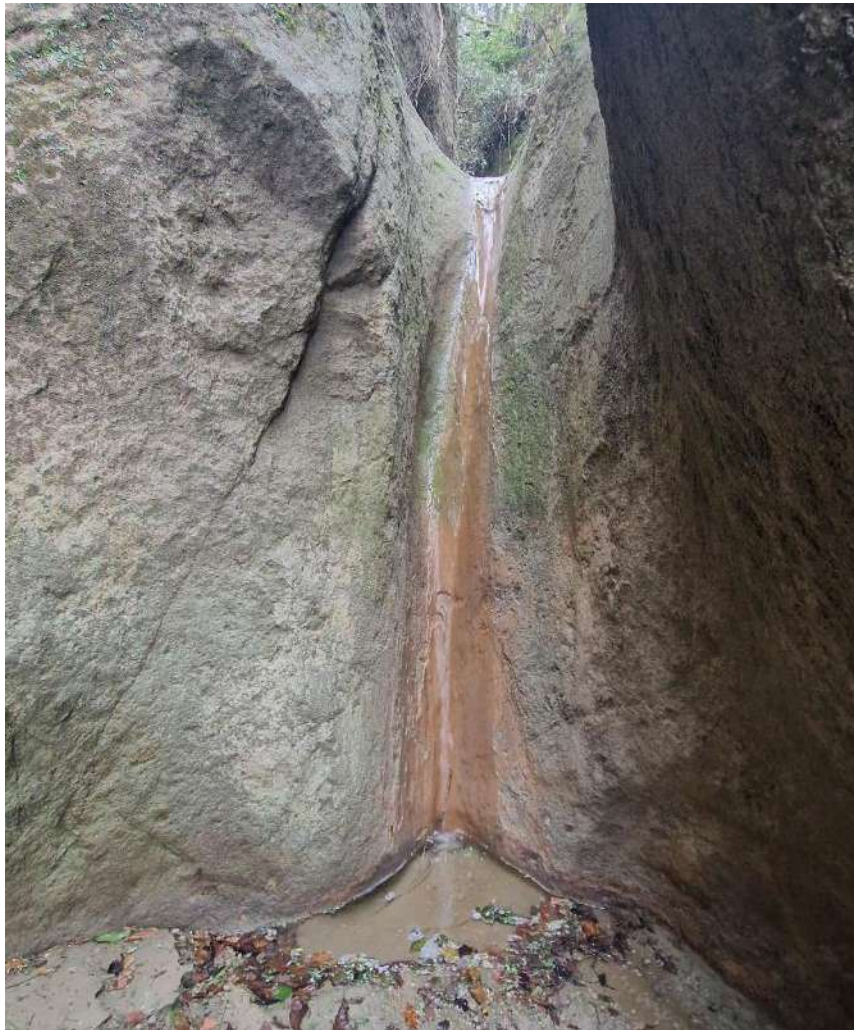
Localizzazione punti ritenuti di interesse.



F_1_F. La foto illustra la forte azione erosiva generata dall'afflusso idraulico in corrispondenza di importanti spessori di depositi probabilmente risalenti o in parte confluiti durante l'evento meteorico del 26 Novembre. I depositi hanno duplice natura: trasporto e dislocazione dei pendii naturali testimonianze dall'assenza di vegetazione lungo le sponde. Secondo anche quanto riportato da testimonianze di abitanti del posto il tratto era completamente sommerso prima dell'evento tant'è che emergono le gavete delle briglie. Tramite il DTM viene stimato un valore medio di deposito al di sopra della gaveta di circa 5 m.



F_2_F. Costruzioni poste in corrispondenza del pendio fortemente acclive che ha subito importanti fenomeni di scivolamento della corte superficiale. L'intervento di messa in sicurezza del pendio dovrà tenere conto anche dei profili di legittimità delle costruzioni.



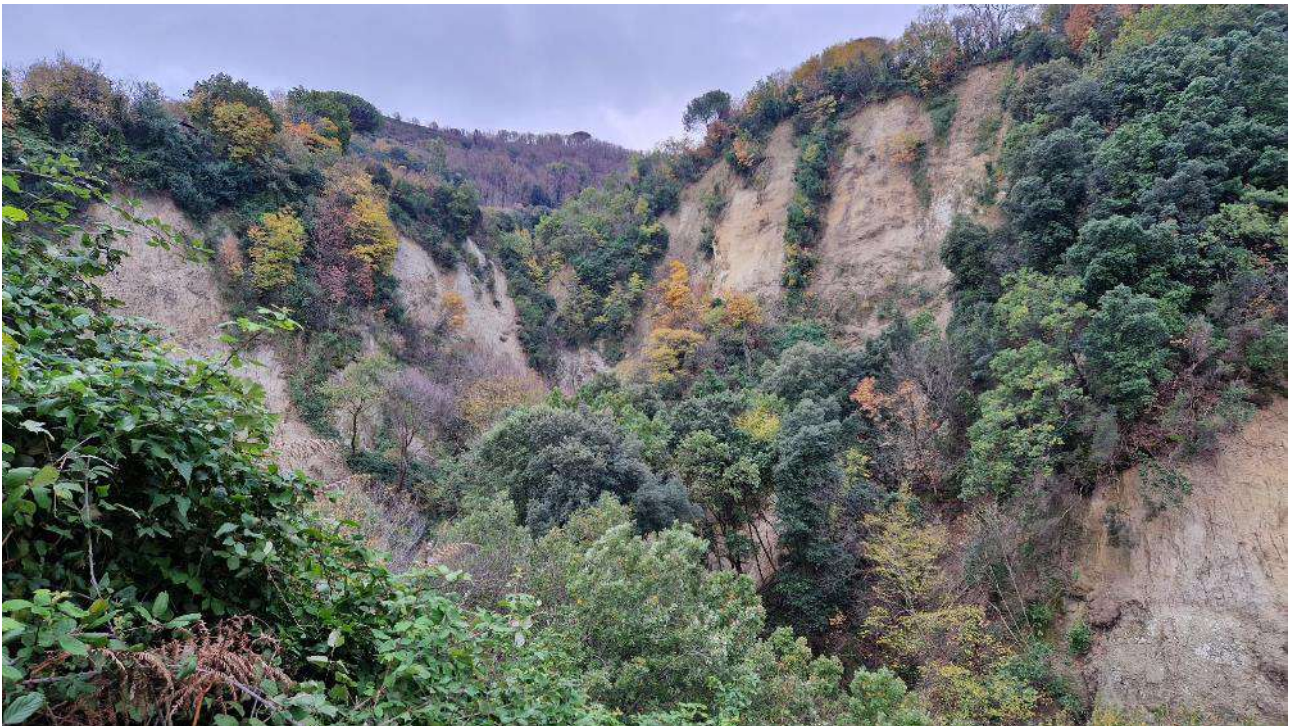
F_3_F. Salto naturale altezza circa 3 metri con forte erosione dei blocchi tufacei.



F_4_F. Fondo alveo in tubo scavato dall'azione erosiva dell'afflusso idraulico. È probabile l'alterazione della roccia da parte della componente idrotermale.



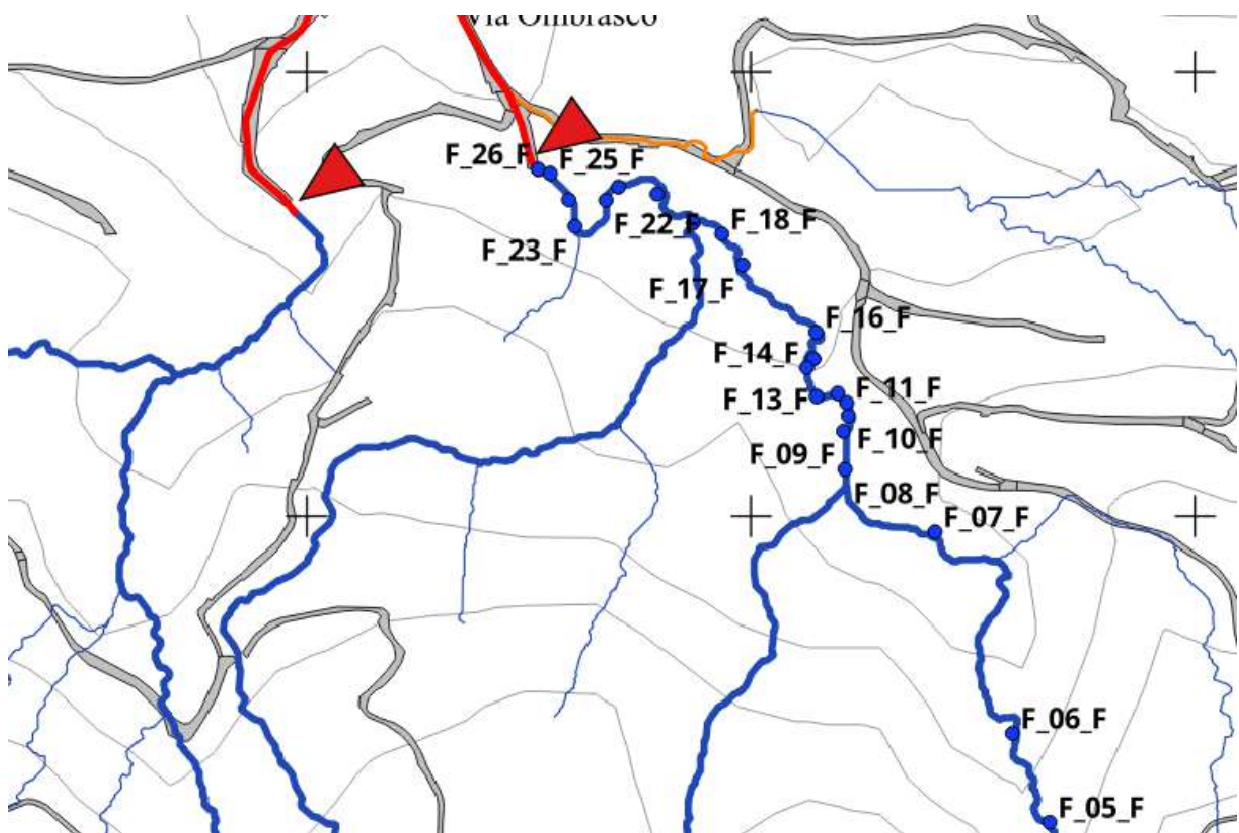
F_5_F. La foto mostra un notevole salto idraulico in corrispondenza dell'edificio di colore bianco. Procedendo verso valle le pareti acclivi dell'alveo sono caratterizzate da fenomeni di scorrimento superficiale diffusi e conseguenti importanti depositi nel fondo.



F_6_F. Pareti acclivi caratterizzate da fenomeni di scorrimento superficiale diffusi e conseguenziali depositi di materiale detritico e ligneo nell'alveo.



F_7_F. Pareti acclivi caratterizzate da fenomeni di scorrimento superficiale diffusi e conseguenziali depositi di materiale detritico e ligneo nell'alveo.



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



F_ 8_F. Confluenza tra Fasaniello e Campomanno con evidenti accumuli di terreno e vegetazione. La foto inquadra il tratto del Campomanno verso monte con una evidente incisione molto stretta in materiale tufaceo compatto.



F_9_F. Punti di restrizione dell'alveo con accumulo di materiale.



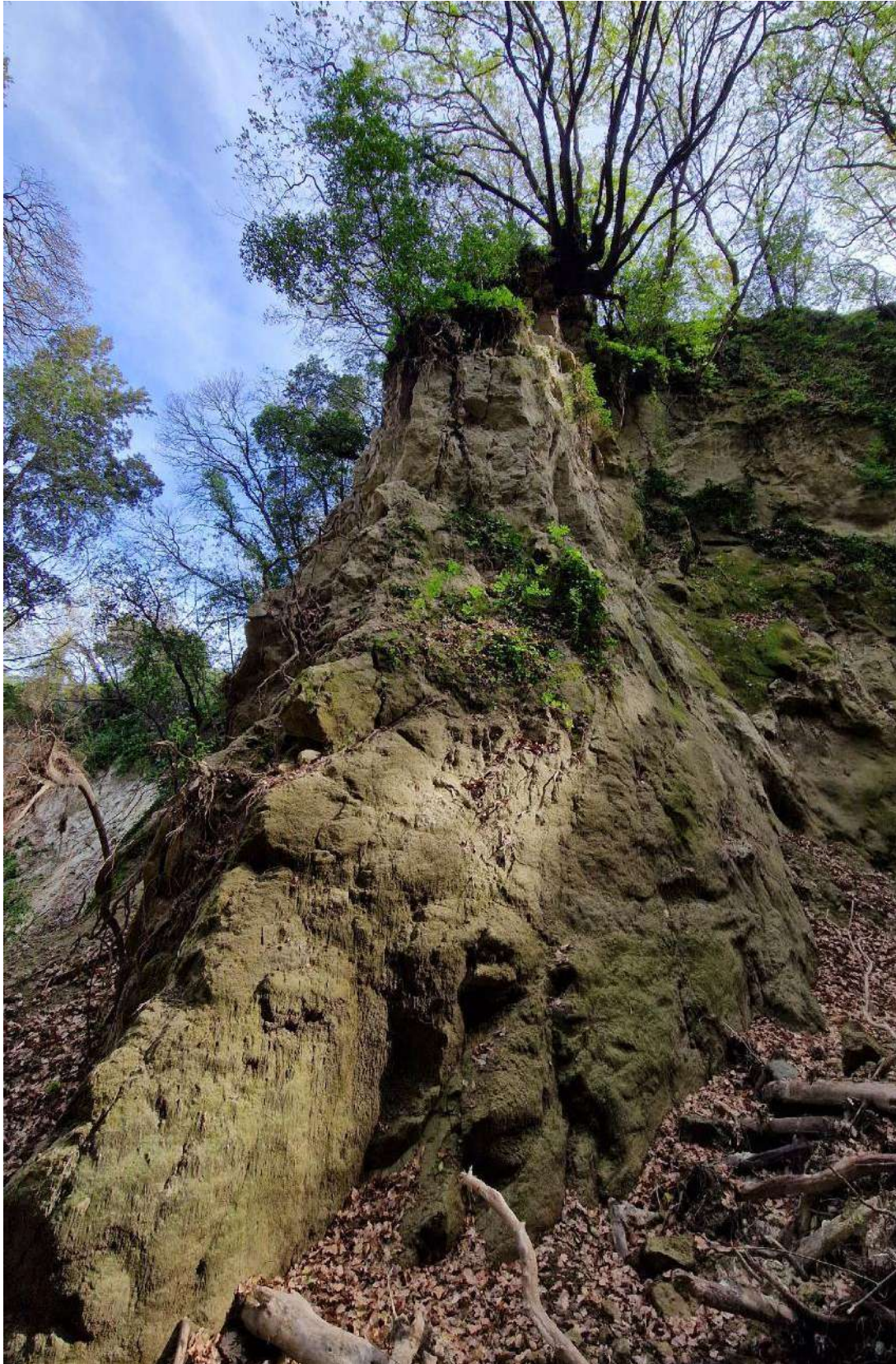
F_10_F. La foto mostra una sezione del Fasaniello caratterizzata da una maggiore larghezza idraulica ma da forti acclività dei pendii che depositano notevoli quantità di materiale all'interno dell'alveo. Il materiale accumulato è stimato nell'ordine di 4 metri circa.



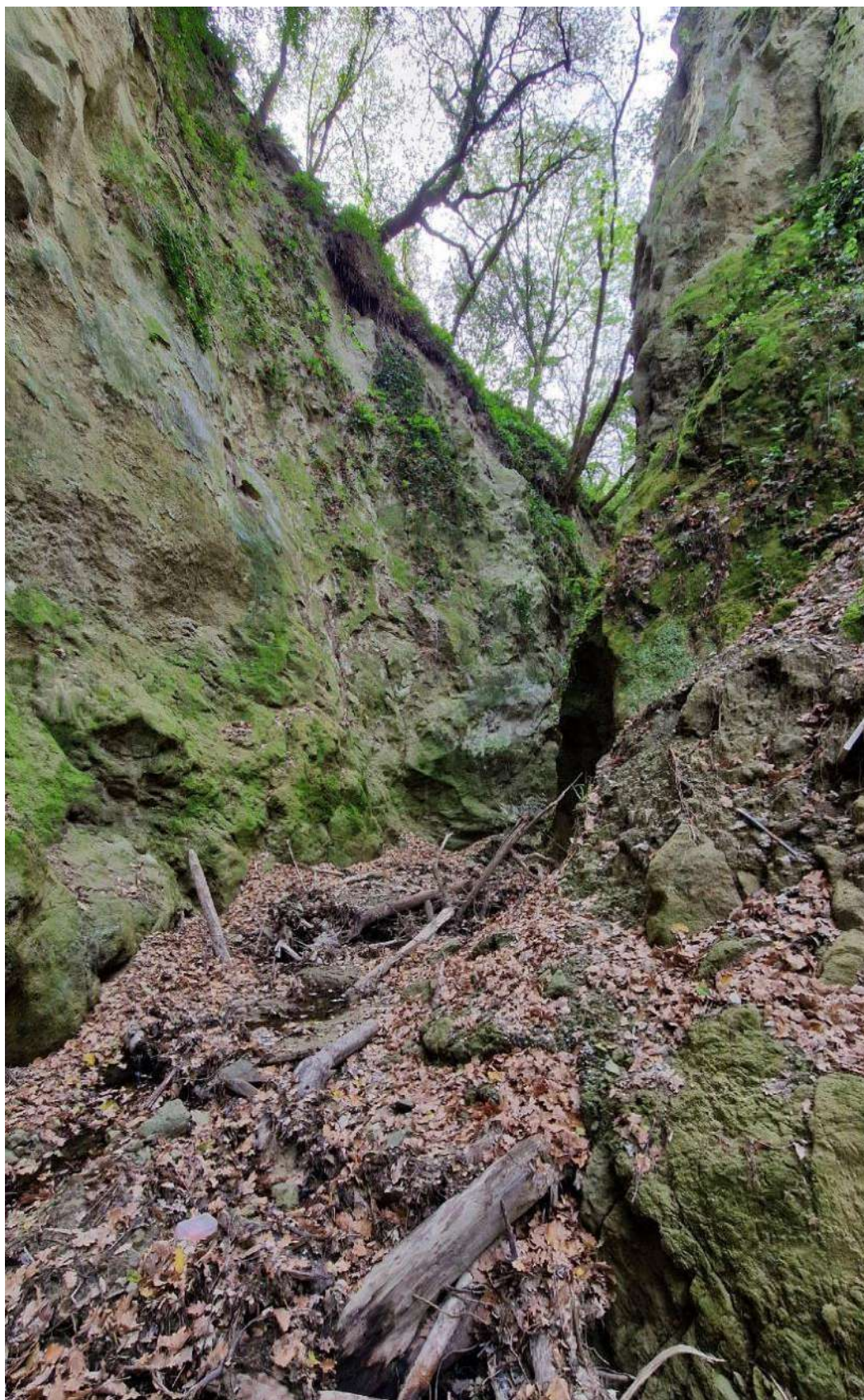
F_11_F. Pareti in materiale roccioso di tufo con strato superficiale impermeabile determinato anche dall'azione di acqua termale.



F_12_F. Materiale depositato per un'altezza di circa 3 m sul fondo dell'alveo e non trasportato a valle a seguito dell'evento del 26 novembre.



F_ 13_F. Pareti rocciose con alberi a monte le cui radici provocano distacchi di materiale. Sono evidenti le fratture nell'apparato roccioso.



F_14_F. Come nella precedente fotografia, le pareti rocciose presentano alberi a monte con le radici che da un lato provocano distacchi di materiale e dall'altro sono pronte per lo scodellamento ed il conseguente trascinarsi a

valle di ulteriore materiale ligneo



F_ 15_F. Briglia presumibilmente realizzata nel corso degli interventi realizzati a seguito dell'alluvione del 1910 (anni '30). Si nota il forte accumulo di detriti sulla gaveta e l'ulteriore apporto di materiale dalle sponde acclivi.



F_ 16_F. Briglia danneggiata risalente allo stesso periodo indicato nella precedente foto in corrispondenza del restringimento dell'alveo con notevoli quantità di materiale depositato.



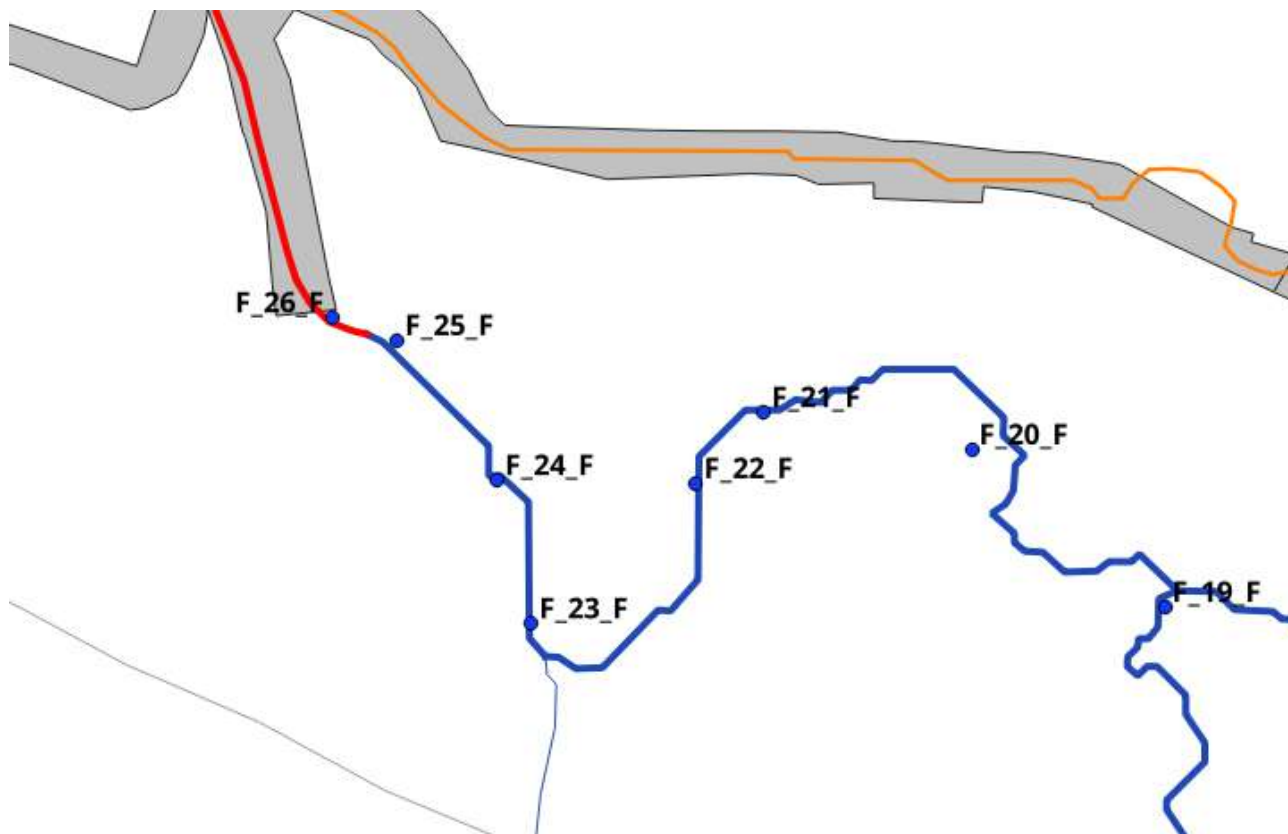
F_17_F. Gabbionate metalliche realizzate in seguito all'evento 2009 a protezione delle pareti erose. Si presuppone che l'intervento sia stato progettato ed eseguito con lo stesso approccio di mitigazione del rischio idraulico ci quello dell'alveo Puzillo e presenta i gabbioni anche sul fondo



F_18_F. Edifici costruiti in corrispondenza del ciglio del pendio. La presenza di vegetazione soprattutto nella zona sommitale mette in luce che il versante non sia stato oggetto, di recente, di fenomeni di scivolamento della coltre superficiale senza poter tuttavia escludere che si siano verificati crolli o discoscimenti di limitate dimensioni in ristrette aree del versante durante l'evento del 26 novembre



F_19_F. Ampia area di deposito di materiale detritico proveniente dall'alluvione del 2016 e probabilmente da precedenti eventi meteorici di una certa rilevanza. Da testimonianze raccolte durante i sopralluoghi è stata supposta la presenza di una vasca di accumulo per i fanghi. Tuttavia, la tipologia e le dimensioni della vasca non sono note. Dalla stima dello spessore del deposito nella sezione di valle, pari a circa 5 m, si desume un valore di volume accumulato di circa 9000 mc in eccesso.



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



F_20_F. Ponte di attraversamento dell'alveo crollato con accumulo di materiale misto detritico e ligneo a monte.



F_ 21_F. Materiale di accumulo sul fondo dell'alveo di natura lignea e parziale erosione delle sponde laterali. Non sono evidenti segni di canalizzazione antropica del flusso idrico tramite sistemi di sponde o soglie sul fondo. Non si può escludere che lo spessore dei depositi, stante anche la bassa pendenza, abbia completamente seppelliti le sponde dell'alveo.



F_ 22_F. Canale di scolo delle acque parzialmente ostruito dalla presenza del fango e di detriti di origine naturale ed antropica.



F_ 23_F. Materiale di accumulo di altezza pari a circa 5 m in corrispondenza dell'alveo e pareti laterali fortemente acclivi



F_ 24_F. La foto rappresenta il tratto dell'alveo immediatamente a monte della sezione tombata. La sezione dell'alveo è ostruita parzialmente per alcuni metri di sviluppo longitudinale dalla presenza di terme risalenti. Si nota anche il parziale crollo della compagnatura dell'edificio che vi insiste sulla sponda destra

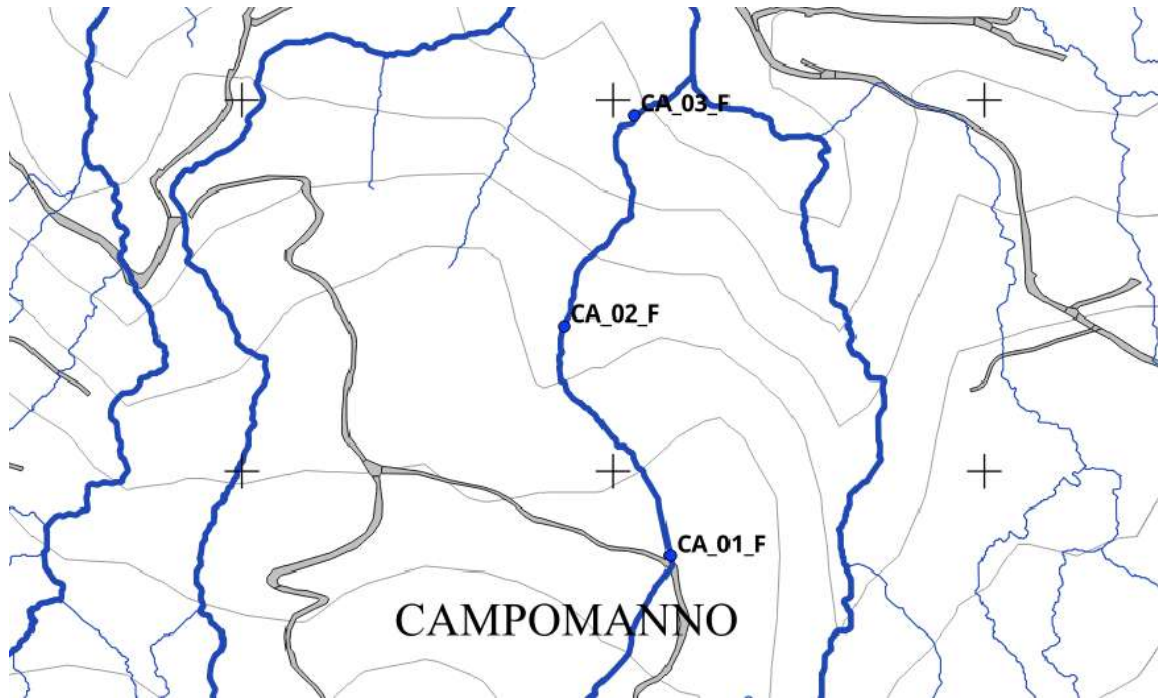


F_25_F. Sezione di imbocco del tratto tombato dell'alveo.



F_26_F. Sezione di imbocco dell'alveo tombato. Sezione parzialmente ostruita da blocchi lapidei sul fondo

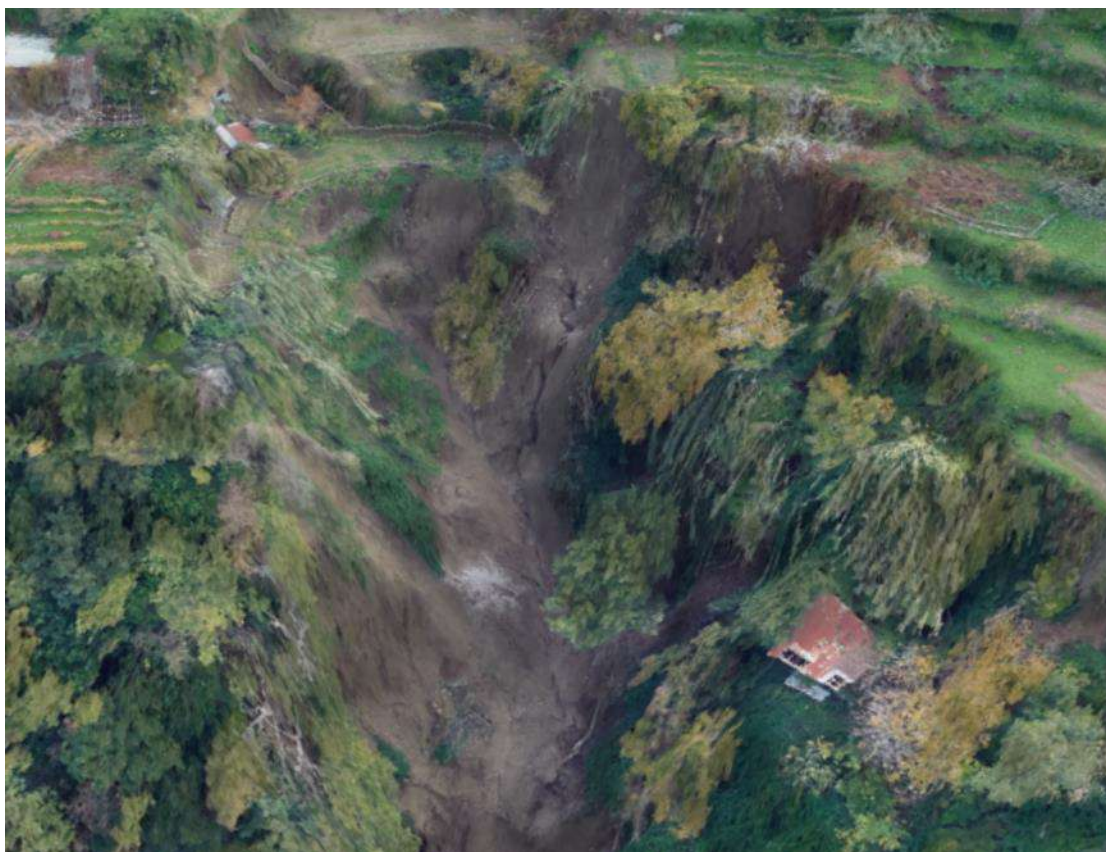
5.3.2.2 Campomanno fino al Fasaniello



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



CA_1_F. Dall'analisi storica e delle cartografie prodotte nel dopoguerra emerge la presenza una fonte naturale in corrispondenza delle zone a maggiore altitudine sul livello del mare e il dilavamento della coltre superficiale in corrispondenza dei terrazzamenti.

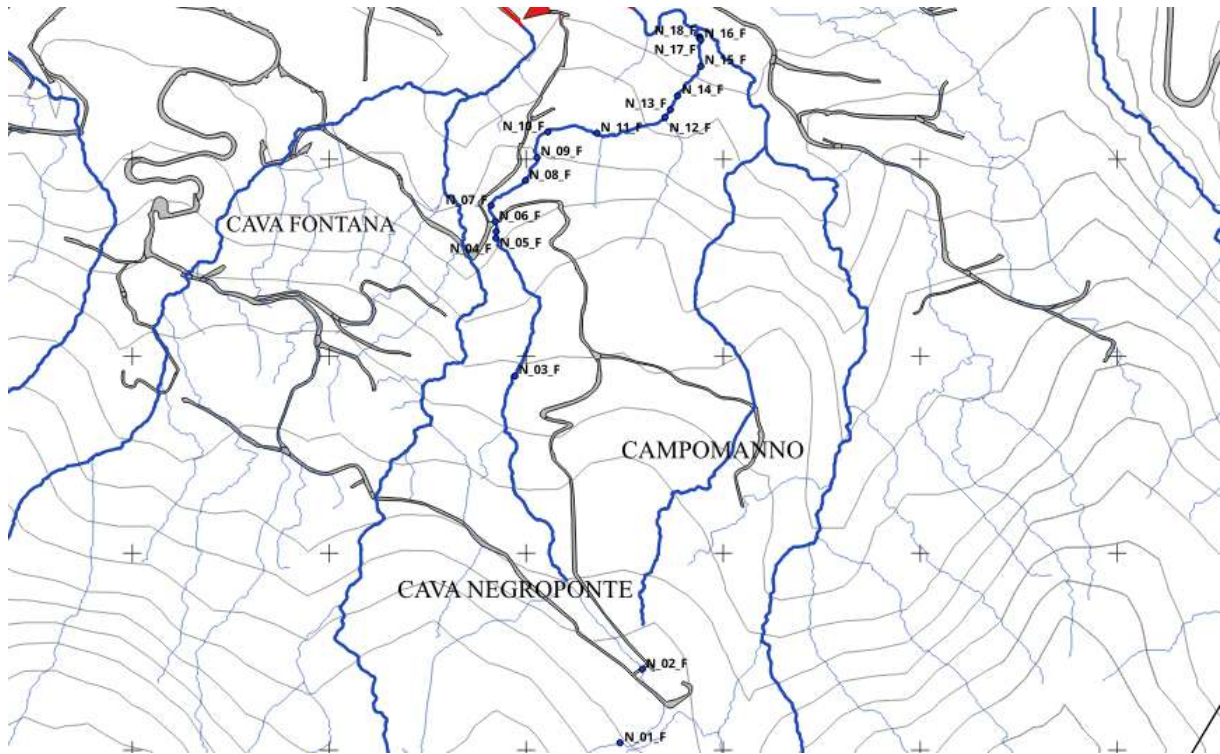


CA_2_F. Versanti laterali soggetti a fenomeni di scorrimento superficiale



CA_3_F. Imbocco alveo Fasaniello dove è evidente un alveo già fortemente inciso.

5.3.2.3 Cava Negroponte fino al Fasaniello



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



N_1_F. Reticolo idrografico a monte alterato da stradine e sentieri



N_2_F. Ortofoto rappresentante il reticolo idrografico alterato dalla presenza di stradine ed abitazioni



N_3_F. Letto dell'alveo che presenta accumulo di materiale detritico dovuto al trasporto e allo scivolamento dello strato corticale delle pareti acclivi



N_ 4_F. La foto rappresenta una sezione dell'alveo in cui una briglia costituita da blocchi lapidei non smussati, parzialmente crollata con consistenti depositi di materiale a monte e a valle. Presenza di folta vegetazione sulle sponde laterali



N_5_F. Salto di altezza di circa 6 metri risalente presumibilmente al periodo degli interventi realizzati negli anni '30 del secolo scorso. Si rileva l'alterazione superficiale della muratura dovuta all'acqua termale. Accumulo di fango e vegetazione sul fondo. Le sponde laterali sono parzialmente crollate



N_6_F. La foto evidenzia la presenza di un ponticello parzialmente crollato a valle della briglia. Materiale di accumulo di varia natura a valle.



N_7_F. Presenza di un fabbricato per civile abitazione provvisto di un lungo balcone con pilastrini in acciaio che insiste sul letto dell'alveo. Si evince la presenza di accumulo di materiale vegetale sul fondo



N_ 8_F. Accumulo di fango e tronchi d'albero a ridosso di un fabbricato per civile abitazione. Parziale ostruzione delle finestre del piano primo



N_ 9_F. Materiale detritico accumulato a valle dell'abitazione mostrata nella foto precedente, tramite palancolata costituita da tubi in acciaio e reti crollata a seguito dell'evento. Si nota la forte erosione avvenuta nel deposito probabilmente per effetto degli eventi meteorici successivi al 26 novembre 2022.



N_ 10_F. Pareti caratteristiche dell'alveo interessate da fenomeni di scorrimento superficiale



N_11_F. Briglia in tufo verde parzialmente ricoperta da terreno proveniente da scorrimento superficiale da versante laterale. È evidente che lo stato complessivo delle briglie necessita di un generale intervento di messa in pristino.



N_12_F. Tratto caratterizzato da una sezione molto stretta con forte acclività delle sponde laterali e deposito di materiale di varia natura sul fondo. Le criticità principali sono: alberi di dimensioni importanti pronti allo scodellamento, scorrimenti superficiali lungo le pareti in alveo, erosione del piede dei versanti, fondo dell'alveo completamente sommerso da materiali detritici.



N_ 13_F. Come evidenziato nella foto precedente, si mostra un grosso pino in bilico sul ciglio del versante dell'alveo.



N_ 14_F. Fondo dell'alveo caratterizzato da depositi e fenomeni erosivi prodotti dall'evento meteorico del 26 novembre e probabilmente già compromesso da eventi anteriori.



N_ 15_F. Fondo dell'alveo caratterizzato da depositi e fenomeni erosivi prodotti dall'evento meteorico del 26 novembre. Sezione di alveo caratterizzata da sponde realizzate con muretti a secco parzialmente collassate. Si evidenziano distacchi di materiale e caduta di alberi dalla sponda in destra idraulica



N_ 16_F. Prima di una serie composta da tre briglie in muratura realizzata negli anni '30; altezza di circa 3 m.

Risulta sempre evidente lo stato di compromissione delle briglie, soprattutto delle gavete e dei muri di controvento. Importanti spessori di depositi a monte e a valle del sistema di briglie.



N_ 17_F. Seconda briglia in pietre squadrate di altezza pari a circa 4 m. Parziale danneggiamento delle sponde in sinistra e in destra idraulica. Accumulo di vegetazione e detriti nella sezione di monte e di valle.



N_ 18_F. Terza briglia in muratura rivestita da uno strato di pozzolana altezza circa 2 m. La criticità principale è legata al deposito di detriti e vegetazione a monte della briglia ma anche ai lati dei muri di controvento.

5.3.3 Criticità

Con riferimento al descritto quadro conoscitivo, vengono evidenziate specifiche condizioni di criticità che devono essere tenute in considerazione negli obiettivi degli interventi da progettare.

Preliminarmente si pongono ancora in evidenza gli effetti della antropizzazione dell'area, ed in particolare della costruzione di strade e di percorsi di risalita. Gli approfondimenti svolti finalizzati alla definizione di possibili aree sorgente di fenomeni di instabilità evolventi a fenomeni valanghivi o a colate detritiche (CAPITOLO 4), hanno evidenziato, di fatto, la limitata rilevanza delle fenomenologie. Considerati gli assetti geomorfologici presenti alle quote più elevate, gli scenari di riferimento definiscono masse comunque defluenti in modo confinato nell'alveo incassato della Cava Fasaniello. Sono comunque da verificare, anche attraverso indagini in sito, assetti suscettibili connessi alla presenza di manufatti stradali e tagli e riporti di versante.

- a) Come evidenziato, anche in questo caso la principale criticità è da connettere alla presenza di masse relitte lungo l'alveo potenzialmente suscettibili di mobilitazione come conseguenza di significativi correnti in alveo come trasporto solido, come peraltro gli eventi del 2022 dimostrano.
- b) Anche in questo bacino la copertura forestale mostra variazioni altitudinali simili a quelle rilevate per cava Puzzillo. Nei tratti morfologicamente più acclivi la copertura forestale è a prevalenza di leccio, sostituita localmente da vegetazione a portamento arbustivo. Lungo tutto l'asse fluviale le criticità sono riconducibili al sovraccarico di biomassa epigea e al precario ancoraggio degli apparati radicali delle piante. A seguito degli eventi del novembre 2022, le coperture forestali residue su versante si presentano discontinue a forma di "lingue" e "isole", rese ancora più suscettibili a futuri dissesti a causa dell'effetto margine fra copertura forestale e aree aperte dissestate. Gli alberi cresciuti in bosco e bruscamente esposti sui margini delle aree in dissesto, a causa dell'elevato rapporto altezza-diametro, sono propensi a sradicamento in occasione di venti non intensi. Quindi, tali nuclei isolati dalle frane sono vulnerabili dal punto di vista biomeccanico. Una ulteriore criticità è rappresentata da alberi vivi e morti accumulati sul fondo dell'impluvio.
- c) Presenza di scarpate di frana attualmente esposte

- d) Criticità significativa è quella relativa all'influenza del reticolo delle strade presenti e dei percorsi di risalita sul deflusso delle acque di circolazione superficiale. Il recapito delle acque lungo punti singolari è infatti causa di erosione concentrata e instabilità di versante.
- e) Sezioni inadeguate in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato.

5.4 CAVA SINIGALLIA – CAVA FONTANA- CAVA CELARIO FINO ALLA TOMBATURA

5.4.1 Caratteristiche essenziali

5.4.1.1 Caratteri geologici

La geologia del vallone della Cava Sinigallia (Figura 5.4.1) è caratterizzata da una successione affiorante con spessore di almeno 450 m caratterizzata alla base dai tufi di Pizzone (PZE), seguita dai tufi dei Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). In analogia con le aree attigue poste più ad occidente, i tufi PZE poggiano sui depositi marini dell'Unità di Cava Celario (ECV) che non sono affioranti in quest'area. Al di sopra dei tufi TME si osservano i depositi marini dell'Unità di Campomanno (CPMa) formata da ceneri fini e grossolane, litici di lave e tufi in matrice fine argillosa verdastro-giallastra derivanti dallo smantellamento delle unità ignimbriche del M. Epomeo. Questi depositi mostrano una giacitura, come i tufi sottostanti, immergente a sud. Lo spessore è di circa 100 m. I depositi CPMa sono ricoperti in concordanza dalle sabbie biancastre dell'Unità Toccaneto (TCN) con spessori di pochi metri. La successione forma un'omoclinale immergente a sud di circa 20-30° dissecata da faglie normali ad andamento NO-SE immergenti a NE. Tali faglie ribassano a gradinata il settore nord-orientale. L'intera successione è ricoperta in discordanza da depositi di tipo debris-flow dell'Unità Grande Sentinella (GSN) con giaciture parallele al versante. Questo deposito ricopre le faglie ad andamento NO-SE e s'ispessisce nel letto di tali strutture. I depositi GSN sono a loro volta coperti da depositi di frane, detriti di versante e coltri eluvio-colluviali. Nel settore a valle, i depositi GSN poggiano sui depositi marini dell'Unità di Campomanno con giaciture sub orizzontali che poggiano verosimilmente sul TME.

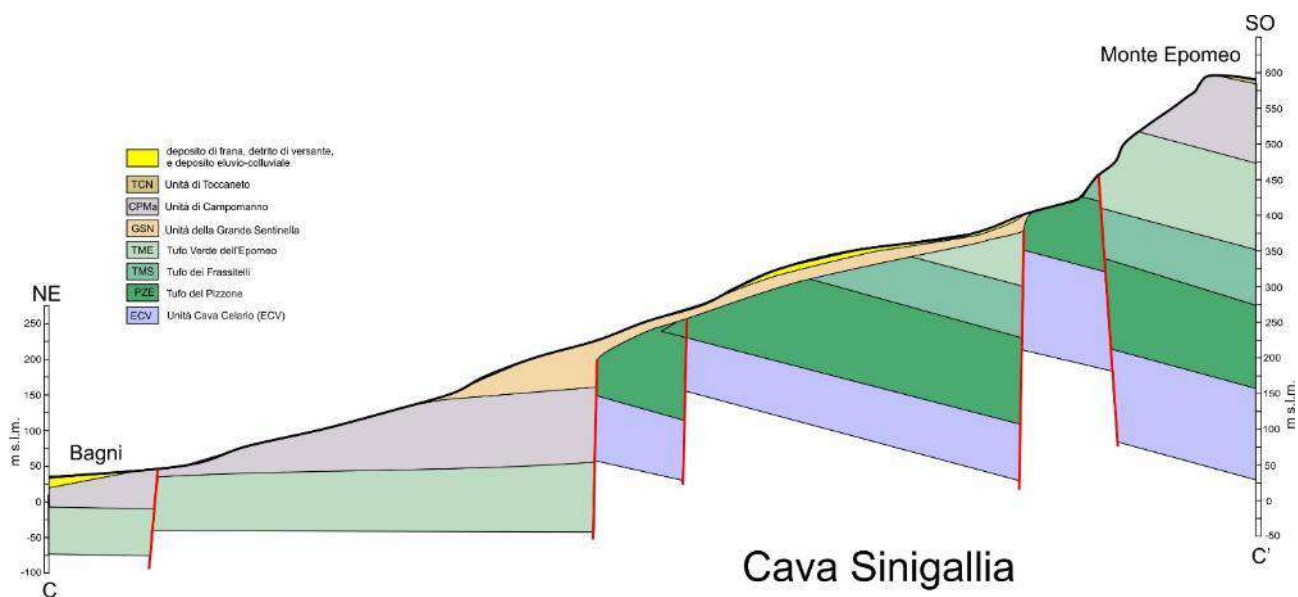


Figura 5.4.1. Sezione geologica del vallone Cava Sinigallia.

Nell'area di Cava Celario-Cava Fontana, in seguito alla rimozione delle coperture recenti ad opera degli ultimi fenomeni franosi, si è registrata la quasi totale esposizione dei terreni del substrato. Il rilievo geologico ha permesso la definizione di una carta geologica di dettaglio dell'area esposta (Figura 5.4.2).

La stratigrafia di questa parte del versante settentrionale del M. Epomeo è caratterizzata, dal basso verso l'alto, da alternanze di depositi marini e depositi piroclastici coperti da depositi di frane antichi e recenti.

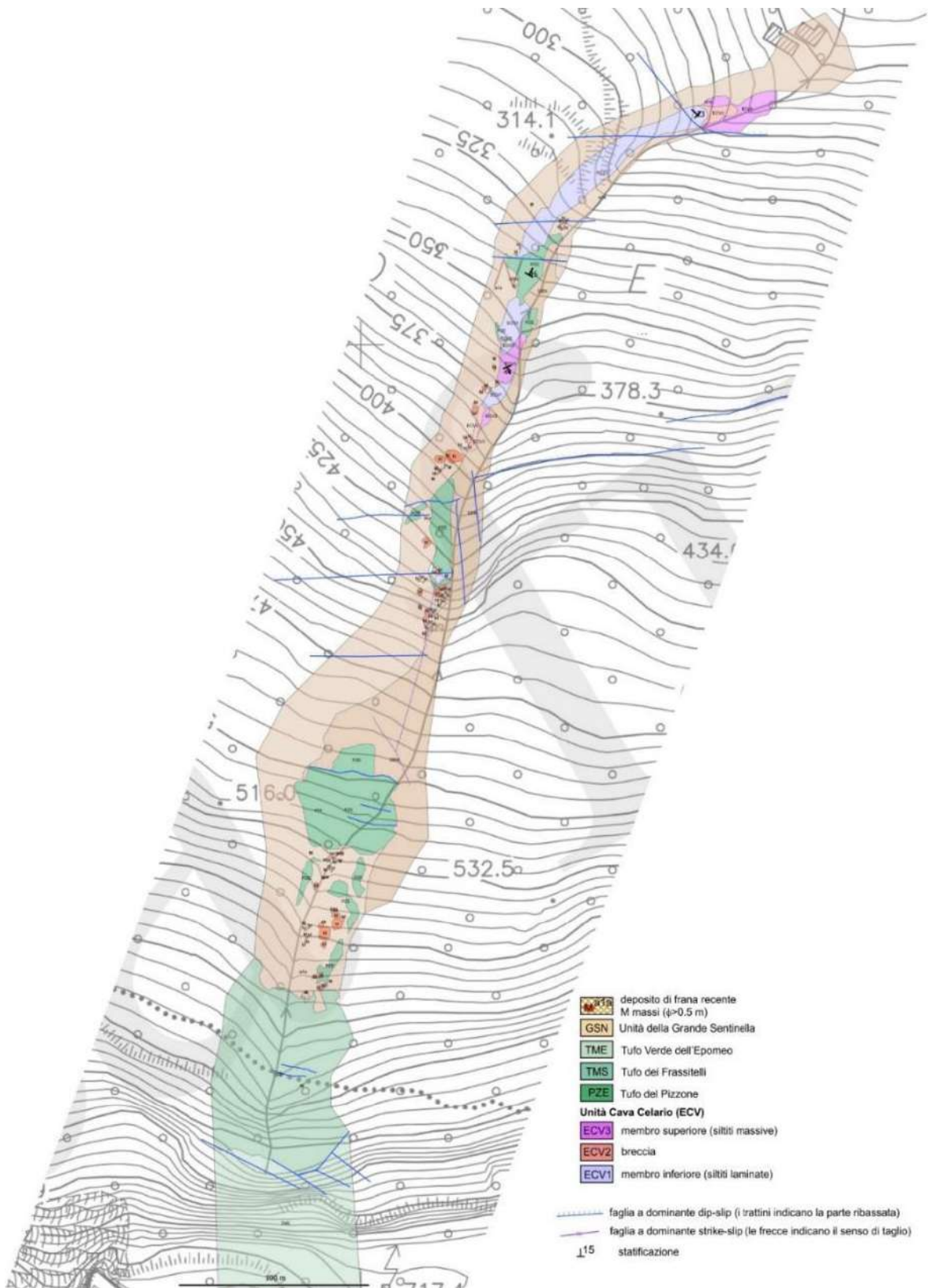


Figura 5.4.2. Carta Geologica del vallone Cava Celario.

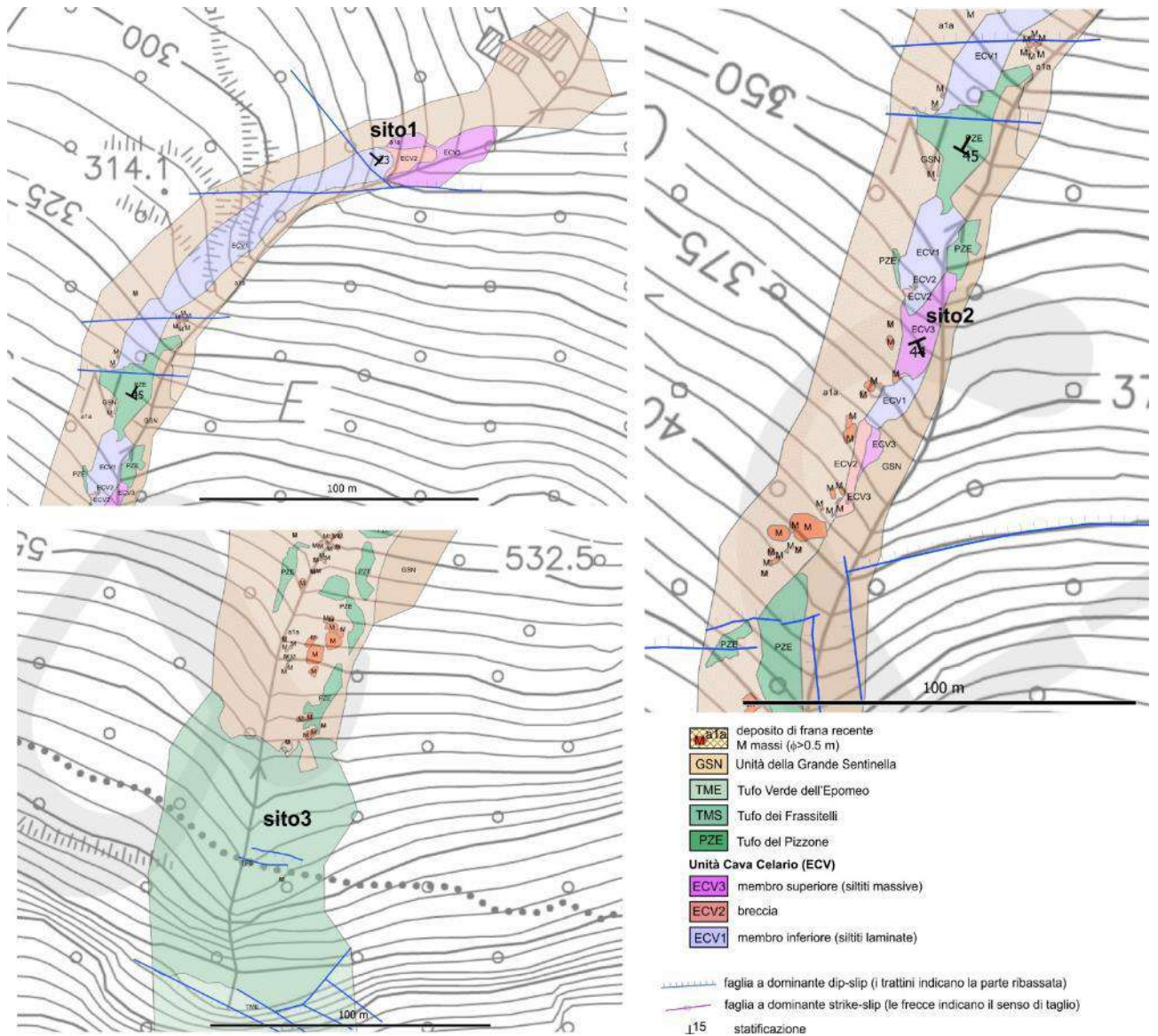


Figura 5.4.3. Dettagli della carta geologica con indicazione dei siti di misura.

L'Unità di Cava Celario (ECV) è stratigraficamente la più bassa; essa è costituita da alternanze di siltiti, areniti e argille dal colore grigio-brunastro formate da prodotti piroclastici rimaneggiati e alterati. Nell'ambito di questa unità sono stati distinti un membro inferiore (Figura 5.4.4 a-c), spesso intensamente laminato, e un membro superiore con carattere più massivo (Figura 5.4.4 g,h). Il limite tra i due membri risulta marcato da un intervallo piuttosto continuo, anche se con geometria lentiforme, più o meno spesso entro il metro, costituito da breccie (Figura 5.4.4 d-f) eterogenee ed eterometriche, con elementi vulcanoclastici (piroclastiti, lave e rocce ipoabissali) e sedimentari marini (del membro inferiore dell'ECV).



Figura 5.4.4. Depositi marino-transizionali dell'Unità di Cava Celario (ECV): (a-b-c) membro inferiore con laminazioni e alterazione idrotermale; (d-e-f) livello di breccie con clasti lavici posti tra i due membri; (g-h) membro superiore caratterizzato da una fratturazione pervasiva.

La successione presenta mineralizzazioni probabilmente associate all'idrotermalismo molto sviluppato in quest'area con la formazione di noduli di smectite nel membro inferiore (Figura 5.4.4 b) e patine dendritiche probabilmente di manganese lungo le fratture nel membro superiore. Tale unità affiora dalle prime case dell'abitato di Casamicciola fino al limite con i tufi, nella parte alta del

versante, con una potenza superiore a 50 metri, in quanto non si osserva la parte basale del deposito. Il deposito marino, principalmente il membro superiore è spesso fratturato da set di fratture ortogonali.

La giacitura della stratificazione è piuttosto difficile da rilevare a causa dell'intensa fratturazione. Nella parte bassa della successione meno fratturata, la laminazione ha un'immersione trasverso-poggio verso NO.

Le caratteristiche sedimentologiche indicano un ambiente di sedimentazione marino-transizionale per il membro inferiore e un ambiente più francamente marino per il membro superiore. L'unità ECV è sigillata dai tufi ignimbrici dell'unità del Pizzone (PZE) e, sulla base dei loro rapporti stratigrafici, risulta avere un'età più antica di 61,000 anni.

Al di sopra dei depositi ECV si osservano i tufi ignimbrici dell'unità del tufo del Pizzone (PZE), con un'età di circa 61,000 anni (ISPRA, 2023). I tufi sono da fortemente saldati con tessitura eutaxitica, massivi, di colore grigio chiaro-verdastro chiaro costituiti da fiamme e lapilli pomicei collassati ricchissimi in cristalli di sanidino e biotite, clasti litici minuti in matrice cineritica (Fig. Figura 5.4.5 a, b). Lo spessore è superiore ai 150 m e la giacitura va da franapoggio con immersione verso nord nella parte mediana e da suborizzontale a reggipoggio con immersione verso sud. Nella parte centrale dell'area i tufi riempiono una paleo-incisione nell'ECV (Figura 5.4.5.c).

Il tufo dei Frassitelli (TFS) ricopre l'unità PZE; esso è costituito da tufi massivi a prevalente matrice cineritica contenenti pomici di colore verdastro e scorie collassate, fiamme parzialmente collassate, convolute e sostituite da minerali idrotermali (Figura 5.4.5 d). Raggiunge uno spessore di circa 300 m e ha un'età di circa 62,000 (ISPRA, 2023).



Figura 5.4.5. (a-b-c) Tufo del Pizzone. (d) Tufo di Frassitelli con fiamme. (e) Tufo dell'Epomeo al di sopra del Tufo dei Frassitelli.

L'unità TFS è ricoperta dal Tufo Verde del Monte Epomeo Auctt. (pro parte) (TME), costituito da tufi pomicei e tufi cineritici massivi più o meno litificati (Figura 5.4.5 e). Il colore del deposito varia dal verde smeraldo intenso al verde chiaro, al verde-bianchiccio fino al giallastro passando dalle parti basse a quelle più alte, ma presenta anche notevoli variazioni laterali. In grande questa unità è costituita da una parte basale più pomicea e da una parte alta più cineritica. I livelli ben saldati si osservano solo alla base (Falanga). Il tufo ha uno spessore massimo di circa 200 metri e un'età di circa 56,500 (ISPRA, 2023).

Nella parte alta, al di sopra del TME si osserva un livello centimetrico di epiclastiti marine formate da argille verdastre dell'Unità di Campomanno (CPMa) affiorante più estesamente a est. Dato l'esiguo spessore dell'affioramento non è stato riportato in carta.

Sempre nella parte alta, al di sopra delle argille CPMa è presente un deposito metrico di sabbie fini di colore bianco, massive e leggere, formate da vetro e pomici. Questo deposito corrisponde all'Unità di Toccaneto (TCN), affiorante più estesamente a est. Dato l'esiguo spessore dell'affioramento non è stato riportato in carta. Lungo il vallone affiorano depositi massivi grossolani di debris-flow, costituiti da clasti di tufo verde, eterometrici, immersi in matrice limo-sabbiosa ed argillosa in più unità sovrapposte; sono presenti clasti plurimetrici di tufi del sistema del Rifugio di San Nicola, in generale molto arrotondati, provenienti dallo smantellamento dei versanti settentrionali del Monte Epomeo. Tale deposito è riferito all'Unità della Grande Sentinella (GSN) affiorante estesamente lungo il versante fino a Casamicciola. Questi depositi, che presentano anche clasti sub-arrotondati di diametro plurimetrico, ricoprono le unità descritte (Figura 5.4.6 a,b), compreso il duomo della Fundera, con spessori importanti di diversi metri, vincolandone l'età successivamente a 8,000 anni fa (età del duomo della Fundera). Lungo il versante, i depositi che ricoprono tutto si riferiscono a frane recenti. Lungo il vallone di Cava Celario tali depositi sono presenti soprattutto in sinistra idrografica (Figura 5.4.6 c-e).

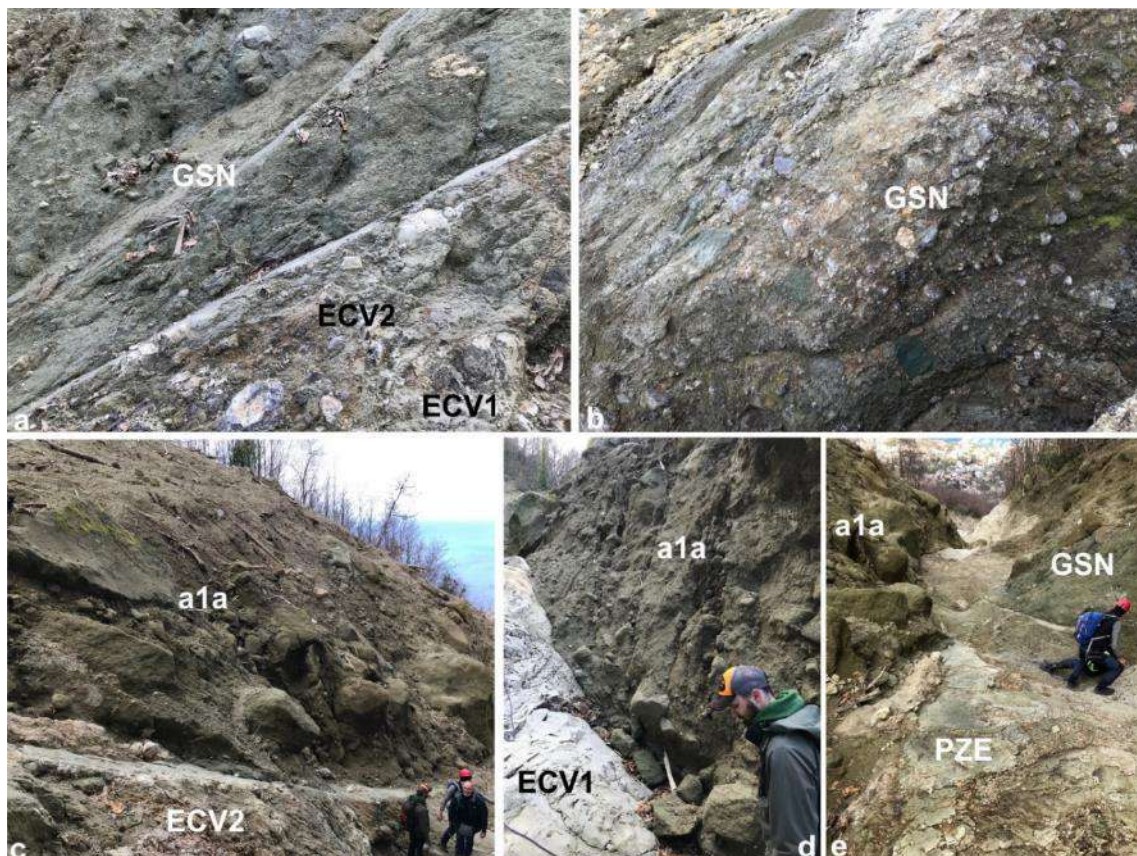


Figura 5.4.6. (a-b) Deposito dell'Unità Grande Sentinella. (c-d-e) Depositi di frane recenti.

Assetto deformativo

La successione marina dell'Unità di Cava Celario (ECV) e i sovrastanti tufi ignimbrici (PZE, TFS e TME) sono dislocati da numerose faglie, le principali sono riportate nella carta geologica così come le fratture più importanti. Le faglie più antiche si osservano nei depositi marini dell'ECV (Figura 5.4.7 a) e sono sigillati dai tufi PZE. Queste faglie hanno una cinematica transpressiva sinistra (Figura 5.4.7 a). Mentre faglie transpressive destre sono presenti anche nei tufi PZE. Tutta la successione, dalla base fino ai tufi, è dissecata da faglie con andamento E-O e cinematica normale che generalmente ribassano il lato nord ((Figura 5.4.7 b, c). Faglie più recenti hanno una direzione NO-SE. Nella parte bassa dell'area di studio è presente una faglia appartenente a questo set che ribassa la porzione NE di circa 1 metro (Figura 5.4.7 e), dissecando anche depositi antichi di debris-flow.

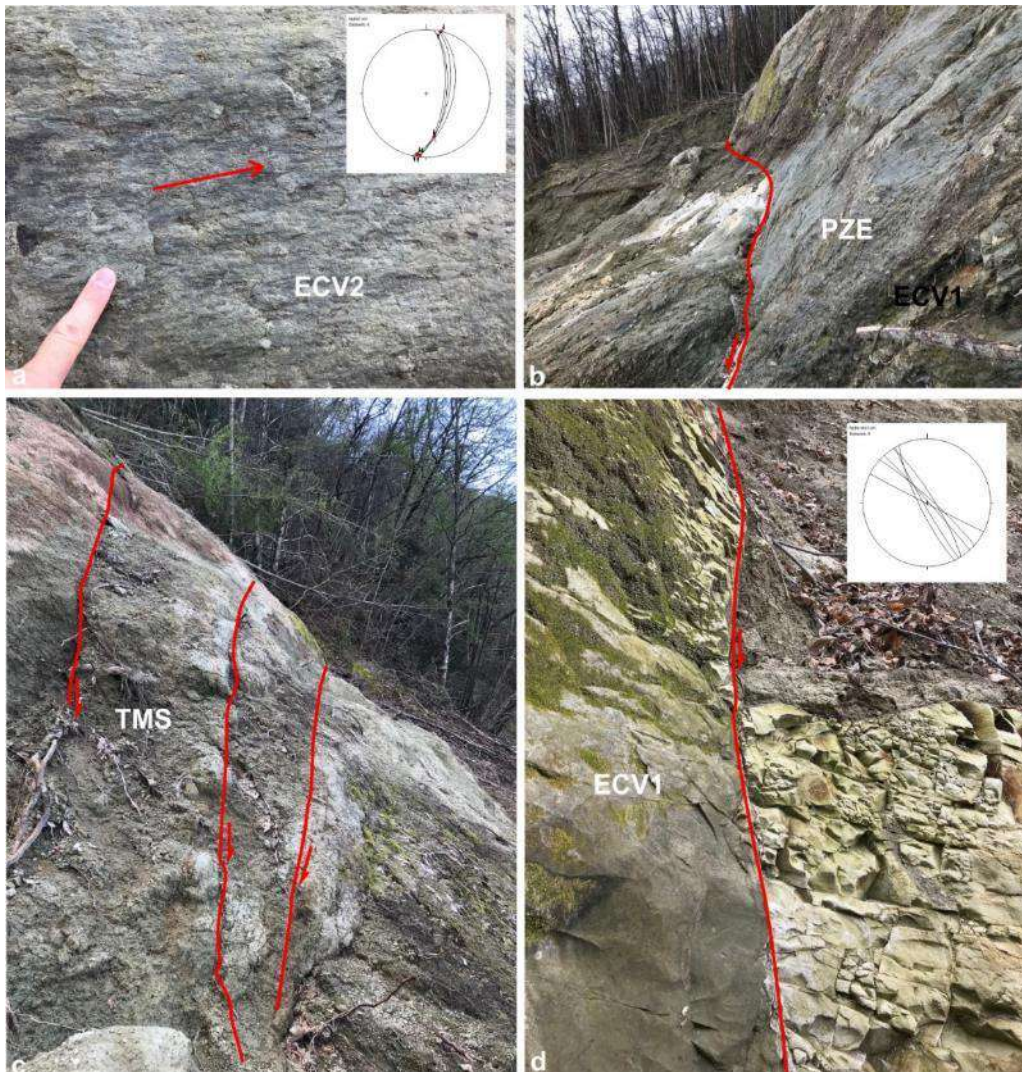


Figura 5.4.7. (a-d) Esempi di faglie rilevate nel vallone di Cava Celario.

I depositi ECV sono caratterizzati da fratture a volte molto pervasive, più rare nei tufi sovrastanti. Sono state misurate le giaciture delle fratture in tre siti (Figura 5.4.3). Le proiezioni stereografiche dei piani di frattura nei depositi ECV (siti 1 e 2) mostrano due direzioni preferenziali: ca. NNO-SSE e NE-SO (Figura 5.4.8 a,b). In questi siti le fratture sono generalmente molto inclinate. Le fratture nei tufi dell'Unità TMS (Figura 5.4.8 c) mostrano tre direzioni preferenziali: NO-SE, NE-SO e E-O. Anche in questo sito le fratture sono generalmente molto inclinate.

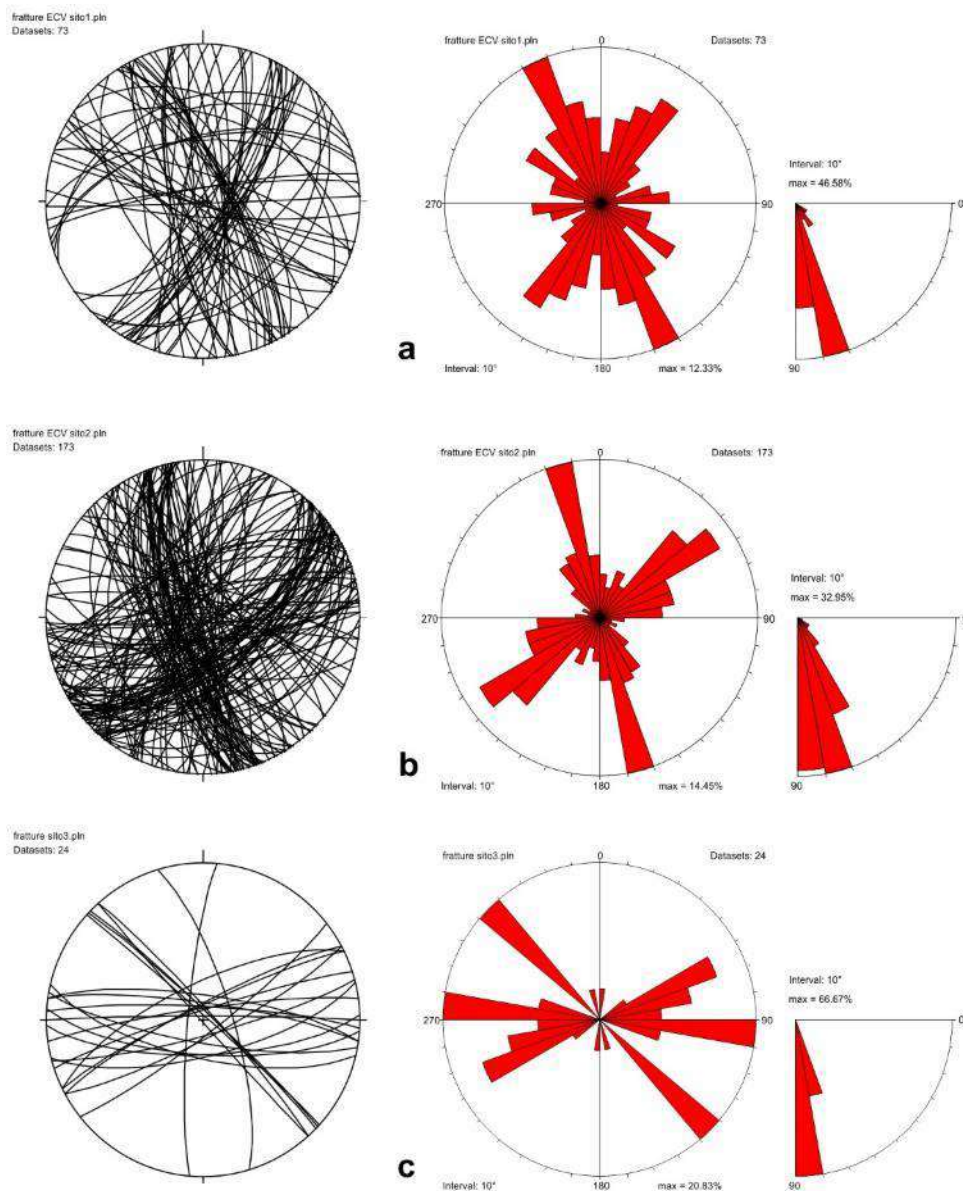


Figura 5.4.8. Proiezioni stereografiche e rose-diagram delle fratture analizzate (proiezione equiareale, emisfero inferiore).

Sezione geologica

Le osservazioni analitiche di carattere stratigrafico e strutturale hanno consentito la ricostruzione di un profilo geologico, nel quale sono stati sintetizzati i numerosi dati acquisiti (Figura 5.4.9).

La successione precedentemente descritta forma un'omoclinale immergente a sud di circa 15-30° dissecata da faglie normali ad andamento NO-SE e immergenti a NE ma anche ad andamento E-O e immergenti sia a nord che a sud. Le faglie NO-SE ribassano a gradinata il settore nord-orientale. Le due faglie più importanti, con rigetti di centinaia di metri, sono quelle che si osservano nella parte bassa della sezione dove affiora estesamente ECV. L'intera successione è ricoperta in discordanza dai depositi GSN con giaciture parallele al versante. Questo deposito è probabilmente associato all'attività delle faglie ad andamento NO-SE e s'ispessisce nel letto di tali strutture. I depositi GSN sono a loro volta coperti da depositi di frane, detriti di versante e coltri eluvio-colluviali. Nel settore a valle, i depositi GSN poggiano sui depositi marini dell'Unità di Campomanno con giaciture più o meno suborizzontali che poggiano verosimilmente sul TME.

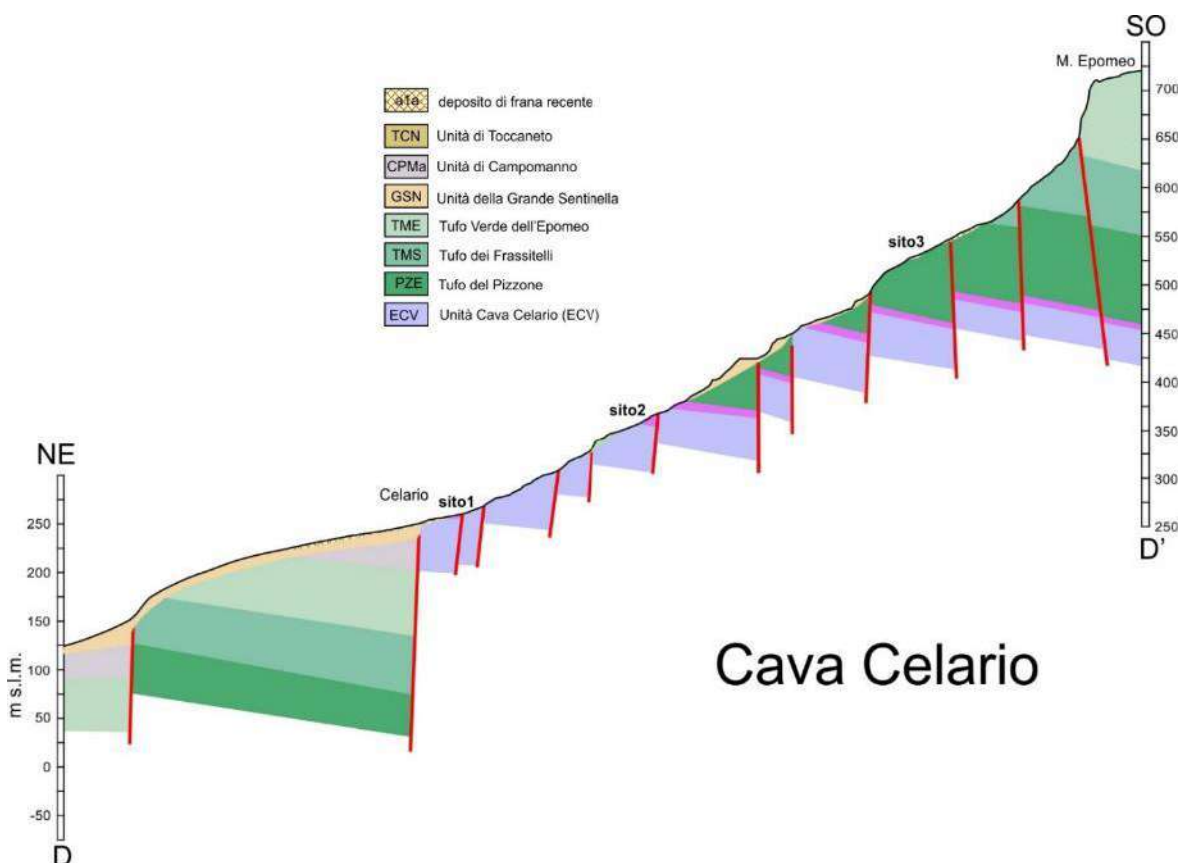


Figura 5.4.9 Sezione geologica del vallone di Cava Celario.

5.4.1.2 *Aspetti geo-morfo-strutturali e descrizione dei dissesti*

Nella Figura 5.1.1 è riportato il bacino imbrifero relativo alla cava Sinigallia e del suo immissario in sinistra Cava Fontana, che trova punto di colmo morfologico lungo la cresta epomeica nel suo settore centrale ad una quota di oltre 750 m s. l.m.

Fortemente condizionata dall'assetto litostrutturale, l'incisione si sviluppa in due settori differenziati del versante, quello di quota più elevata (fino a 250 m s.l.m) caratterizzato dal prevalente affioramento dei depositi tufacei che costituiscono la cornice epomeica, quello di quota inferiore caratterizzato dai depositi della formazione di Campomanno.

Nello specifico, nel primo settore, ribassati per faglia per formare una sorta di gradinata e sebbene oblitterati da estese coperture detritiche, affiorano blocchi ad immersione verso sud e, quindi, con assetto a reggipoggio, costituiti dai tufi di Pizzone (PZE) e, in successione, dai tufi del Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). Diversamente, i depositi di Campomanno mostrano assetti sub-orizzontali o lievemente immergenti verso Nord.

Come visto negli aspetti geologici, nell'area di Cava Celario, a seguito alla rimozione delle coperture recenti ad opera degli ultimi fenomeni franosi, sussiste la quasi completa esposizione degli ammassi del substrato. Come visto in precedenza, i rilievi geologici hanno permesso la definizione di una carta geologica di dettaglio dell'area esposta cui si correla una sezione di dettaglio. Questa di fatto, nel confermare i generici assetti prima evidenziati per l'asta principale, dettaglia gli stessi costituendo di fatto riferimento geologico interpretativo per i successivi approfondimenti geologici che dovranno essere sviluppati.

Completa il quadro descrittivo la presenza di antichi depositi da colata detritica, a variabile litificazione, della formazione della Gran Sentinella che oblitterano di fatto il sistema di faglie nelle parti basse del versante.

Il descritto assetto geologico condiziona in modo significativo le caratteristiche del reticolo di deflusso delle acque superficiali. Infatti, se nelle aree incidenti i depositi dell'Unità di Capomanno l'alveo può dirsi approfondito e caratterizzato da una morfologia a V, a luoghi molto stretta e con versanti acclivi tanto da assumere caratteristiche di vera e propria forra, nell'area di affioramento della sequenza tufacea il reticolo è caratterizzato da un ventaglio di più o meno blande incisioni

che convergono verso un alveo più definito da quota 340 m circa, ove, non a caso, costituisce formazione di base la detta unità di Capomanno.

In realtà lo svuotamento post-evento lungo il fosso del Celario ha evidenziato una conformazione dell'alveo particolarmente articolata ed evoluta nella zona alta del versante, ove incide i depositi tufacei. La presenza di forme di erosione evolute, quali docce, lascia presupporre flussi continui e ripetuti lungo l'asse.

I descritti assetti litostrutturali di questo settore di versante, che sono significativamente differenziati da quando in precedenza descritto per gli alvei Puzzillo e Fasaniello, sono di particolare significato nel quadro delle definizioni delle condizioni genetiche dei fenomeni di frana. Di fatto in questo settore, così come quelli più occidentali della cresta epomeica, le forti pendenze, lo stato di fessurazione delle masse tufacee e le estese coperture favoriscono lo sviluppo di incisioni talora cospicuamente riempite da materiali detritici, come nel caso dell'alveo Celario ove lo spessore valutato attraverso i confronti topografici è dell'ordine di 3 m. Di conseguenza vengono a determinarsi possibili condizioni di suscettibilità a fenomeni franosi sia di carattere valanghivo e di colata sia di crollo.

Anche in questo settore sono da segnalare a più livelli da una quota di circa 300 m, testimonianze di livelli di superfici di abrasione, di fatto relitte in quanto coinvolte da fenomenologie di frana.

Gli approfondimenti svolti e le osservazioni su foto aeree del passato (1955) nonché i confronti con quanto riportato nella cartografia geologica 1:00000-Regione Campania e dalle notizie bibliografiche nonché le analisi sviluppate attraverso le analisi geomorfologiche eseguite, evidenziano che questo settore è stato coinvolto nel tempo da eventi di frana sia per crolli sia a carattere di scorrimento evolventi a valanghe e a colate detritiche. Forme morfologiche e blocchi tufacei di dimensioni anche particolarmente significative caratterizzano le zone più acclivi dei versanti. In effetti queste caratteristiche cinematiche deducibili dalla franosità del passato possono essere attribuite anche agli eventi che hanno coinvolto i versanti della cava nel 2022.

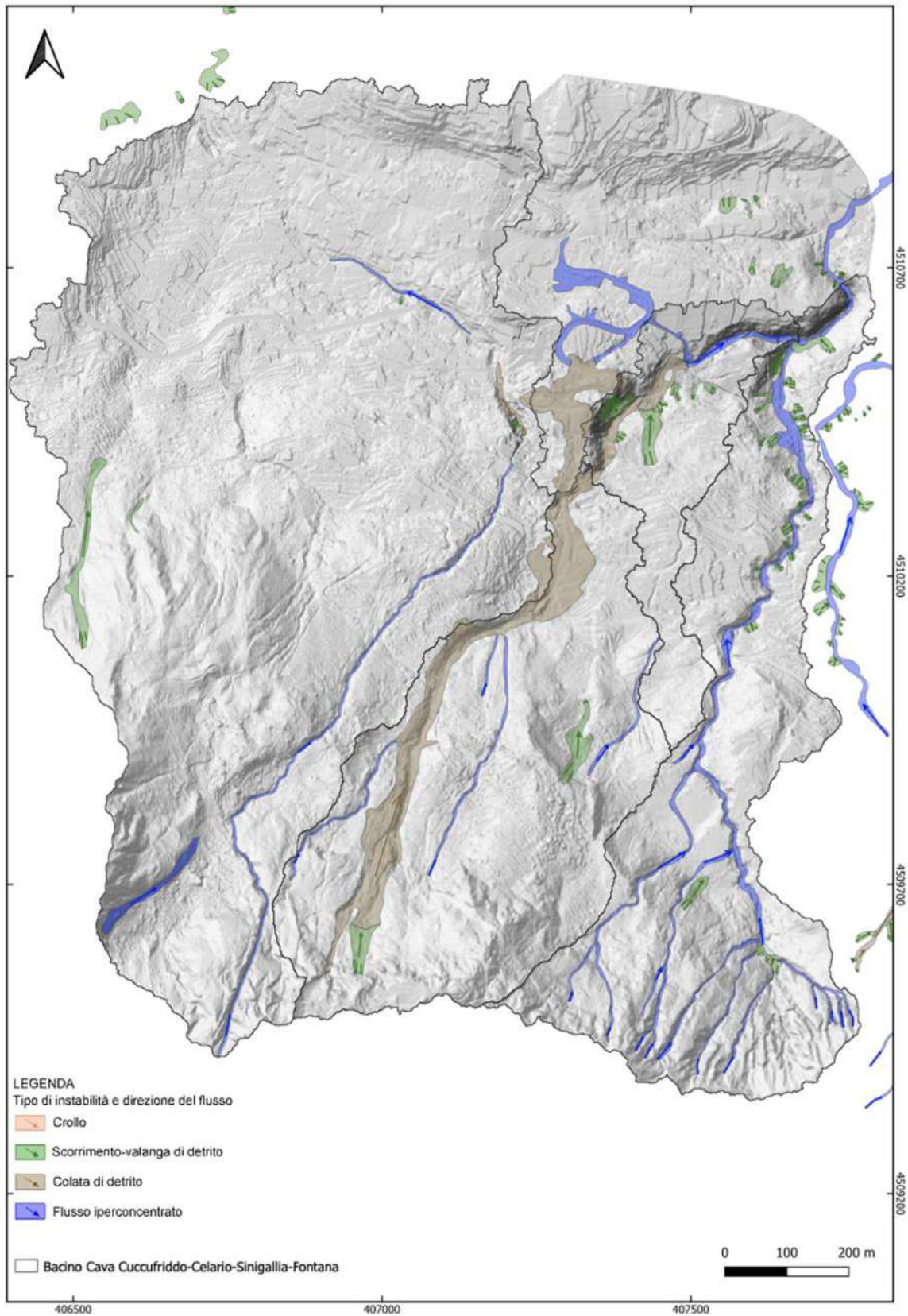


Figura 5.4.10. Bacino Cava Sinigallia, Cava Fontana e cava Celario: individuazione e classificazione dei principali fenomeni di dissesto.

Nella figura Figura 5.4.10 è quindi la rappresentazione dei fenomeni di frana basata su quanto prodotto in prima fase e integrato da ulteriori rilievi di sito e aerofotografici in confronto anche a rilievi LIDAR disponibili.

Detto del fenomeno del Celario, il cui innesco è attribuibile a un meccanismo di scorrimento evolutosi in una tipica valanga detritica e in un flusso iperconcentrato, anche in questo caso i versanti spondali dell'incisione principale del Sinigallia nonché quelli del Fontana sono stati caratterizzati da fenomeni di scorrimento traslativo di masse costituite da coltri alteritiche e detritiche superficiali, nonché da suoli, ivi compresi i carichi vegetali, masse che si sono accumulate alla base dei versanti. I rilievi hanno messo in evidenza che questi accumuli sono stati per buona parte coinvolti nei processi erosionali connessi agli eventi dello scorso novembre, sebbene sussistano cospicue porzioni relitte lungo le linee di deflusso.

È da evidenziare che sono presenti, oltre a quello del Celario, anche altri fenomeni a carattere valanghivo, il più significativo dei quali ha avuto luogo al bordo di una delle discontinuità morfologiche ad una quota di circa 350 m e, quindi, in posizione di versante aperto. Altri casi sono da connettere alla presenza di coltri detritiche, anche di origine antropica, ai margini delle spianate a monte dei versanti ove è presente edificazione. I rilievi hanno inoltre evidenziato che buona parte delle incisioni presenti nella zona medio-alta dell'alveo presentano fenomeni erosivi, talora anche cospicui. Il conseguente trasporto solido costituito, oltre che dai detriti ed in particolare quelli provenienti dall'Area Celario-Fontana, da un cospicuo carico vegetale, ha indotto l'ostruzione dell'imbocco dell'alveo tombato e la conseguente tracimazione dei flussi lungo gli assi viari.

Durante l'evento del 10 novembre 2009 il bacino Sinigallia è stato interessato da processi erosionali e d'instabilità relativamente meno intensi; Santo et al. (2012) hanno censito 28 frane con volumi variabili tra 50 e 700 m³ (cfr. § 2.2).

Così come mostrato nei punti singolari riportati nel paragrafo seguente, lungo l'alveo sono state individuate opere miranti alla mitigazione degli effetti erosivi delle correnti, costituite da soglie in muratura di varia epoca, prevalentemente messe in opera successivamente agli eventi del 1910. Come è possibile vedere dal paragrafo Rilievi lungo l'alveo, queste sono collocate nella zona medio-bassa delle Cave Sinigallia e Fontana, e in piccola parte interessano anche la Cava Celario, e sono costituite da briglie e soglie con differenti caratteristiche costruttive e geometriche, talora anche di significativa mole. Alcune di queste opere, obliterate dagli accumuli detritici, dalla vegetazione o

dalle stesse attività antropiche, sono riemerse a seguito dei fenomeni erosivi indotti dall'evento del 26 novembre 2022, e della successiva rimozione di detriti e macerie.

Successivamente agli eventi del 2009 sono stati eseguiti interventi di ripristino in alcuni punti e, in particolare, lungo l'intersezione della strada a quota 250 m circa.

Come rilevato per la Cava Puzzillo, una porzione del bacino imbrifero lungo la Cava Sinigallia è stata oggetto a partire dal 2019 di un'attività di progettazione di primi interventi di messa in sicurezza (cfr. 23_CTa), suddivisa in due lotti, giunta nel 2022 al livello esecutivo del secondo di essi. L'attività documenta indagini destinate alle verifiche degli spessori ritenuti mobilizzabili lungo il corso ed i versanti dell'alveo, attraverso fioretture manuali, prove penetrometriche leggere DL030, prove penetrometriche superpesanti DPSH, prove MASW e prospezioni sismiche di superficie. Queste ultime appaiono di incerta localizzazione, in quanto una di esse sembra inverosimilmente posizionata lungo il versante Sud dell'Epomeo. La restituzione delle tomografie sismiche in onde P e i profili stratigrafici da esse ricavati appaiono peraltro del tutto sovrapponibili a quelle riportate nell'analogo intervento 26_CTa lungo Cava Puzzillo, il che suscita seri dubbi sull'attendibilità di almeno una delle campagne di indagini sismiche.

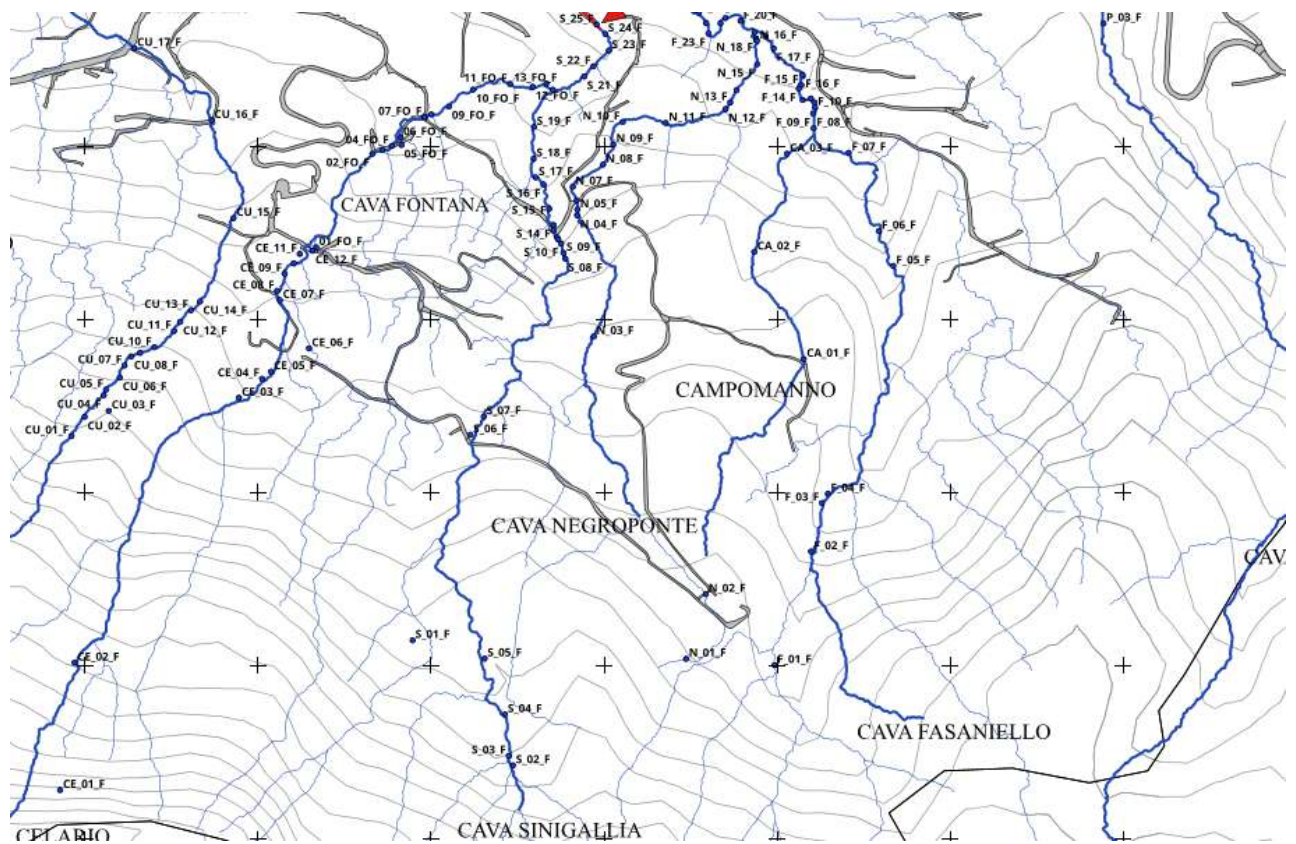
Nelle zone indagate è stata definita la presenza di coperture il cui spessore è stato valutato di alcuni decimetri fino ad oltre un metro nelle zone di versante aperto. La progettazione degli interventi di progetto, supportati anche da modellazioni dinamiche, ipotizzano la realizzazione di briglie e terrazzamenti in alveo mediante gabbionature, l'attraversamento stradale di via Celario mediante un tombino scatolare, l'installazione di barriere flessibili in rete d'acciaio, la costruzione di una vasca per contenere flussi dell'ordine di alcune migliaia di metri cubi (comunque indicata sufficiente per gli scenari definiti) nonché la messa in posto di opere di protezione dei versanti spondali (talora caratterizzati dalla presenza incombente di blocchi megalitici), da realizzare con materassi rinverditi e viminate.

5.4.2 Punti singolari

5.4.2.1 Cava Sinigallia fino al tratto tombato

Caratteristiche essenziali

Punti singolari



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



S_1_F. Frana nella parte sommitale in corrispondenza dell'alveo



S_2_F. Materiale di accumulo e ostruzione della zona a monte dell'alveo. La sezione molto stretta e acclive è risultata il punto di arresto di massi in tufo di grandi dimensioni.



S_3_F. Fondo dell'alveo a monte in corrispondenza della zona boschiva, materiale di accumulo sul fondo proveniente da scorrimento superficiale



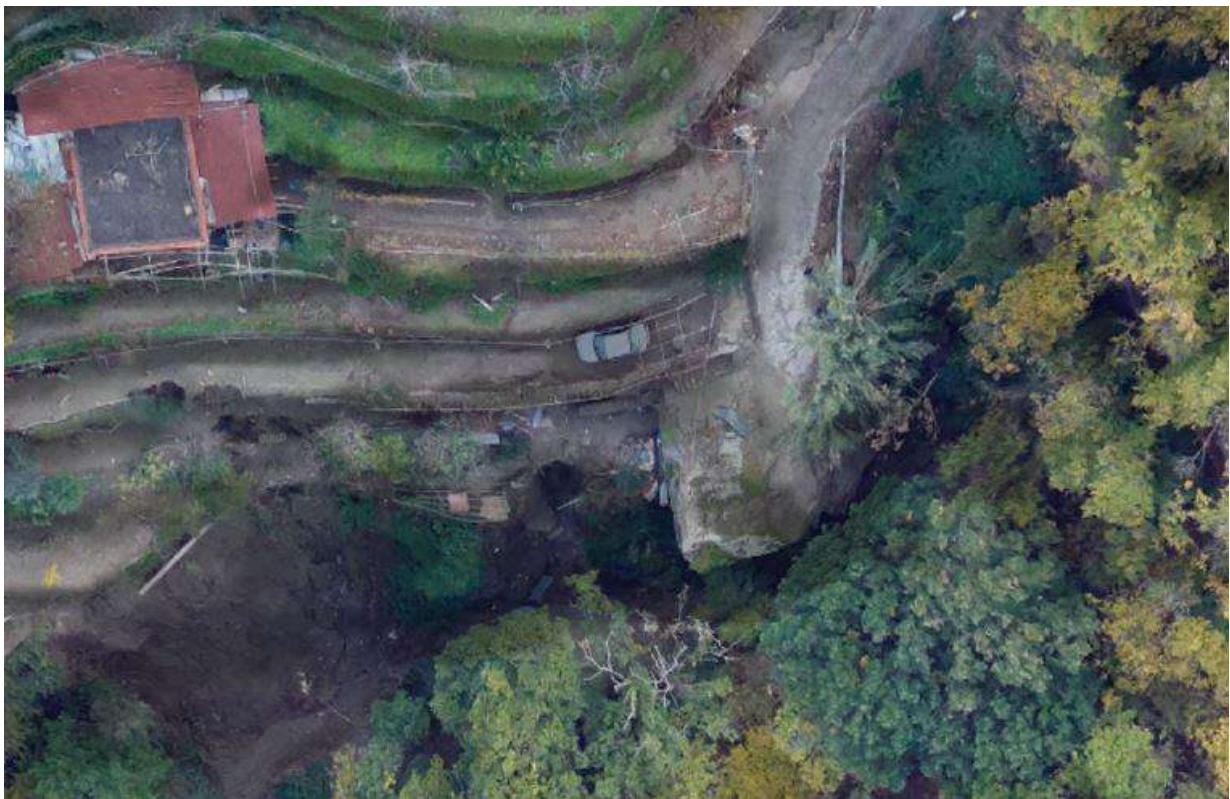
S_4_F. Materiale eroso fondo alveo a seguito dell'evento meteorico del 26 novembre altezza circa 0,80 m



S_5_F. Materiale eroso e trasportato a valle dall'evento meteorico del 26 novembre



S_ 6_F. Versanti franati in corrispondenza di massa depositato da frane precedenti. Il fenomeno riguarda la parte a valle della stradina ortogonale al reticolo idrografico subito a monte del centro abitato



S_ 7_F. Fenomeni di scorrimento superficiale delle pareti laterali dell'alveo a valle del masso ciclopico depositato da frane precedenti. L'evento meteorico del 26 novembre ha ripristinato il normale deflusso delle acque piovane alterato dalla strada



S_8_F. Salto idraulico naturale con restringimento della sezione dell'alveo



S_9_F. Salto idraulico naturale con restringimento della sezione dell'alveo. La forte erosione ha portato a vista il substrato roccioso lungo le pareti laterali dell'alveo



S_10_F. Fondo dell'alveo con deposito di massi di tufo di grosse dimensioni.



S_ 11_F. Intervento realizzato a seguito dell'evento del 26 novembre costituito da gabbionate metalliche per ripristinare la sezione dell'alveo.



S_12_F. Cambio di sezione con versanti dell'alveo interessate da fenomeni di scorrimento superficiale ed altezze di circa 20 m



S_ 13_F. Vasca realizzata per il deflusso delle acque al di sotto della strada



S_14_F. Tubazione di raccolta acque provenienti dalla vasca di accumulo posta a monte della strada Il Traversa Santa Barbara che attraversa l'alveo. È evidente che la sezione delle due condotte realizzate per consentire la realizzazione della strada risulti assolutamente inappropriato per la funzione idraulica che devono assolvere. Infatti, poco a valle la sezione idraulica dell'alveo presenta dimensioni decisamente importanti. La forza dell'evento ha trascinato un'auto proveniente, in base S_6_F



S_15_F. Serie di briglie realizzate negli anni '30 poste a valle della strada Il Traversa Santa Barbara. Forte accumulo di detriti sia a monte che a valle delle briglie che sono state portate alla luce grazie al forte fenomeno erosivo determinato dal flusso idrico del 26 novembre



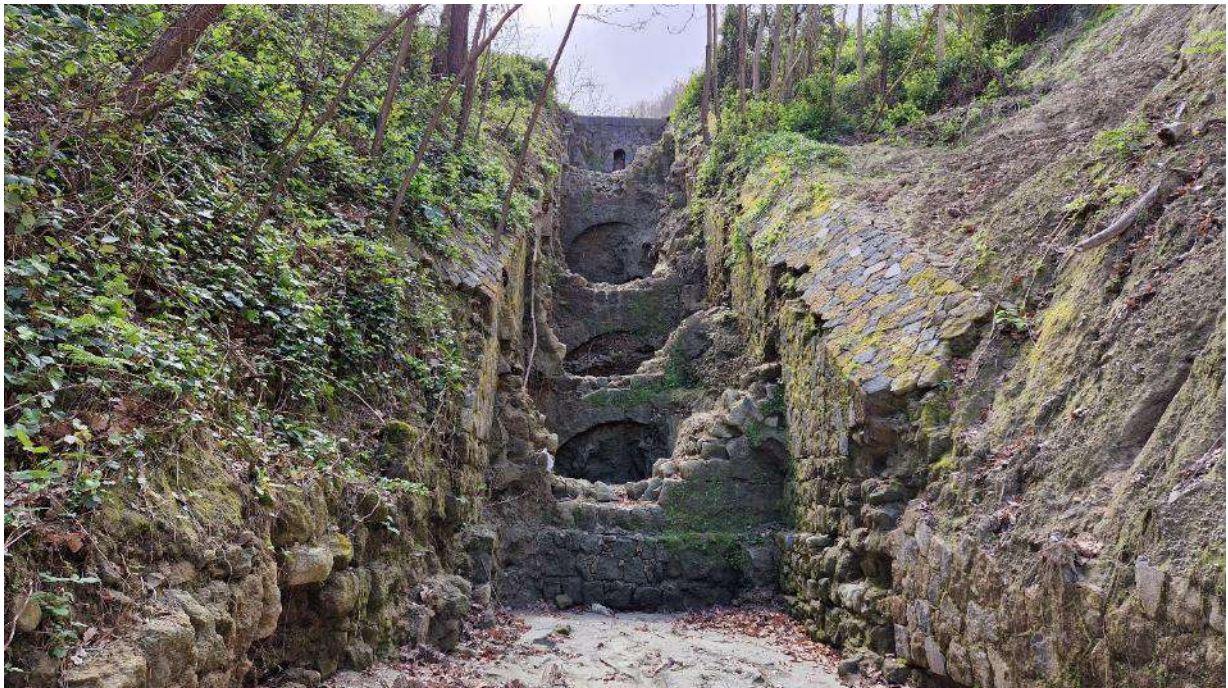
S_ 16_F. Dettaglio briglia in muratura danneggiata a seguito dell'evento dall'impatto di grossi massi trasportati dal flusso di acqua e fango proveniente da monte. Pareti acclivi sempre in fase di scivolamento con presenza di vegetazione



S_ 17_F. Ampia area di accumulo posta a valle del primo sistema di briglie



S_ 18_F. Grossa briglia o diga di altezza 10m e larghezza 25 con contrafforti in muratura di spessore circa 1,5 m



S_ 19_F. La foto mostra un tratto caratterizzato da 4 briglie in un corpo unico. L'opera è stata realizzata molto probabilmente negli anni '30 con grossi blocchi lapidei squadrati e malta e si presenta fortemente danneggiata.



S_ 20_F. Zona di accumulo posta a valle delle sistema di briglie in corrispondenza della confluenza con l'alveo Fontana.



S_ 21_F. Grossa briglia in cemento armato di altezza circa 10 m realizzata a seguito dell'evento franoso del 2009 per stabilizzare il materiale di accumulo fondo alveo



S_22_F. Grossa briglia di altezza di circa 20 m posta poco prima della zona tombata nel tratto urbanizzato. Alla base è stato edificato un impianto termale denominato Terme Piro, in parte collassato ed in parte in incipiente stato di collasso tale da produrre ulteriori elementi all'interno dell'alveo.



S_ 23_ F. Ponte in putrelle e tavelloni realizzato in corrispondenza dell'alveo per consentire in passato l'accesso alle terme



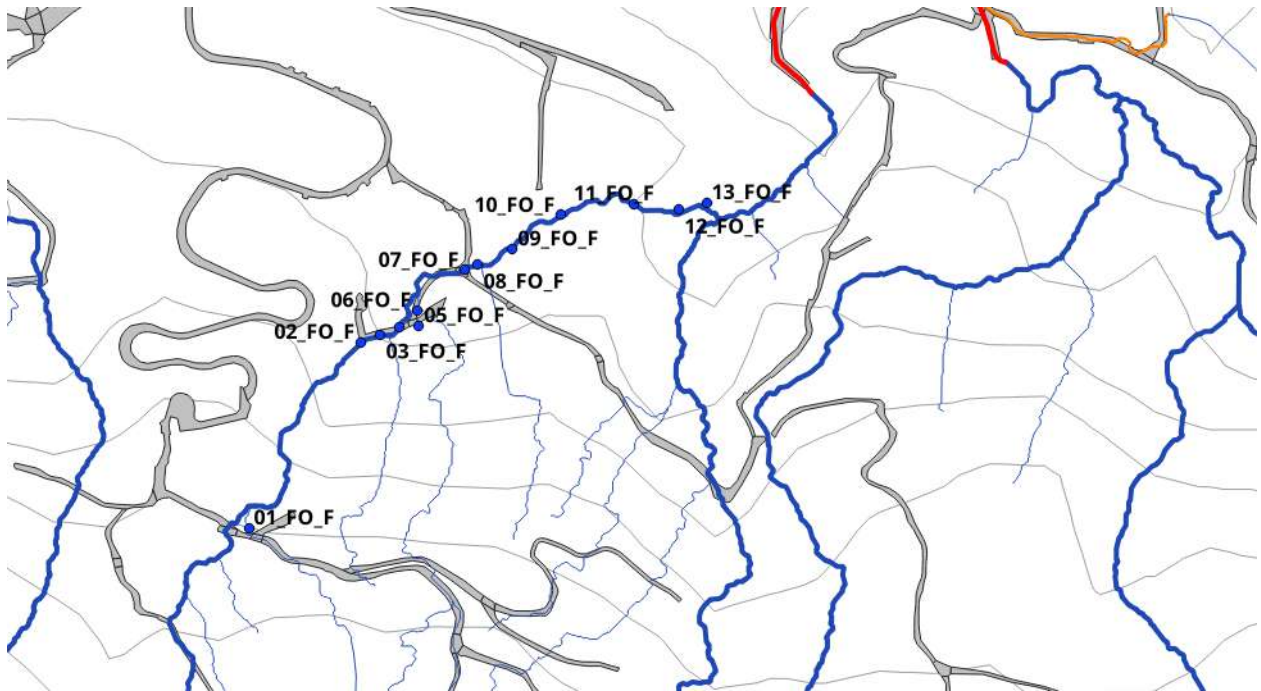
S_ 24_ F. Ponte in putrelle e tavelloni realizzato in corrispondenza dell'alveo per consentire in passato l'accesso alle

terme



S_25_F. Sezione di inizio del tratto tombato.

5.4.2.2 Cava Fontana fino a Cava Senigallia



Localizzazione punti singoli



FO_1_F. Tratto immediatamente a valle di via Celario che collega l'alveo Celario con l'alveo Fontana in corrispondenza di un forte salto idraulico. Il tratto è stato urbanizzato nel corso del tempo così che la strada, gli edifici e le ampie superfici impermeabili hanno alterato il naturale afflusso delle acque.



FO_2_F. Alveo a valle del salto caratterizzato da pareti acclivi e deposito sul fondo. Pareti con forti scivolamenti della coltre superficiale.



FO_3_F. Rudere realizzato sul bordo dell'alveo con strada in cemento armato realizzata sul fondo dell'alveo



FO_4_F. Materiale di accumulo su fondo dell'alveo caratterizzato sia da materiale naturale che da materiale di risulta proveniente da edifici distrutti



FO_5_F. Versanti acclivi dell'alveo caratterizzati da scorrimenti superficiali



FO_ 6_F. Versanti acclivi dell'alveo caratterizzati da scorrimenti superficiali, fondo alveo cementato



FO_ 7_F. Intersezione II traversa Santa Barbara Celario



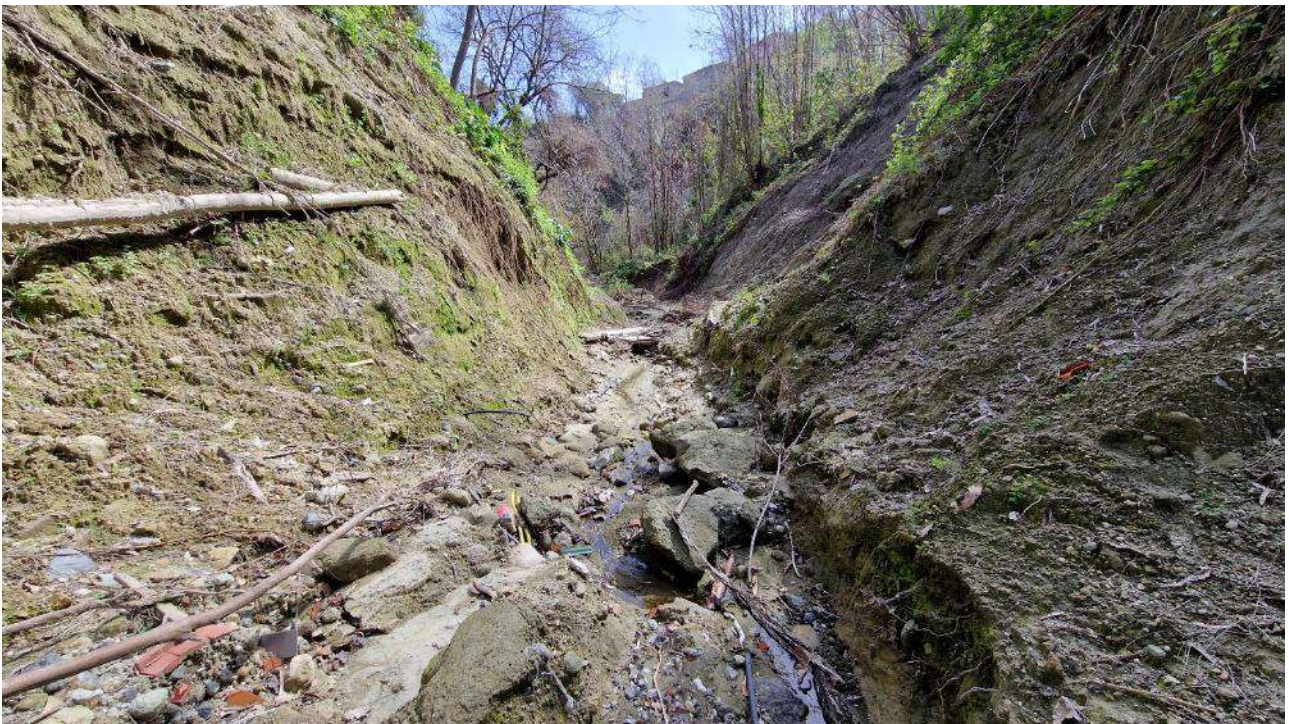
FO_8_F. tubazione di immissione acque piovane raccolte da Via Santa Barbara e immesse nell'alveo Fontana



FO_9_F. Briglia in calcestruzzo armato di altezza pari a circa 1,80 m, realizzata a seguito dell'evento del 2009 con fondazioni esposte e collassate. Presenza massiccia di vegetazione e fango lungo i versanti



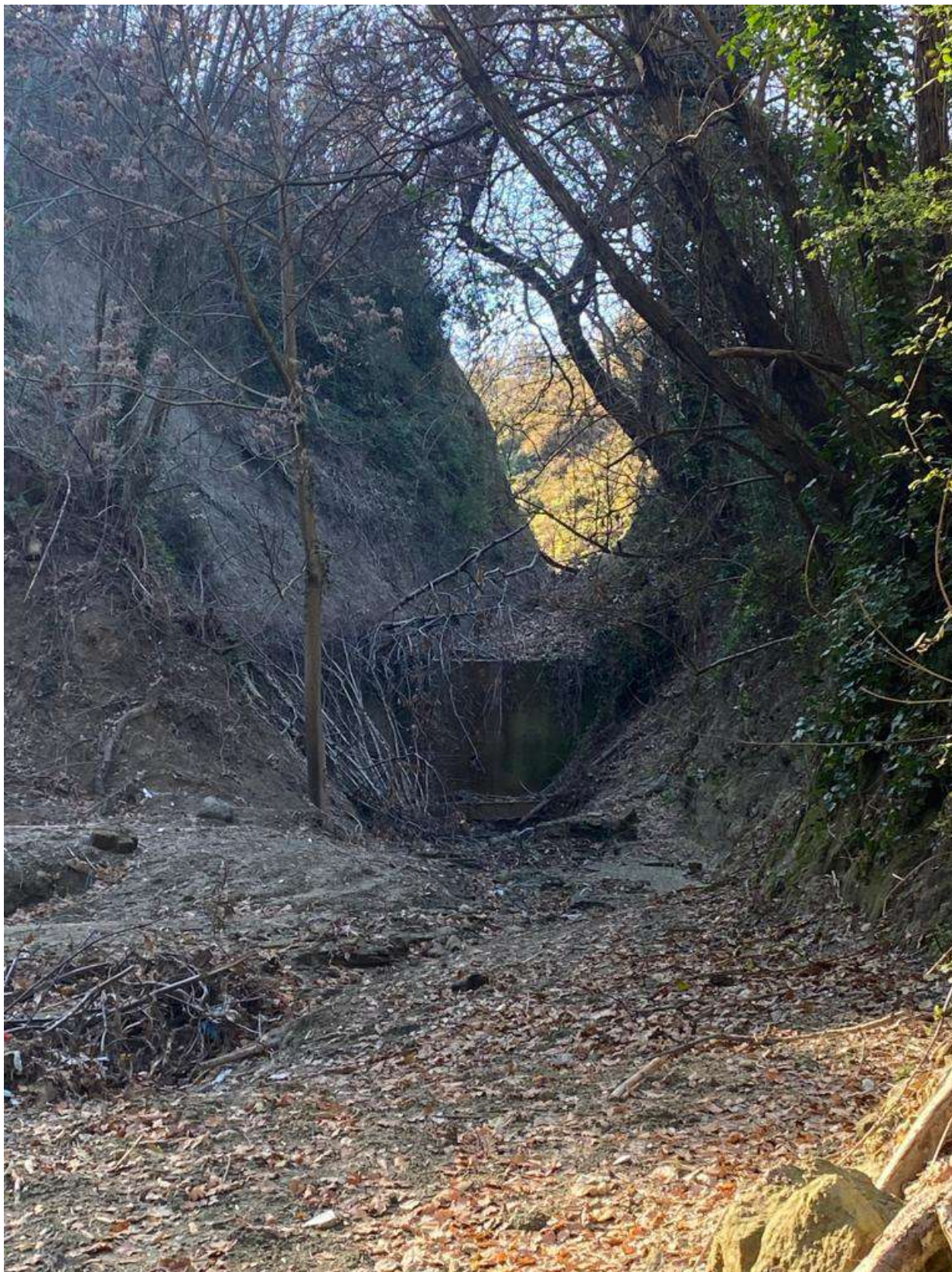
FO_9_F. Briglia in calcestruzzo armato di altezza circa 4 m realizzata a seguito dell'evento franoso del 2009. Si evidenzia un danno nella parte sommitale della sponda in destra idraulica. Deposito di materiale solidificato sul fondo



FO_10_F. Erosione del materiale depositato sul fondo dell'alveo

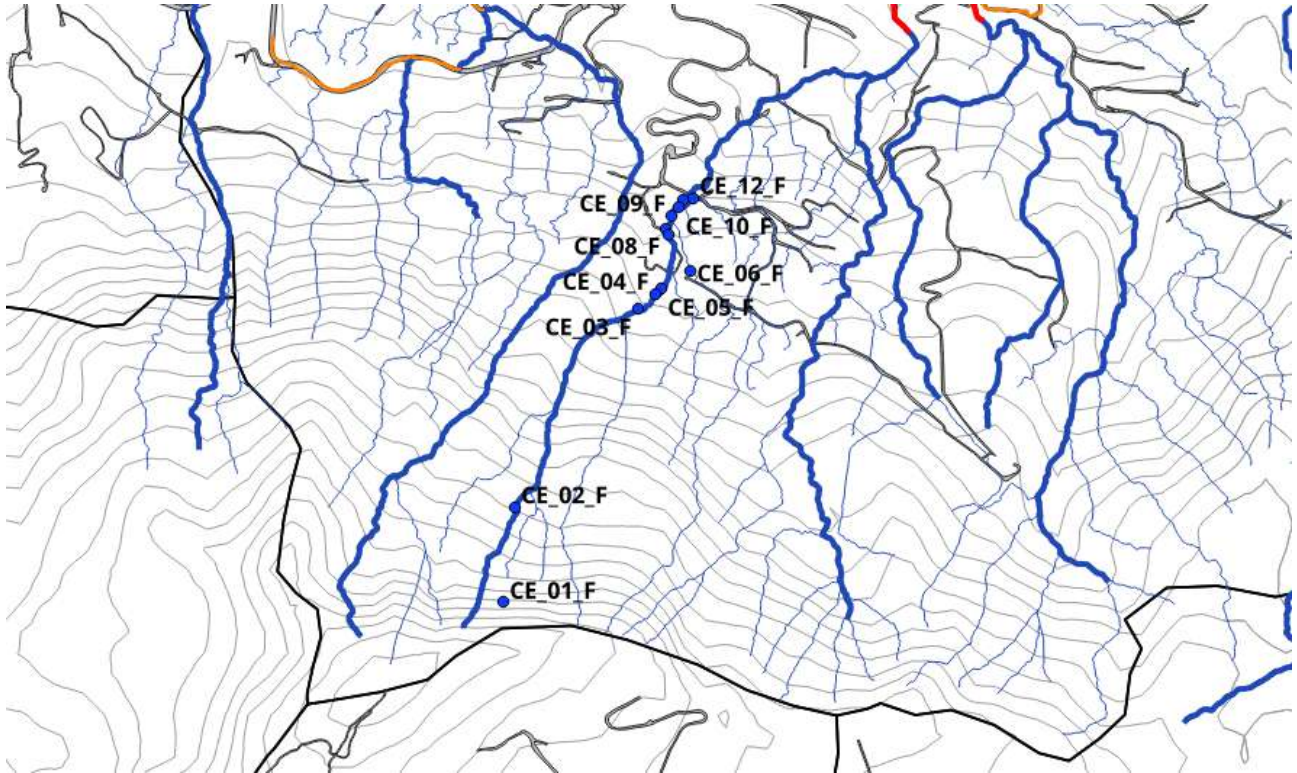


Ultima Briglia in Cemento armato di altezza circa 3 m realizzata post evento 2009 con fondazioni esposte ed erosione del letto di fondazione



FO_ 11_F. Ultima Briglia in Cemento armato di altezza circa 3 m realizzata post evento 2009 con fondazioni esposte. Sezione ridotta dalla presenta di lunghi rami trascinati dalla corrente

5.4.2.3 Cava Celario fino a Cava Fontana



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



CE_1. Punto di innesco della frana



CE_ 2. Alveo eroso dall'evento franoso del 2020. Depositi di fango solidificato lungo il letto della frana



CE_3. Traccia di una briglia in muratura tranciata dall'evento meteorico del 2022



CE_ 4. Grossi massi depositati da eventi fransi passati



CE_ 5. Grossi massi depositati da eventi franosi passati e accumuli di materiale lapideo a valle. Zona di accumulo del Celario



CE_ 6. Zona di accumulo del Celario



CE_ 7. Zona di accumulo del Celario. L'evento del 2022 ha portato alla luce un sistema di briglie realizzato negli

anni '30



CE_ 8. Sistema di briglie realizzate negli anni '30 con blocchi lapidei squadrate. Parziale collasso delle opere



CE_ 9_F. Alveo provvisorio realizzato a seguito dell'evento per la regimentazione delle acque piovane



CE_ 10. Fondo eroso dell'alveo Celario



CE_ 11. Stradina cementata che intercetta l'alveo Celario. Parziale collasso dell'opera di sostegno in prossimità della strada



CE_ 12. Fondo cementato dell'alveo Celario. Presenza massiccia di fango e detriti lungo le sponde laterali

5.4.3 Criticità

Con riferimento al descritto quadro conoscitivo, vengono evidenziate specifiche condizioni di criticità che devono essere tenute in considerazione negli obiettivi degli interventi da progettare.

- a) Preliminarmente si evidenzia che nell'area bacinale del Sinigallia, gli approfondimenti svolti e finalizzati alla definizione di possibili aree sorgente di scorrimenti evolvibili a fenomeni valanghivi o a colate detritiche (cfr. capitolo modellazioni), hanno evidenziato la possibilità che possano mobilizzarsi volumi dell'ordine di migliaia di metri cubi con il coinvolgimento di porzioni di territorio urbanizzato. Sono da verificare, anche attraverso specifiche indagini in sito, situazioni di suscettibilità locale connesse alla presenza di coltri alterate e riporti ricoprenti i versanti prossimi a zone antropizzate.
- b) Condizione a parte è stata valutata per l'alveo Celario, che allo stato attuale è svuotato, per cui solo la formazione di una coltre detritica di analogo spessore a quella mobilizzata potrebbe indurre la possibilità di un evento con simile magnitudo. Come però evidenziato nel capitolo modellazioni sussiste la possibilità che lungo l'asse possano incanalarsi flussi provenienti da incisioni confluenti, che determinerebbero fenomeni

analoghi a quelli del 26 novembre 2022 anche se con volumetrie significativamente inferiori.

- c) La presenza di masse relitte trasportate da correnti significative lungo gli alvei potenzialmente suscettibili di mobilitazione costituisce un'ulteriore problematicità, così come dimostrano anche gli eventi del 2009
- d) Le sequenze altimetriche delle coperture forestali per cava Sinigallia, Celario e Cava Fontana variano da vegetazione rupestre di cornice, a ceduo di castagno non gestito e gestito nella parte altimetricamente inferiore. La criticità gestionale che li accomuna è il sovraccarico di biomassa legato all'interruzione della ceduzione da circa 50 anni. Questa condizione è esacerbata alle quote altimetriche superiori dove la profondità del suolo è esigua, nonché in posizioni rupestri di cornice. In questi soprassuoli, il disaccoppiamento fra ancoraggio radicale e substrato roccioso è esasperato dall'elevato carico di biomassa epigea, che espone gli alberi a sradicamenti e ribaltamenti. Nei tratti medio-bassi dei bacini, queste condizioni critiche sono mitigate da una maggiore profondità del suolo e dall'alternanza spaziale di cedui gestiti e non gestiti, soprattutto nella fascia boscata inferiore. I soprassuoli indenni dall'evento del novembre 2022 e ubicati ai margini della valanga del Celario, sono attualmente vulnerabili dal punto di vista biomeccanico se esposti a disturbi da vento.
- e) Presenza di scarpate di frana attualmente esposte
- f) Sezioni inadeguate in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato

5.5 CAVA CUCCUFRIDDO – CAVA DEL MONACO – CAVA LA RITA FINO ALLA TOMBATURA

5.5.1 Caratteristiche essenziali

5.5.1.1 Caratteri geologici

La geologia del vallone della Cava Cuccufriddo (Figura 5.5.1) è caratterizzata da una successione affiorante con spessore di almeno 600 m, costituita alla base dai depositi marini dell'Unità di Cava Celario (ECV), ricoperti dai tufi del Pizzone (PZE), dai tufi dei Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). La successione forma un'omoclinale immergente a sud di circa 20-30° dissecata da faglie normali ad andamento NO-SE immergenti a NE. Tali faglie ribassano a gradinata

il settore nord-orientale. La parte bassa (ECV) affiora in due settori dell'area (Figura 5.5.1). La successione è ricoperta in discordanza da depositi di tipo debris-flow dell'Unità Grande Sentinella (GSN) con giaciture parallele al versante. Questo deposito ricopre le faglie ad andamento NO-SE e s'ispessisce nel letto di tali strutture. I depositi GSN sono a loro volta coperti da depositi di frane, detriti di versanti e coltri eluvio-colluviali. Nel settore a valle, i depositi GSN poggiano sui depositi marini dell'Unità di Campomanno con giaciture suborizzontali che poggiano verosimilmente sul TME.

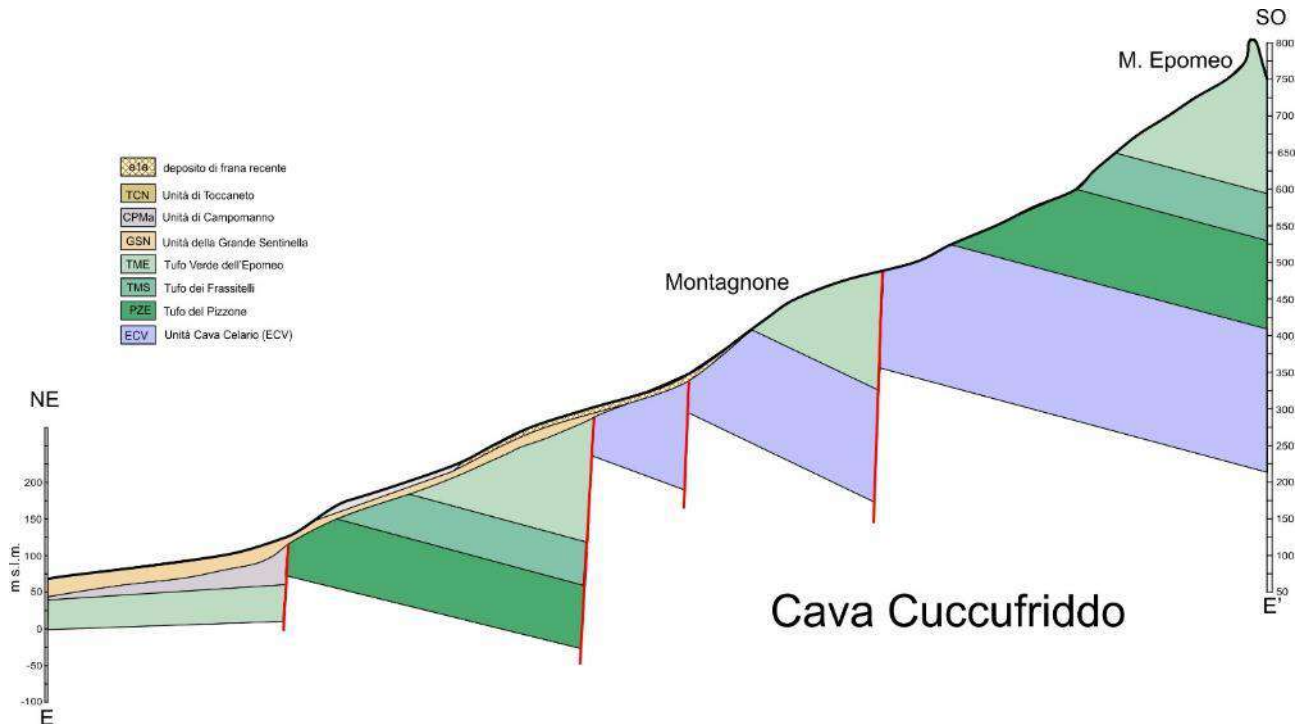


Figura 5.5.1 Sezione geologica del vallone Cava Cuccufriddo

La geologia del vallone della Cava La Rita (Figura 5.5.2) è caratterizzata da una successione costituita alla base dai depositi marini dell'Unità di Cava Celario (ECV), ricoperti dai tufi del Pizzone (PZE), dai tufi dei Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). La successione forma un'omoclinale immergente a sud di circa 20-30° dissecata da faglie normali ad andamento NO-SE immergenti a NE e E-O immergenti a nord. Tali faglie ribassano a gradinata il settore nord-orientale e settentrionale. La successione è ricoperta in discordanza da depositi di tipo debris-flow dell'Unità Grande Sentinella (GSN). Questo deposito ricopre le faglie ad andamento NO-SE e E-O e s'ispessisce nel letto di tali strutture. I depositi GSN sono a loro volta coperti dai depositi tipo debris-avalanche dell'Unità di Lacco Ameno (LMO) associati allo smantellamento del blocco risorgente del Monte Epomeo. Infine, l'intera successione è ricoperta da depositi di frane antiche e

recenti, detriti di versanti e coltri eluvio-colluviali. Nel settore a valle, in analogia con i settori attigui, i depositi GNS poggiano sui depositi marini dell'Unità di Campomanno con giaciture suborizzontali che poggiano verosimilmente sul TME.

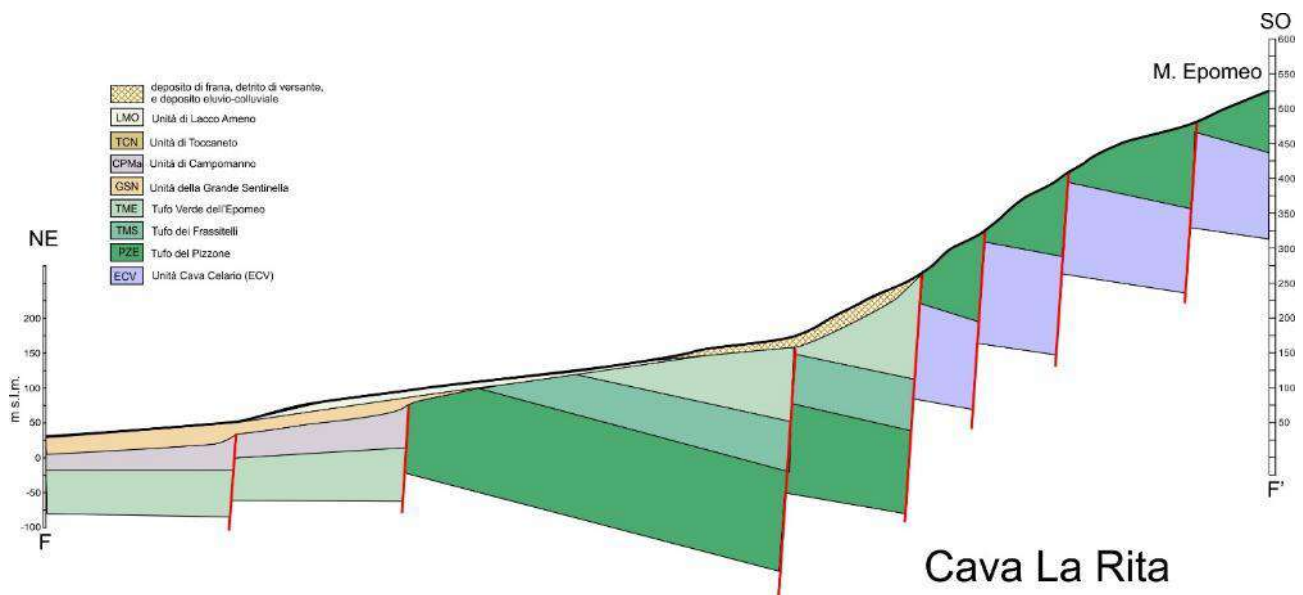


Figura 5.5.2. Sezione geologica del vallone Cava La Rita

5.5.1.2 Aspetti geo-morfo-strutturali e descrizione dei dissesti

Il bacino imbrifero dell'alveo la Rita, in cui confluiscono anche le acque delle cave Cuccufriddo e del Monaco, fa riferimento ad un'ampia area del settore nord occidentale del rilievo epomeico che trova suo punto di colmo nella vetta posta ad oltre 780 m s.l.m.

Dal punto di vista geomorfologico, quest'area è caratterizzata da due ambiti, corrispondenti alle zone di affioramento delle sequenze tufacee che costituiscono la cornice dell'Epomeo, oltre la quota di 250 m, e gli accumuli detritici di vari depositi di frana antichi. Con riferimento alle sezioni di Figura 5.5.1 e Figura 5.5.2 si evidenzia la presenza di una successione costituita alla base dai depositi marini dell'Unità di Cava Celario (ECV) e, in sequenza, dai tufi del Pizzone (PZE), dai tufi dei Frassitelli (TMS) e dal Tufo Verde del Monte Epomeo (TME). La successione forma un'omoclinale immergente a Sud di circa 20-30° dissecata da faglie normali ad andamento NO-SE immergenti a NE. Tali faglie ribassano a gradinata il settore nord-orientale. Nel settore a valle, affiorano i depositi dell'Unità di Campomanno con giaciture suborizzontali. Inoltre, in copertura sono presenti i depositi della formazione di Lacco Ameno (LCO), costituita da accumuli di debris avalanches, e quelli della già richiamata formazione della Gran Sentinella. In tutta l'area sono presenti in modo

significativo, e talora condizionanti anche il deflusso delle acque superficiali, accumuli di frane storiche e recenti quali ad esempio i grandi scorrimenti indotti dal terremoto del 1883.

Come verificabile anche dal paragrafo successivo punti singolari, tutta l'area è interessata da numerose opere idrauliche, la cui realizzazione è da connettere alle attività di risanamento messe in essere successivamente agli eventi 1910. Queste opere, costituite da serie di briglie e soglie, interessano il versante fino ad una quota di circa 370 m.

Inoltre, sono da evidenziare diversi punti di criticità del reticolo per le interferenze di manufatti stradali, costruzioni, che costituiscono veri e propri punti critici.

Per quanto detto circa l'assetto litostrutturale, solo nella zona di attraversamento delle formazioni dell'unità di Campomanno, l'alveo del Cuccufriddo e quello della La Rita risultano approfonditi e caratterizzati da una sezione a V, a volte molto stretta. In tali situazioni i versanti sono particolarmente acclivi e possono raggiungere un'altezza di oltre 40 m.

Gli assetti strutturali e geomorfologici sopra descritti per l'area di quota più elevata sono di fatto simili a quelle che caratterizzano l'area del Celario per cui, come è anche possibile verificare dalle cartografie topografiche storiche e dalle elaborazioni sui dati LIDAR, sussistono diverse incisioni da ritenersi con vario grado di riempimento. Allo stato attuale le conoscenze su questi materiali, anche in termini di consistenza volumetrica, sono limitate.

È già stata descritta la presenza di accumuli di frana, che peraltro sono anche ben definiti dalle cartografie ufficiali nonché dalle analisi morfologiche realizzate in questa sede. È però da evidenziare che quest'area è stata limitatamente coinvolta nell'evento del 26 novembre 2022 (Figura 5.5.3). I rilievi hanno, infatti, definito l'innescò di tre meccanismi di instabilità, classificabili quali scorrimenti traslativi/valanghe detritiche di limitata volumetria. Questi hanno avuto luogo lungo i versanti corrispondenti alle scarpate di faglia sovrastanti la zona di Fango, coinvolgendo i depositi alteritici, i suoli e la vegetazione presente.

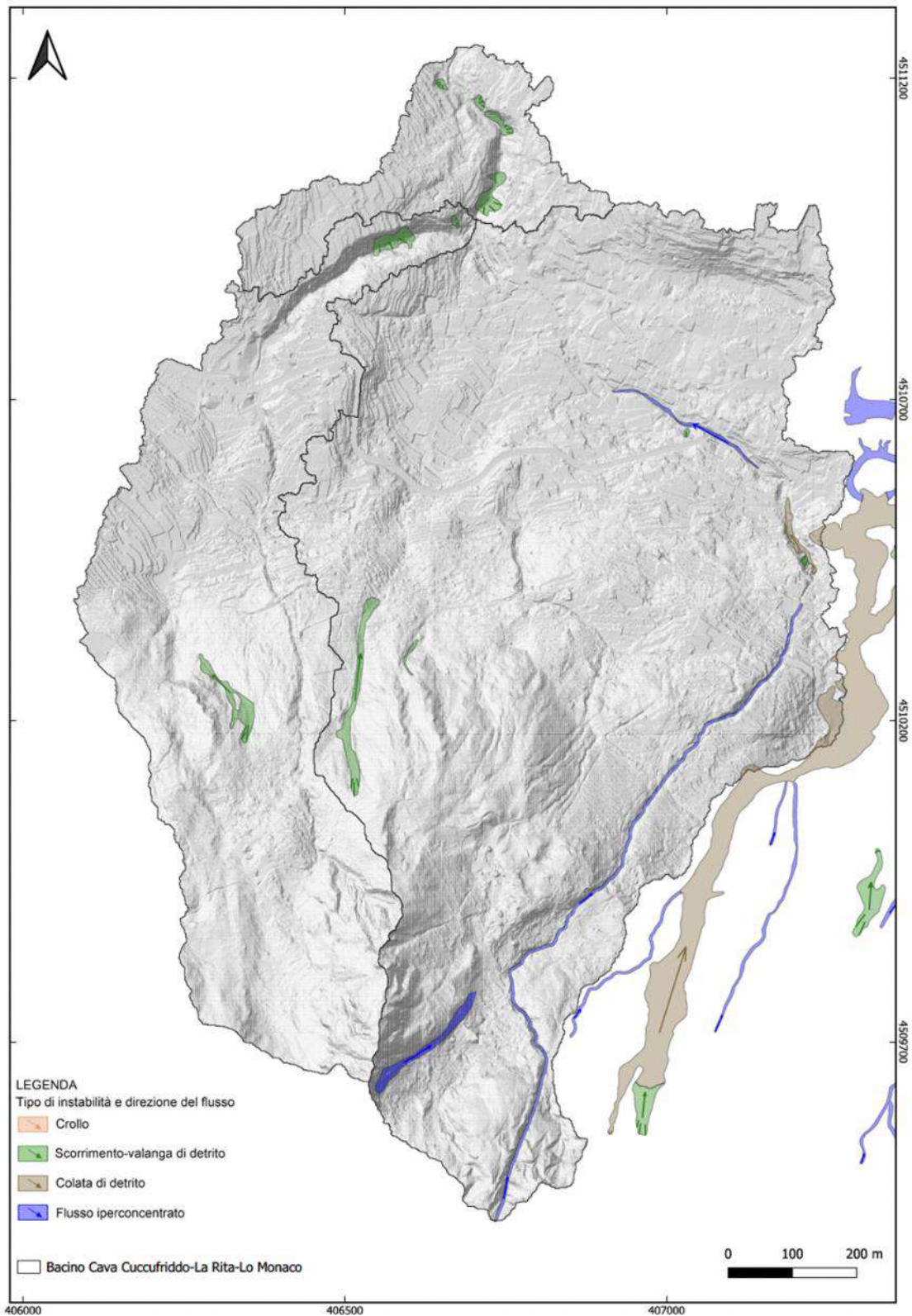


Figura 5.5.3 Bacino Cava Cuccufriddo, Cava La Rita e cava del Monaco: individuazione e classificazione dei principali fenomeni di dissesto.

Le indagini disponibili per l'area sono, come per gli altri bacini, in numero limitato nelle zone a monte della sezione di chiusura. Ciononostante, è stato possibile identificare due sondaggi localizzati lungo i tratti terminali delle cave del Monaco e Cuccufriddo, a monte della confluenza nel fosso la Rita; il primo di essi, eseguito in alveo in corrispondenza di via Cognole, documenta un deposito superficiale di riporto con spessore pari a 5m.

Infine, va rilevata l'esistenza di un intervento di manutenzione idraulica e sistemazione del bacino dell'alveo la Rita, a cavallo dei territori comunali di Casamicciola Terme e Lacco Ameno, commissionato dalla Città Metropolitana di Napoli (identificabile con codice 19_CTa). L'intervento progettato nel 2014, oggetto di perizia di variante nel 2019 e cantierizzato di recente (i lavori sono in corso) si sviluppa per circa 200 m lungo un tratto di alveo strada di Cava Cuccufriddo. Esso prevede la realizzazione di un'opera di presa con briglia selettiva a monte, l'esecuzione di due tratti in sezione scatolare mediante paratie di micropali e solette di contrasto a fondo e in testa allo scavo, alternati con altrettanti tratti di tubazione circolare da realizzare mediante spingitubo (Figura 5.5.4).

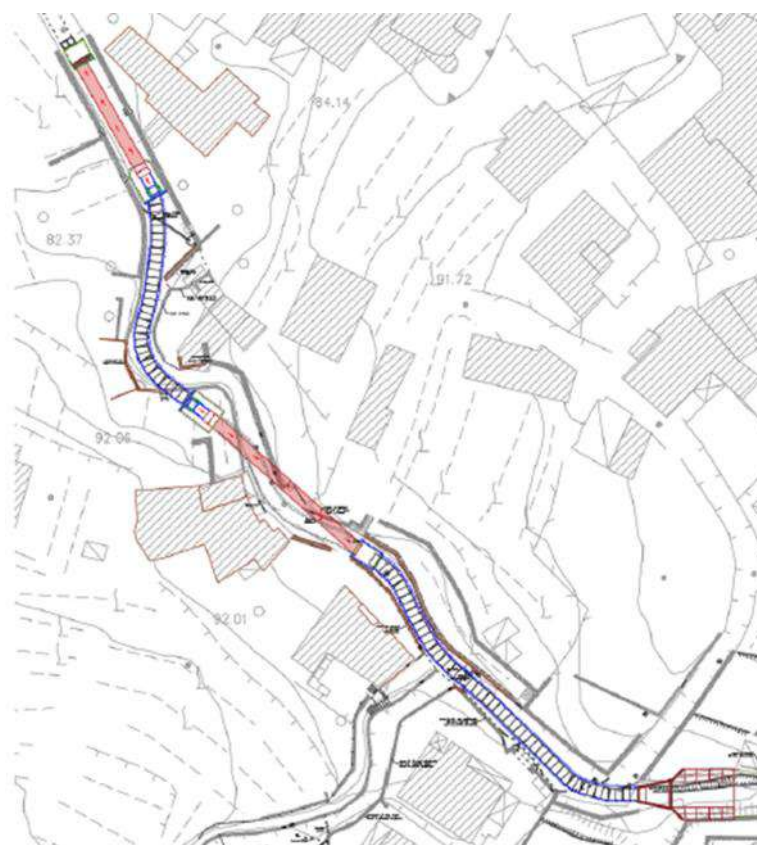
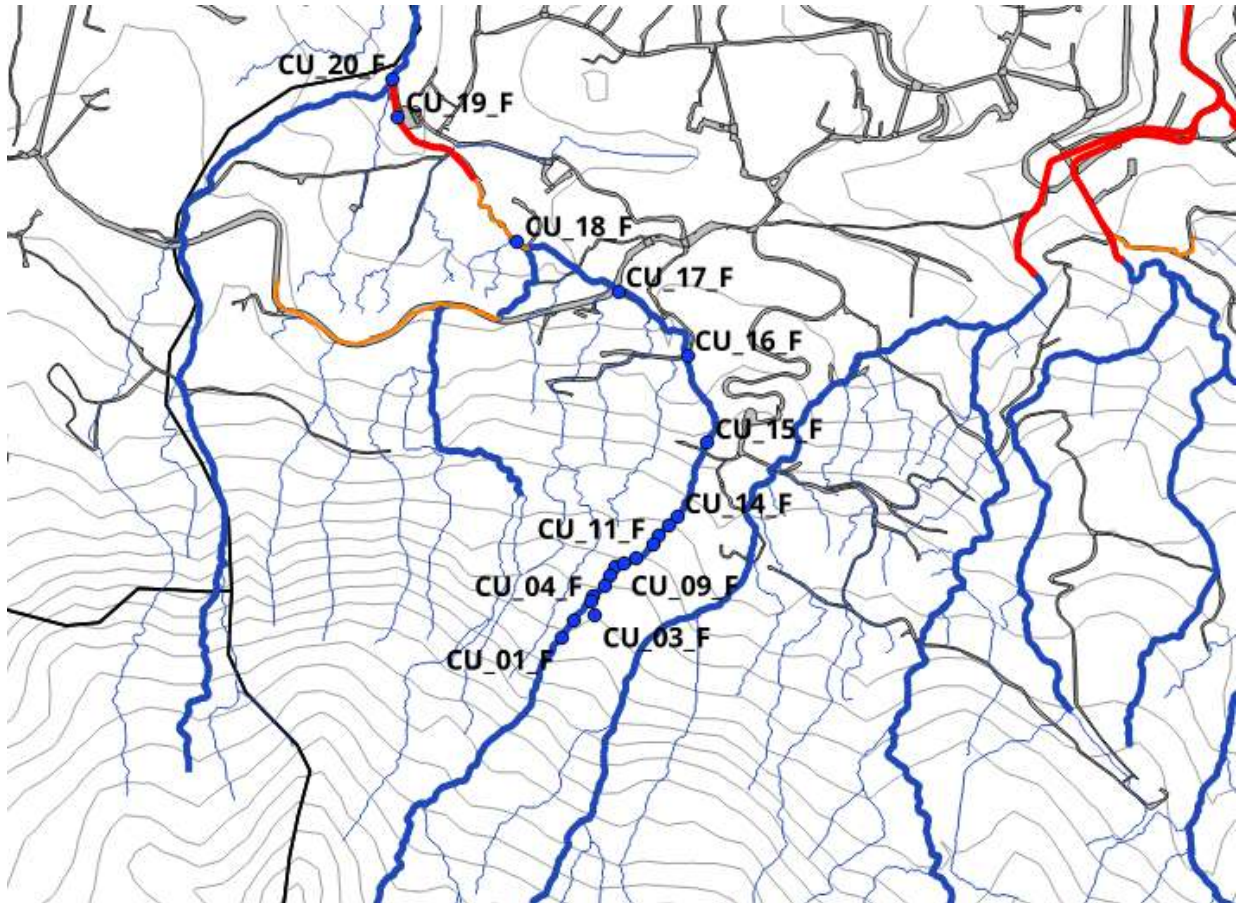


Figura 5.5.4 Intervento in corso lungo alveo la rita

5.5.2 Punti singoli

5.5.2.1 Cava Cuccufriddo fino a cava La Rita



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



CU_1_F. Salto naturale scavato dall'azione erosiva dell'acqua



CU_2_F. Briglia anni '40 immersa nella vegetazione e ricoperta di muschio. Traslazione fuori dal piano della parte sommitale della briglia



CU_3_F. . Muri di sostegno in pietra presenti lungo tutto il versante



CU_4_F. Briglia anni '40 immersa nella vegetazione



CU_5_F. Azione erosiva dell'evento meteorico del 2022 del materiale depositato sul fondo dell'alveo



CU_6_F. Briglia realizzata intorno agli anni '40 in pietre squadrate e malta. Presenza massiccia di materiale di deposito precedente all'evento a monte e a valle



CU_7_F. Azione erosiva dell'evento meteorico del 2022 del materiale depositato sul fondo dell'alveo



CU_8_F. Briglia anni 40 completamente ricoperta di materiale depositatosi negli anni



CU_9_F. Azione erosiva dell'evento meteorico del 2022 del materiale depositato sul fondo dell'alveo



CU_10_F. Briglia anni '40 completamente ricoperta di materiale depositatosi negli anni



CU_11_F. Briglia anni '40 completamente ricoperta di materiale depositatosi negli anni



CU_12_F. materiale depositato sulle pareti dell'alveo



CU_13_F. Briglia anni 40 completamente ricoperta di materiale depositatosi negli anni



CU_14_F. Briglia anni 40 completamente ricoperta di materiale depositatosi negli anni



CU_15_F. Ortofoto che mostra l'attraversamento dell'alveo in una zona urbanizzata attraverso canale di raccolta successivo ad un tratto in cui l'alveo risulta trasformato in sede stradale



CU_16_F. intersezione Alveo con strada di accesso abitazioni



CU_17_F. Ponte borbonico su via montecito



CU_18_F. Alveo strada in località la rita, tratto interessato da un'opera di tombatura dell'alveo



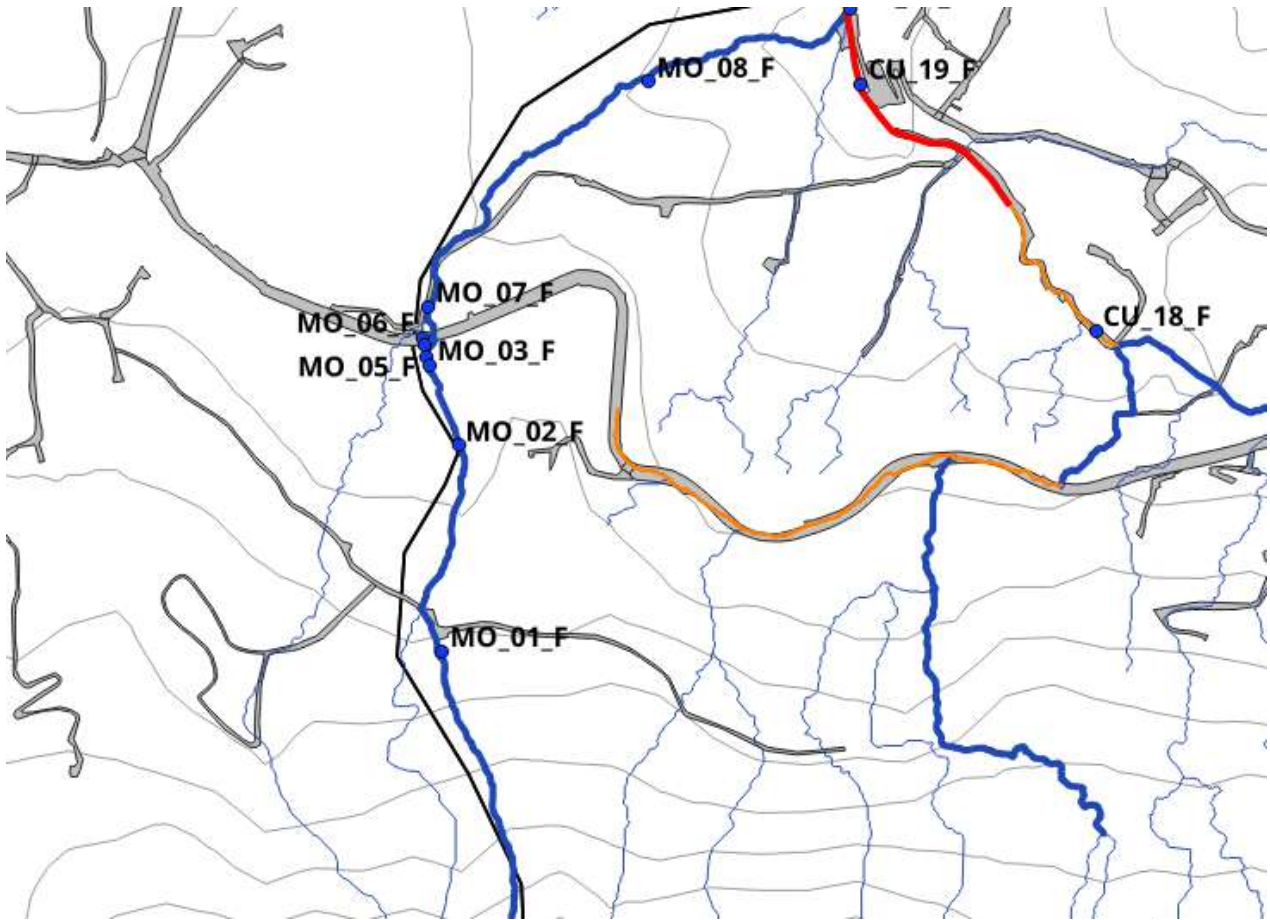


CU_ 19_F. tratto tombato in corrispondenza delle antiche terme la rita che in parte sono crollate



CU_ 20_F. Sezione di uscita dell'alveo tombato

5.5.2.2 Cava del Monaco Fino a Cava La Rita



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



MO_1_F. Sistema di briglie realizzato intorno agli anni 40, costruzione edificata sul bordo laterale dell'alveo. Subito dopo le briglie è presente un tratto dell'alveo cementato utilizzato come strada di accesso alle abitazioni.



MO_2_F. Termine tratto cementato con tratto ad alveo naturale



MO_3_F. Immissione tratto tombato in corrispondenza deposito realizzato in corrispondenza dell'alveo



MO_4_F. Immissione tratto tombato in corrispondenza del deposito realizzato in corrispondenza dell'alveo



MO_5_F. deposito realizzato in corrispondenza dell'alveo



MO_6_F. Via Montecito di intersezione con l'alveo

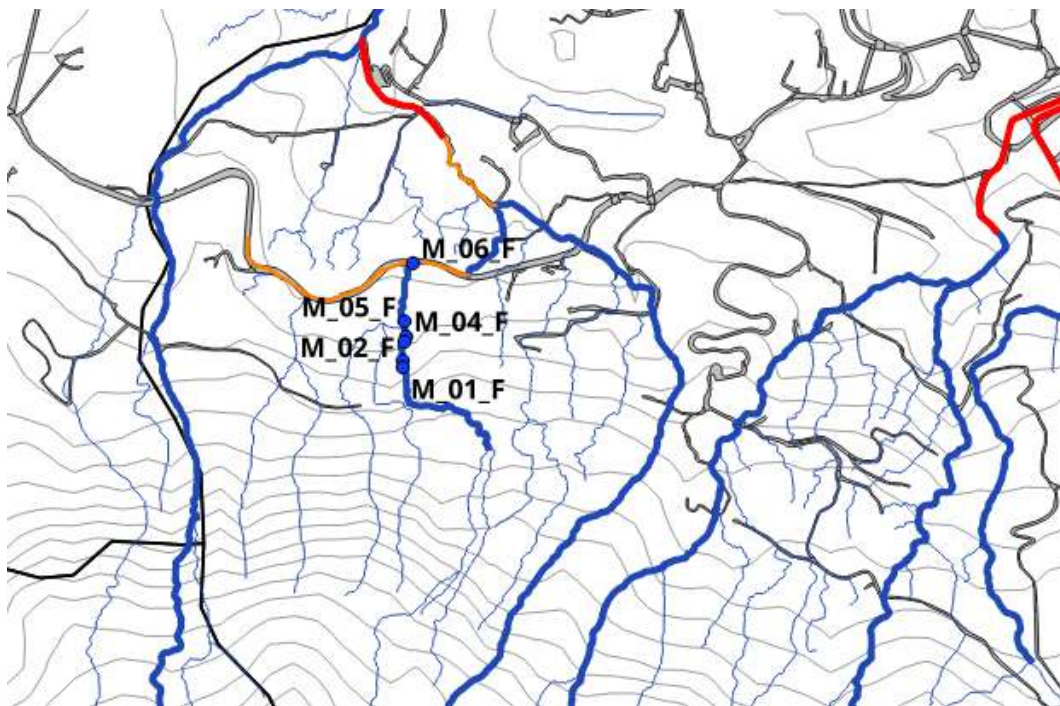


MO_7_F. tratto post attraversamento stradale, l'alveo presenta tratti asfaltati



MO_8_F. Sezione naturale dell'alveo di confluenza verso l'alveo Rita

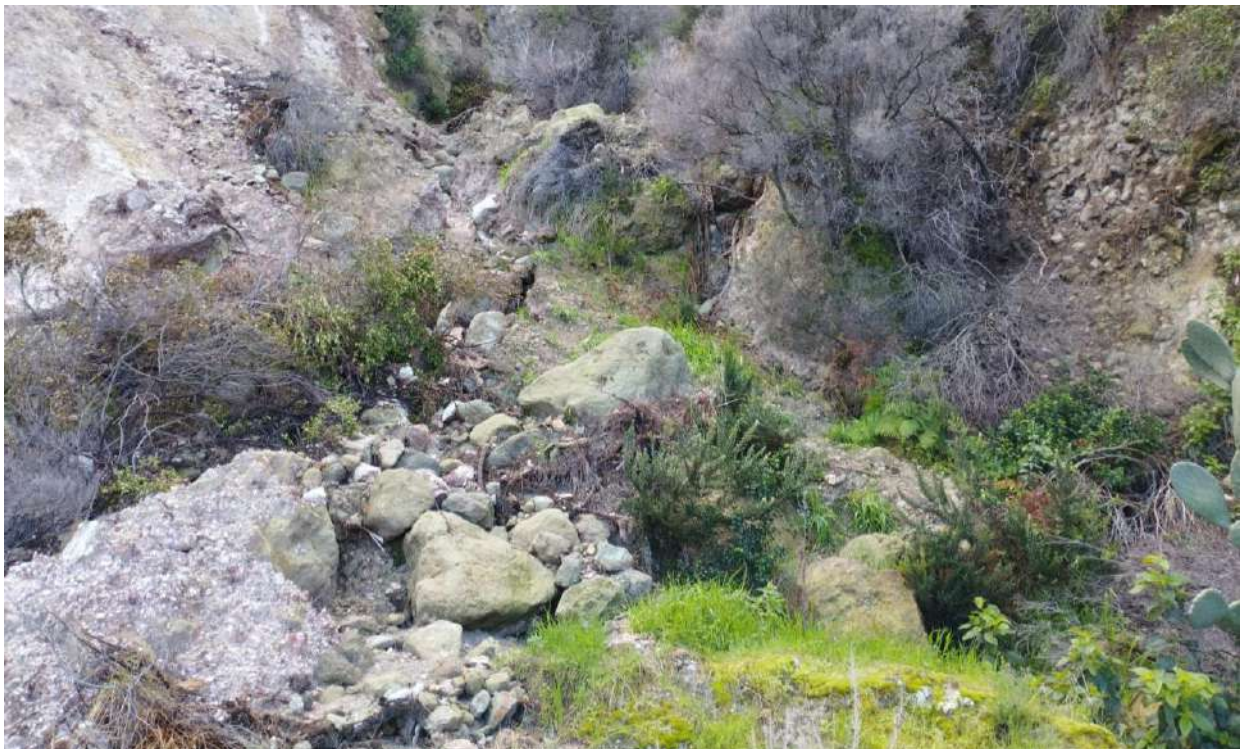
5.5.2.3 Cava Montecito fino a Cava Cuccufriddo



Localizzazione Punti di interesse



M_1_F. Pareti laterali soggette a scivolamenti superficiali, presenza di fonte Termale



M_2_F. Materiale di accumulo depositato sul fondo dell'alveo proveniente da scorrimenti superficiali



M_3_F. Fenomeni erosivi fondo alveo registrati a seguito de



M_4_F. Vecchia briglia in muratura di tufo verde ischitano

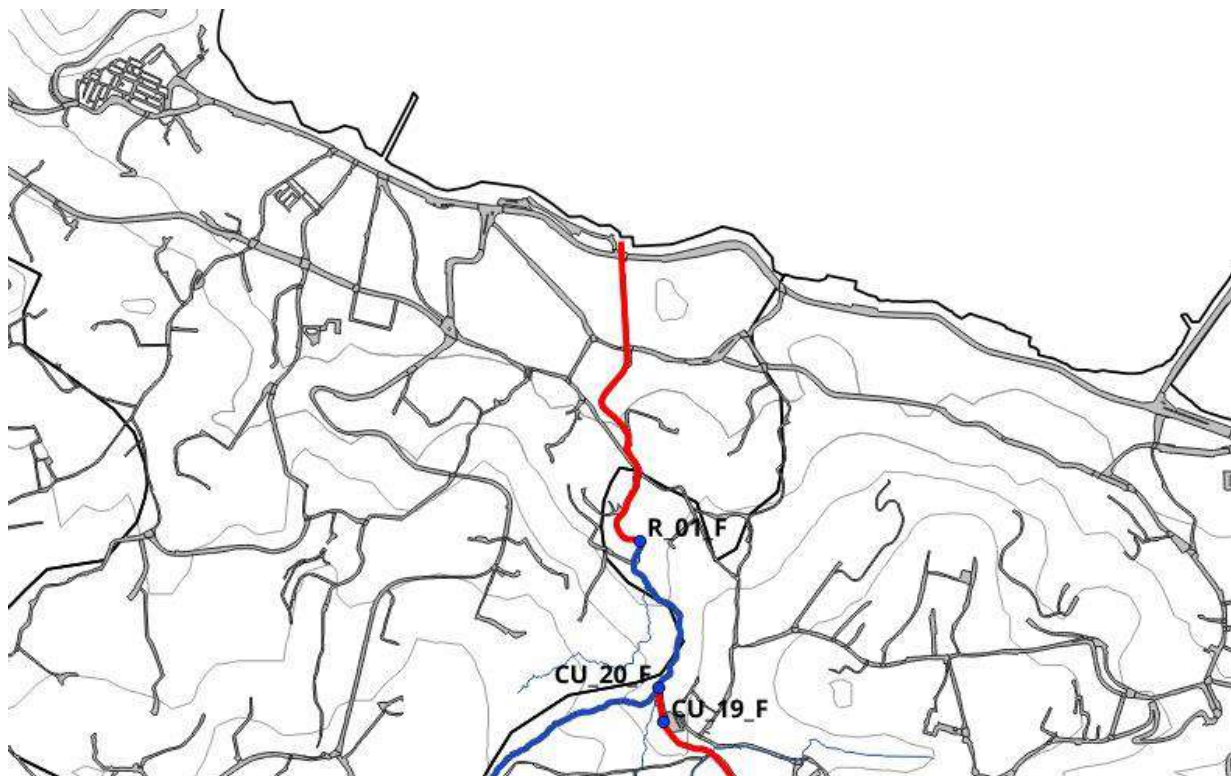


M_5_F. fondo alveo antropizzato con materiale di accumulo e vegetazione

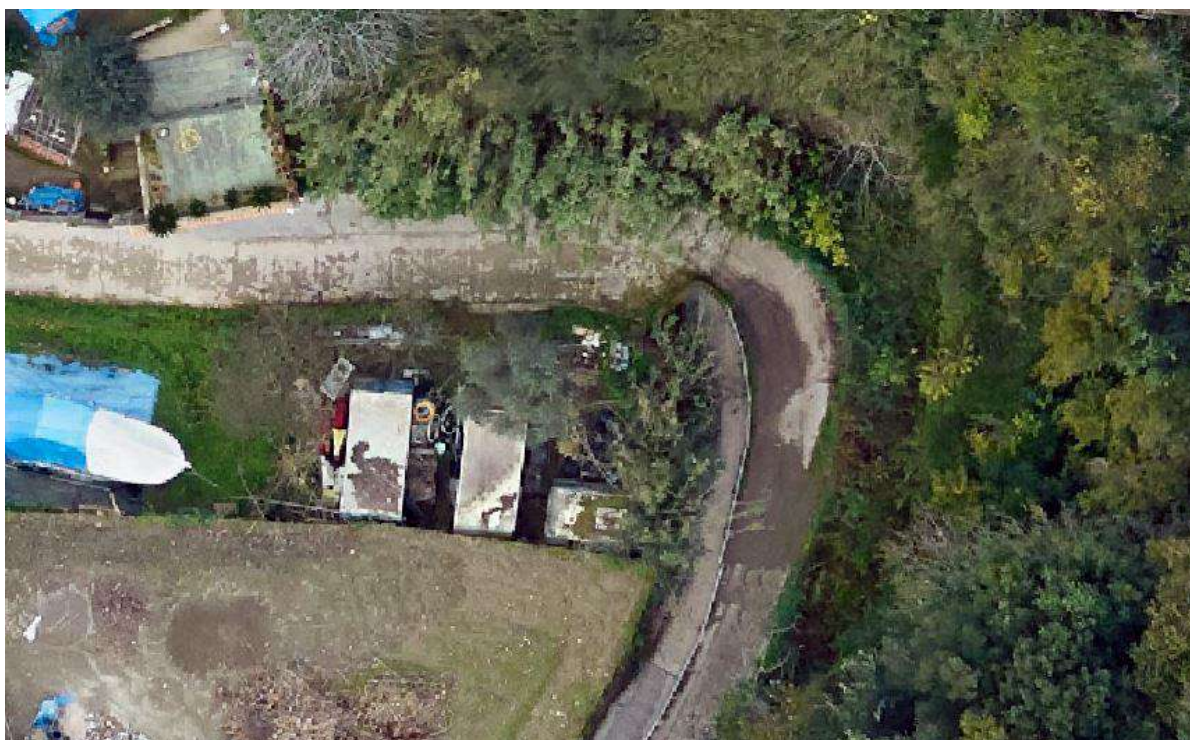


M_6_F. Tratto di attraversamento via Montecito mediante sottopasso posizionato sulla sinistra in corrispondenza del Marciapiede

5.5.2.4 Cava La Rita fino al tratto tombato



Localizzazione punti ritenuti di interesse.



R_1_F. Immissione tratto tombato

5.5.3 Criticità

Con riferimento al descritto quadro conoscitivo, vengono evidenziate specifiche condizioni di criticità che devono essere tenute in considerazione negli obiettivi degli interventi da progettare.

- a) Preliminarmente si evidenzia che, come per il precedente settore considerato, nell'area imbrifera delle cave Cuccufriddo e del Monaco sussistono condizioni predisponenti gli eventi di frana e specificamente di crollo e di scorrimenti traslativi evolventi a valanghe. Gli approfondimenti finalizzati alla definizione di possibili aree sorgente e alle aree di invasione (CAPITOLO 4), hanno evidenziato la possibilità che possano svilupparsi fenomenologie dell'ordine di migliaia di metri cubi, con il coinvolgimento di porzioni di territorio urbanizzato. Anche in questo caso sono da implementare le conoscenze sui riempimenti delle incisioni, la cui presenza è ricostruibile anche sulla base delle documentazioni cartografiche del passato.
- b) Sona da sviluppare approfondimenti circa lo stato di consistenza delle opere allo stato presenti
- c) Le sequenze altimetriche delle coperture forestali di queste cave variano da vegetazione rupestre di cornice, a ceduo di castagno non gestito e gestito nella parte altimetricamente inferiore. La criticità gestionale che accomuna i soprassuoli non gestiti è il sovraccarico di biomassa legato all'interruzione della ceduzione. Alle quote altimetriche superiori la profondità del suolo è esigua e gli apparati radicali non sono ancorati nel substrato roccioso. Pertanto, questi soprassuoli sono esposti a sradicamenti e ribaltamenti a causa dell'elevato carico di biomassa epigea. Nei tratti medio-bassi dei bacini, la stabilità dei soprassuoli forestali è mitigata dalla maggiore profondità del suolo e quindi da un apparato radicale relativamente più profondo, nonché dal minore carico di biomassa dei cedui gestiti della fascia altimetrica inferiore. Punti critici dal punto di vista idraulico lungo alveo
- d) Sezioni inadeguate in corrispondenza dell'imbocco del tratto tombato

5.6 TRATTI TOMBATI FINO AL MARE

5.6.1 Generalità

Nei tratti più vallivi, le acque provenienti dalle diverse cave che solcano il territorio comunale di Casamicciola, di parte di Forio d'Ischia e di Lacco Ameno vanno a confluire in alcuni tratti d'alveo, oramai tombati, all'interno dei quali trovano altresì recapito anche i collettori fognari a servizio delle zone più urbanizzate (Figura 5.6.1).

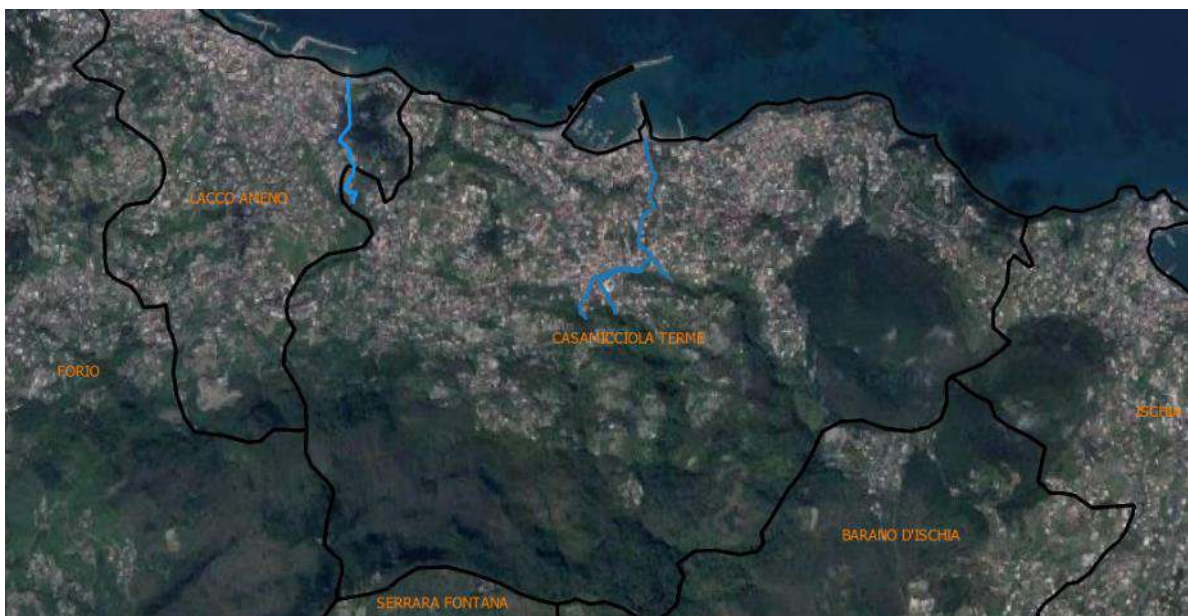


Figura 5.6.1 Inquadramento satellitare dei tratti tombati della rete di drenaggio urbano oggetti di studio

Tali tratti tombati costituiscono, allo stato attuale fonte di notevole preoccupazione, in quanto essi:

- a) sono stati realizzati a tratti, in diversa epoca, via via che il processo di antropizzazione, spingendosi verso i territori pedemontani e montani, spingeva a tombare nuovi tratti più a monte;
- b) presentano forma e dimensioni diversificate lungo il percorso, con pendenze al momento non note ma che, a loro volta, vanno continuamente variando lungo il loro tracciato;
- c) sono realizzati con materiali diversi (alcuni tratti in muratura, con rivestimento cementizio in terno e, in altri tratti, in calcestruzzo armato);
- d) non presentano chiusini e pozzetti in grado di garantire la loro ispezionabilità e la loro manutenzione ordinaria e straordinaria;

e) in alcuni tratti, recentemente percorsi dall'uomo a seguito dei tragici eventi del 26 novembre 2022, le strutture di questi manufatti appaiono ammalorate, e necessitanti almeno di interventi locali di ripristino dell'efficienza strutturale ed idraulica.

I tratti tombati in parola sono ubicati, rispettivamente, all'interno del Comune di Casamicciola Terme, nella sua zona più valliva, e all'interno del territorio comunale di Lacco Ameno, a valle delle Terme La Rita (Figura 5.6.2 e Figura 5.6.3).

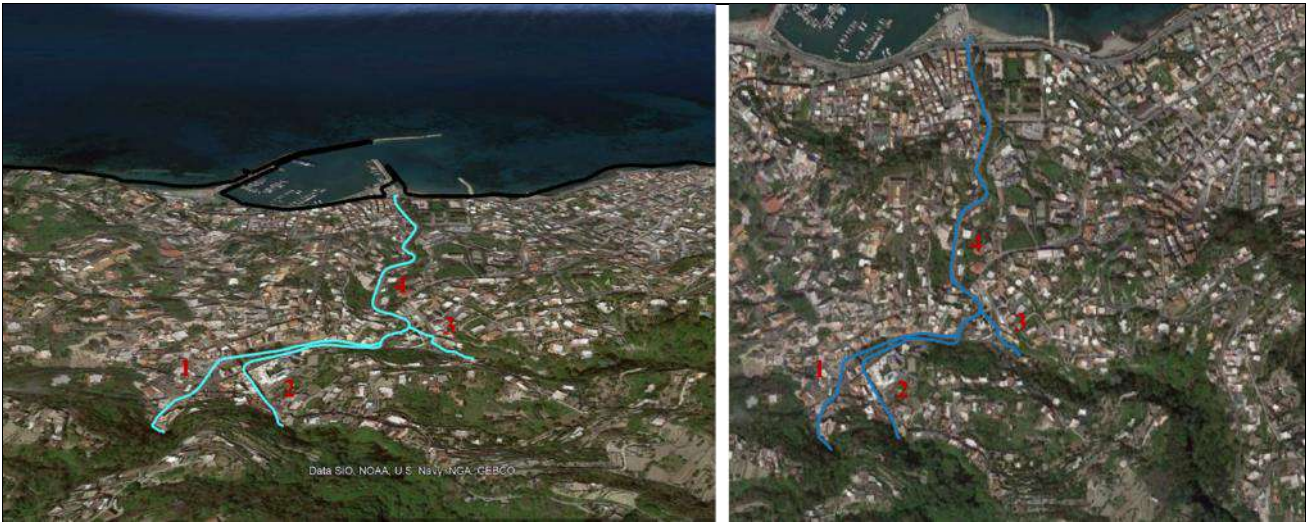


Figura 5.6.2 Inquadramento satellitare dei tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbana del comune di Casamicciola Terme

Nel tempo, in conseguenza della progressiva e spesso disordinata antropizzazione dei luoghi, non solo si è provveduto al tombamento di alcuni tratti d'alveo ma, addirittura, questi tratti si sono andati via via ramificando verso monte, fino a costituire una vera e propria rete, costituita da tratti principali che, a loro volta, confluiscono, dapprima tra di loro e, poi, all'interno del tratto tombato di Via Monte della Misericordia.

Tale "rete" di collettori è costituita, principalmente, da quattro tratti:

- tratto 1, che interessa Via Nizzola per, poi, proseguire lungo Piazza Bagni;
- tratto 2, che interessa Via Ombrasco per, poi, proseguire lungo Via Giuseppe Garibaldi (Piazza Bagni);
- tratto 3, che interessa parte di Corso Vittorio Emanuele per, poi, congiungersi con gli altri due tratti all'inizio di Via Monte della Misericordia;
- tratto 4, derivante dalla confluenza dei primi tre tratti, che interessa tutta Via Monte della Misericordia fino al mare.

Oltre questa porzione di rete, che interessa l'area di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia, lo studio ha riguardato anche il tratto tombato lungo Via Cava (Fig. 5.6.3), al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.



Figura 5.6.3 Inquadramento satellitare del tratto tombato della rete di drenaggio urbano lungo Via Cava al confine tra i comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno.

5.6.2 Studio idraulico

Lo studio idrologico ed idraulico condotto in questa fase delle attività (durante la quale non è stato ancora possibile, vista la ristrettezza dei tempi a disposizione, eseguire i necessari rilievi topografici puntuali e dettagliati), eseguita con l'ausilio del modello numerico SWMM Vers, 5.2.3, ha condotto ad individuare criticità di deflusso solo per portate di rilevante periodo di ritorno (dell'ordine dei 50 anni), ma nelle fasi successive sarà sicuramente necessario approfondire notevolmente il livello di conoscenza di tali collettori.

Nei tratti iniziali, le dimensioni di tali tratti tombati, e la loro configurazione, si presta a facili otturazioni nel caso non solo di trasporto di masse detritiche ma anche nel caso di ingenti flussi iper-concentrati, per cui sarà sicuramente necessario che, nell'immediato futuro, si provveda ad una ristrutturazione degli stessi, munendoli, a monte, di specifiche vasche di deposito e/o di briglie di trattenuta degli arbusti, rami e massi, e più in generale di detriti di notevoli dimensioni, che possono affluire dai bacini a monte.

5.6.3 Schematizzazione rete di drenaggio urbano

La schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa la zona di Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia è riportata nella successiva Figura 5.6.4

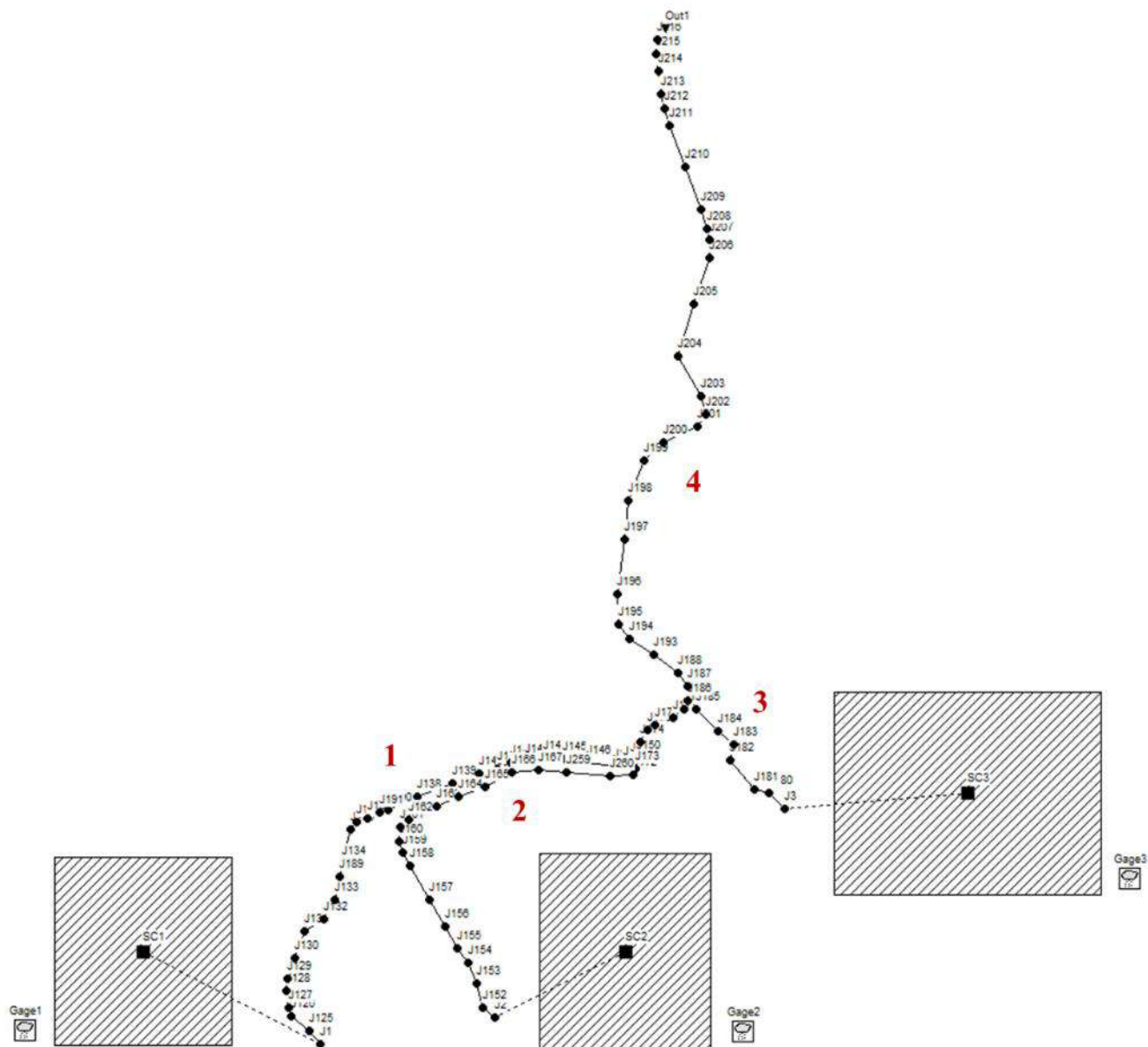


Figura 5.6.4 Schematizzazione tratti tombati costituenti la rete di drenaggio urbano che interessa Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia con identificativo nodi e collettori principali

A sua volta, la schematizzazione della rete di drenaggio (tratti tombati) che interessa Via Cava è riportata nella Figura 5.6.5

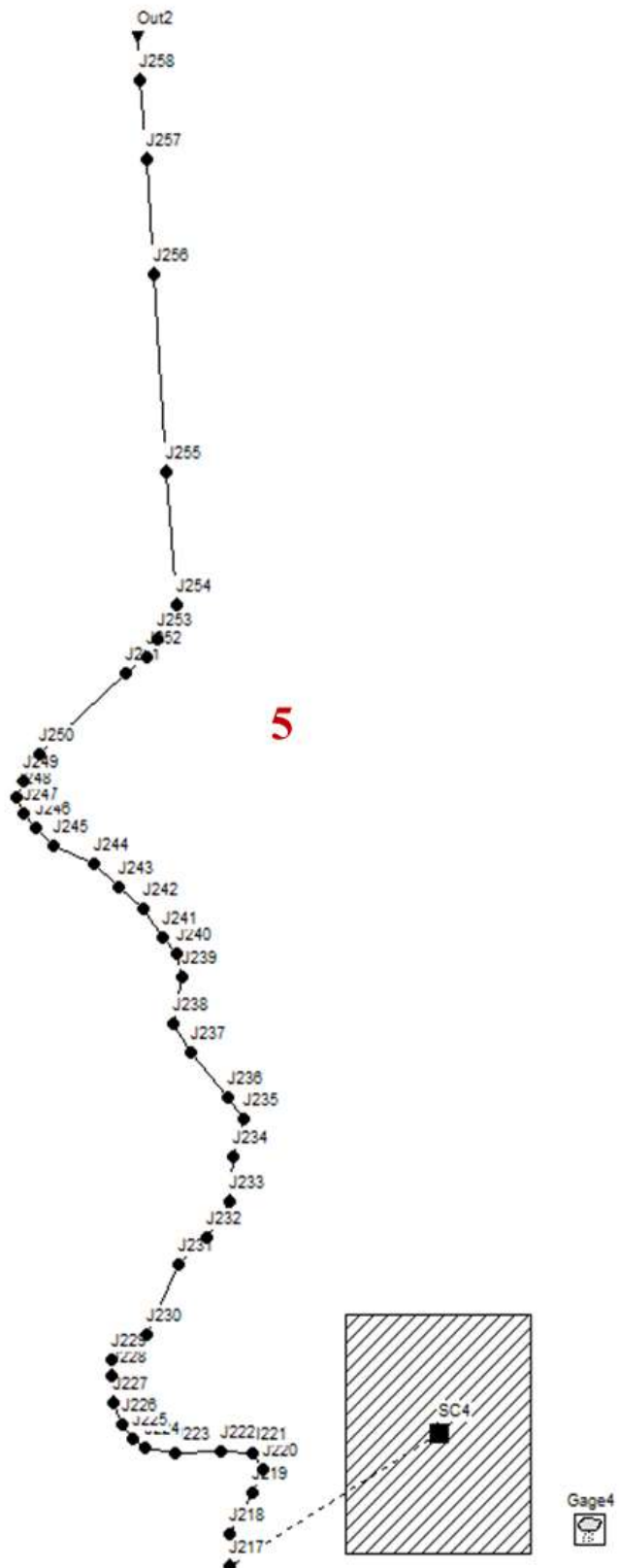


Figura 5.6.5 Schematizzazione tratto tombato costituente la rete di drenaggio urbano in Via Cava con identificativo dei nodi

Nelle seguenti figure, sono rappresentate le sezioni longitudinali schematiche (determinate in base al DTM 1 x 1 m disponibile a valle dell'avento del 26/11/2022) rispettivamente delle condotte 1-4, ovvero Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Figura 5.6.6), 2-4 ovvero Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare (Figura 5.6.7), 3-4 ovvero immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare (Figura 5.6.8), 5 ovvero Via Cava (Figura 5.6.9)

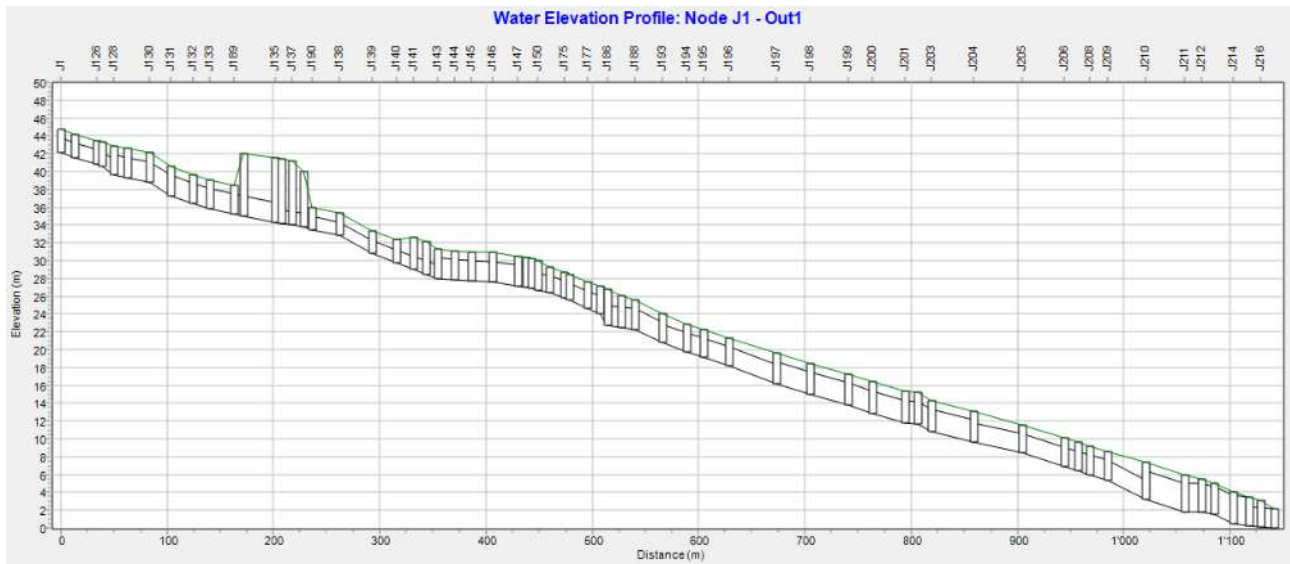


Figura 5.6.6 Sezione longitudinale delle condotte 1-4 ovvero tratti tombati di Via Nizzola per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

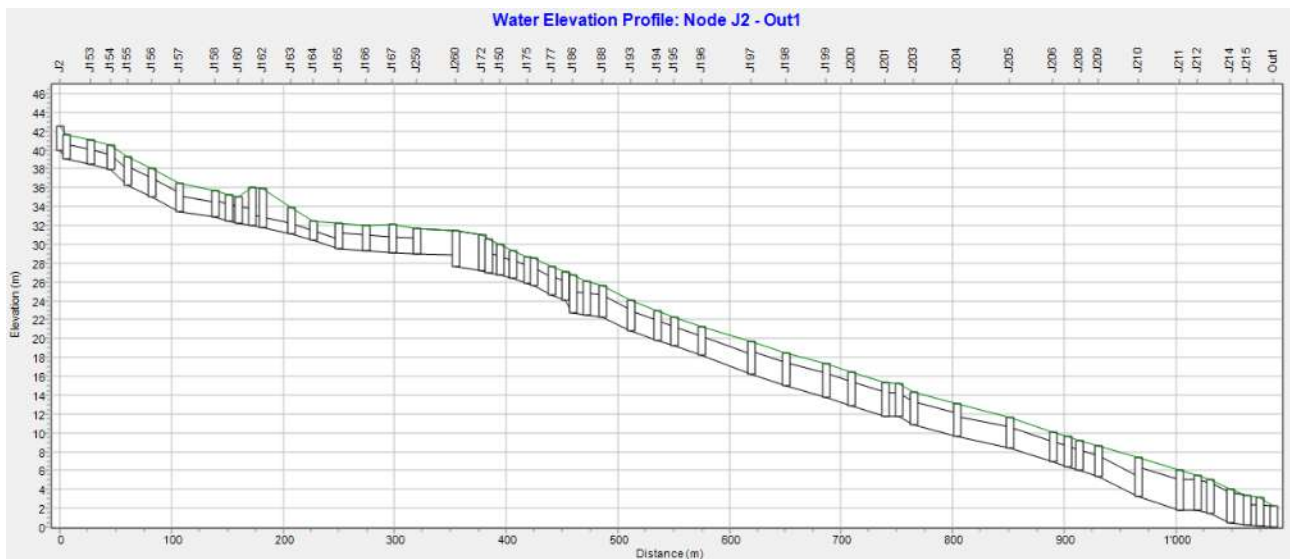


Figura 5.6.7 Sezione longitudinale delle condotte 2-4 ovvero tratti tombati di Via Ombrasco per Piazza Bagni e Via Monte della Misericordia fino a mare.

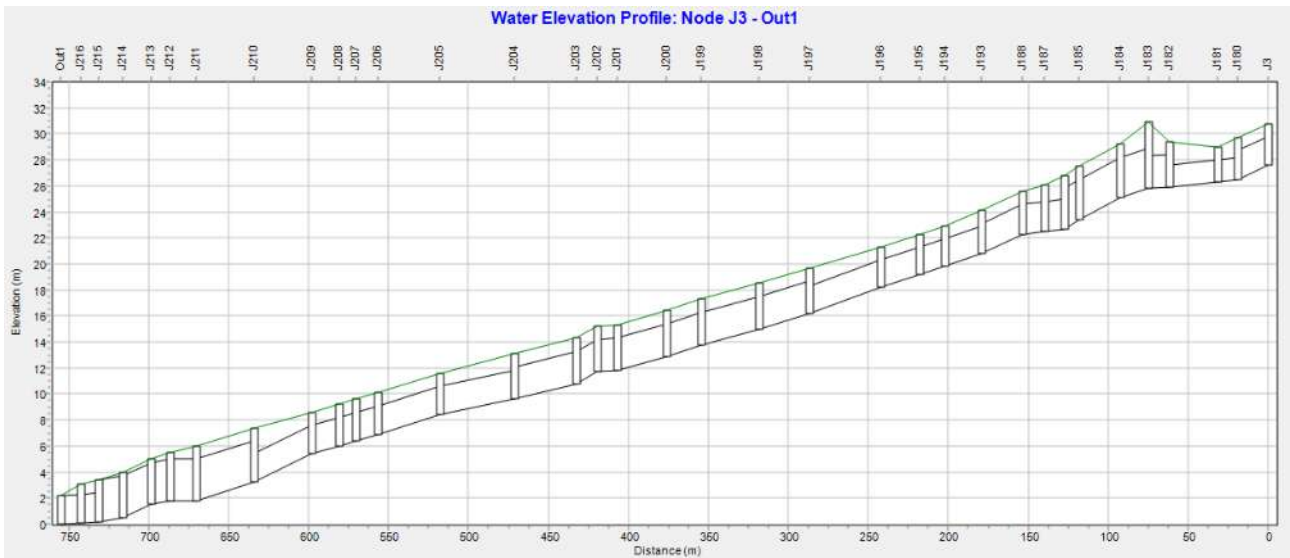


Figura 5.6.8 Sezione longitudinale delle condotte 3-4 ovvero tratti tombati della strada di immissione in Via V. Emanuele per Via Monte della Misericordia fino a mare.

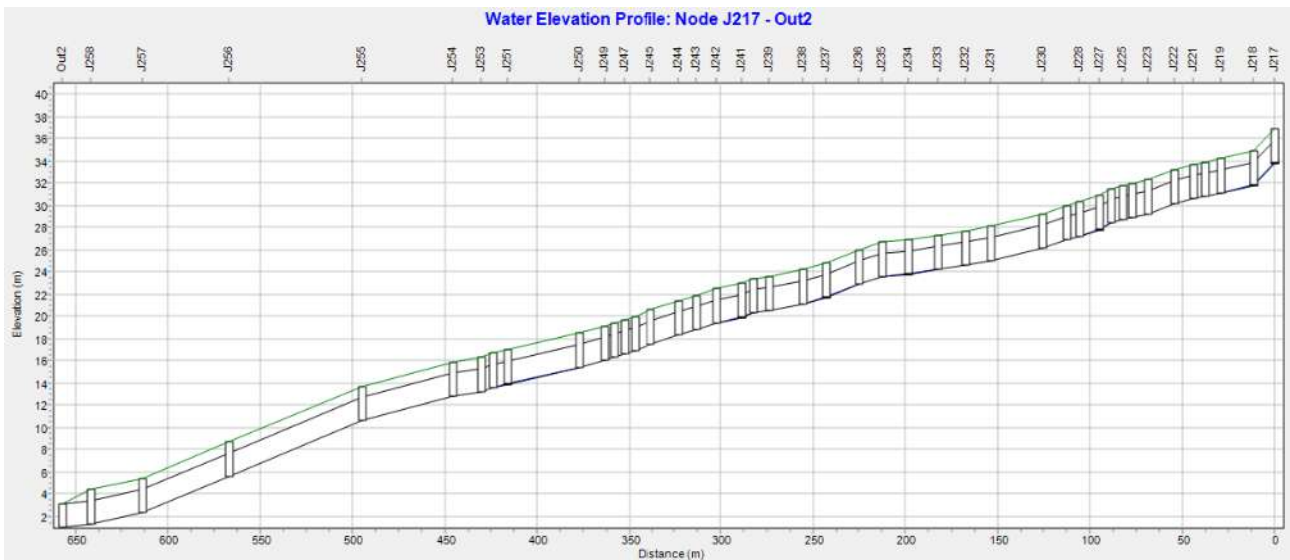


Figura 5.6.9 Sezione longitudinale della condotta 5 ovvero tratti tombati di Via Cava fino a mare.

5.7 ALTRI INTERVENTI PUNTUALI

Si premette che l'esito della "ricerca" è da intendersi sicuramente parziale e in aggiornamento, soprattutto per gli interventi più remoti, considerata la scarsa memoria storica documentale e le difficoltà organizzative dei comuni in particolare nei momenti emergenziali, ma anche da parte degli altri enti interessati.

L'elencazione che segue, non sempre omogenea in termini di dati riportati, per motivi essenzialmente riconducibili alla fonte informativa, è comunque fortemente indicativa della annosa necessità di intervenire a seguito di eventi calamitosi su un territorio palesemente fragile, prevedendo talvolta la necessità di importanti opere di mitigazione del rischio.

Si è partiti da quanto riconducibile al sisma del 21 agosto 2017, riferendo degli interventi di competenza del Commissario Straordinario, sia in prosecuzione ovvero a completamento di quanto avviato dal Commissario Delegato ex OCDPC 476/2017, sia in attuazione di quanto disposto dal D.L. 109/2018 e ss.mm.ii.. Per quest'ultima fattispecie, si evidenzia, come risulta agli atti, che la programmazione di competenza definitiva e complessiva degli interventi sul dissesto idrogeologico, di cui all'art. 26, comma 2, lettera d) del d.lgs n. 109, è stata rinviata alla definizione della pianificazione di cui all'art.24bis, successivamente introdotto a modifica della norma citata, di competenza della Regione Campania.

5.7.1 Interventi di somma urgenza e urgenza post-sisma 2017

Di seguito si riportano sinteticamente gli interventi riconducibili a opere di consolidamento e regimazione di alvei, già avviati dal Commissario Delegato, in parte completati dal Commissario Straordinario, come previsti agli elenchi B e C dell'OCDPC 476/2017, per un importo complessivo di € 1.239.420,45:

- Intervento cod. 01/SU/11 – “Lavori di somma urgenza per interventi di ripristino e messa in sicurezza di Via Epomeo, Via Gran Sentinella e Via Iasolino volto alla riapertura dei tratti viari interessati per consentire l'accesso ai nuclei abitati”, previsto nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo di € 488.040,00, il quale è stato attuato e ultimato;
- Intervento cod. 03/SU/03 – “Altri interventi (regimazione alveo, messa in sicurezza sede stradale), realizzato presso l'Alveo Cava Scialicco nel comune di Lacco Ameno”, previsto nel

comune di Lacco Ameno per un importo complessivo di € 15.753,54, il quale è stato attuato e ultimato;

- Intervento cod. 01/U/07 – “Consolidamento terrapieno su cui insiste edificio scolastico Manzoni anche a protezione abitazioni sottostanti”, previsto nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo pari a € 247.006,00, ad oggi non avviato. Nella stessa area, in quelle limitrofe e/o con le stesse problematiche, nell’Ordinanza Speciale n. 1 del 11/04/2023, è stato inserito l’intervento “Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista, plesso scolastico Manzoni, e plesso scolastico Sanseverino”;
- Intervento cod. 01/U/08 – “Messa in sicurezza Cava Pozzillo a protezione abitazioni”, prevista nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo previsto è pari a € 94.376,91, per il quale intervento è stata riconosciuta l’anticipazione del 10% allo scopo di realizzare lo studio idraulico, con il fine di valutare un eventuale integrazione del contributo;
- Intervento cod. 05/U/04_10 – “Sisma 21/08/2017 - SP431 Borbonica rifacimento muro di sostegno crollato e SP149 Rosario Fango messa in sicurezza muro di sottoscarpa lesionato. SP431 Borbonica Messa in sicurezza parapetto murario e opere di contenimento, da realizzarsi nel comune di Lacco Ameno”, soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli, non avviato, il cui importo complessivo dell’intervento previsto è pari a € 394.244,00.

5.7.2 Interventi primo piano stralcio Commissario Straordinario DI 109/2017 e Ordinanze Speciali

Per quanto concerne gli interventi relativi all’art. 26, comma 2, lett. a), del D.L. 109/2017, il Commissario straordinario, già con Ordinanza n. 14 del 29 ottobre 2020 e in seguito con le Ordinanze Speciali del 11 aprile 2023, ha previsto l’attuazione di interventi di consolidamento per un importo complessivo di € 5.356.336,92, ed in particolare:

- Intervento cod. OP/LA/03 – “Lavori di consolidamento, ripristino e manutenzione straordinaria alle strutture cimiteriali ed al limitrofo costone danneggiati dal sisma del 21.08.2017”, la cui progettazione risulta conclusa e per il quale risulta in fase conclusiva l’indizione di gara per lavori previsti nel comune di Lacco Ameno, il cui importo complessivo

decretato risulta pari a € 1.619.260,70, rimodulato con Ordinanza Speciale n.2 ad € 1.973.669,81 (cod. OS/LA/5b);

- Intervento cod. OP/LA/04 – “Messa in sicurezza del sentiero naturalistico della collina di Montevico nel comune di Lacco Ameno”, l’intervento risulta in affidamento dell’attività progettuale da parte del soggetto attuatore, il cui importo complessivo previsto è pari ad € 217.076,22;
- Intervento cod. OP/CM/01 – “Lavori di ricostruzione del muro di contenimento posto a confine con la ex S.S. 270 (Isola verde) KM 25+700 in Casamicciola Terme (NA) (ex 05/U/05)”, da avviare da parte del soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli per un importo presunto dell’intervento pari a € 3.520.000,00;
- Intervento cod. OS/CT/03 – “Consolidamento del versante sito in località Piccola Sentinella di interazione geologico-tecnica con l’area su cui è ubicato l’edificio scolastico Ibsen” per un importo di € 1.968.118,40;
- Intervento cod. OS/CT/07 – “Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista, plesso scolastico Manzoni, e plesso scolastico Sanseverino” per un importo di € 5.239.280,00;

5.7.3 Interventi precedenti segnalati dai Comuni dell’isola di Ischia e Città Metropolitana

A seguito dell’evento del 26 novembre 2022, in attuazione dell’art. 1 comma 3 lett. b) e c) dell’OCDPC 948, con note prot. nn. 304U/CD/Ischia e 10U/CD/Ischia, rispettivamente del 30/12/2022 e del 02/01/2023, il Commissario ha invitato gli enti a comunicare l’elenco degli interventi riconducibili alle problematiche idrogeologiche dell’isola d’Ischia da finanziare e/o già finanziati, a valere su altre risorse.

Il comune di Casamicciola Terme (con nota prot. n. 3002/2023 del 27/02/2023 e acquisita al prot.

n. 641/CD/Ischia in pari data), il comune di Ischia (con nota prot. n. 740/2023 del 05/01/2023 e acquisita al prot. n. 47/CD/Ischia in pari data), il comune di Lacco Ameno (con nota prot. n. 2428/2023 del 28/02/2023 e acquisita prot. n. 660E/CD/Ischia in pari data), il comune di Barano

(con nota prot. n. 142/2023 del 05/01/2023 e acquisita al prot. n. 48/CD/Ischia in pari data) e il comune di Forio (con nota prot. n. 8622/2023 del 28/02/2023, acquisita al prot. n. 661/CD/Ischia in pari data), hanno comunicato gli interventi di cui sono soggetti attuatori e le cui fonti di finanziamento non sono riferibili a quelli ricompresi all'OCDPC 476/2017 o D.L. 109/2018.

(Gli interventi di cui è soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli sono stati desunti dal programma triennale delle opere pubbliche dell'Ente di cui non è disponibile la fonte di finanziamento).

Detti finanziamenti, ammontanti a complessivi € 30.231.575,05, risultano provenienti dalla Presidenza del Consiglio, da fondi Ministeriali, da fondi Regione Campania e Città Metropolitana di Napoli.

Gli enti riferiscono che necessitano ulteriori fondi, per un importo stimato complessivo di circa € 4.300.000,00, per dare avvio e/o completamento delle opere. Mentre il Comune di Ischia segnala ulteriori interventi per un importo complessivo di circa € 1.100.000,00 ma non ancora finanziati.

Di seguito si riporta un dettaglio degli interventi finanziati con indicazione dello stato del finanziamento concesso e dell'avanzamento dell'intervento suddiviso per soggetto attuatore:

5.7.3.1 Comune di Casamicciola Terme

- Intervento di “Bonifica e consolidamento dei versanti a monte del centro abitato del Comune di Casamicciola Terme (NA)”, intervento suddiviso in 2 lotti per un importo complessivo di € 1.316.207,61, il primo lotto risulta progettato, per entrambi i lotti la fonte di finanziamento è della Presidenza del Consiglio (Servizio per le procedure di utilizzazione dell'otto per mille dell'IRPEF e per gli interventi straordinari sul territorio) e riguardano unicamente la fase di progettazione;
- Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località ex cava Baino (Cretaio) – cava Pozzillo, l'importo complessivo previsto dell'intervento ammonta a € 821.837,61, l'intervento risulta avviato sotto riserva di legge e risulta interamente finanziato con fondi del Ministero dell'Interno;
- “Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Piccola Sentinella – via vicinale Castanito”, l'importo complessivo dell'intervento ammonta a €

702.297,59 ed è finanziato con fondi ministeriali del marzo 2021, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;

- “Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Paradisiello”, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 971.262,63 ed è finanziato con fondi ministeriali del marzo 2021, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;
- “Interventi di sistemazione idrogeologica nel Comune di Casamicciola Terme riportato al n. 18 della delibera CIPE del 20 dicembre 2012”, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 3.100.000,00 ed è finanziato con fondi assegnati alla Regione Campania, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;

5.7.3.2 *Regione Campania RENDIS (int. ex ARCADIS)*

- Intervento di sistemazione Cava Senigallia, importo intervento finanziato € 180.000,00, fonte finanziamento Regione Campania, intervento non avviato;

5.7.3.3 *Città Metropolitana di Napoli*

- “Lavori di manutenzione idraulica e sistemazione del bacino dell’Alveo La Rita nei comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno”, importo complessivo finanziato dell’intervento di € 1.741.766,30, la progettazione è stata espletata e i lavori sono stati recentemente avviati;

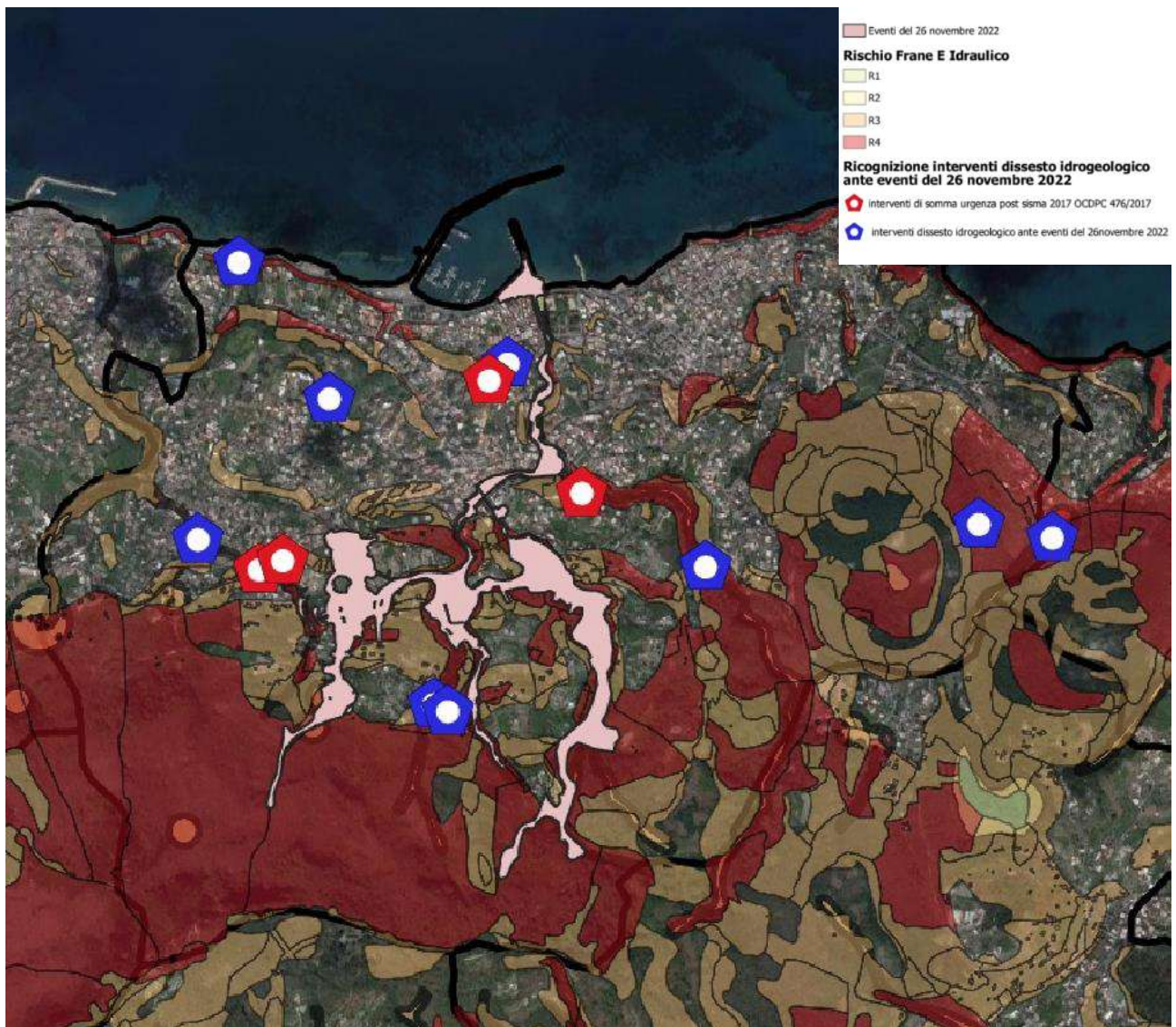


Figura 5.7.1. Planimetrie con ubicazione degli interventi

BIBLIOGRAFIA

ACOCELLA V. & FUNICIELLO R. (1999). The interaction between regional and local tectonics during resurgent doming, the case of the Island of Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 88, 109-123.

BARRA D., CINQUE A., ITALIANO A. & SCORZIELLO R. (1992). Il Pleistocene superiore marino di Ischia, paleoecologia e rapporti con l'evoluzione tettonica recente. *Studi Geologici Camerti*, (1992/1), 231-243.

BROWN, R. J., ORSI, G., & DE VITA, S. (2008). New insights into Late Pleistocene explosive volcanic activity and caldera formation on Ischia (southern Italy). *Bulletin of Volcanology*, 70, 583-603.

BROWN, R. J., CIVETTA, L., ARIENZO, I., D'ANTONIO, M., MORETTI, R., ORSI, G., ... & MENZIES, M. A. (2014). Geochemical and isotopic insights into the assembly, evolution and disruption of a magmatic plumbing system before and after a cataclysmic caldera-collapse eruption at Ischia volcano (Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 168, 1-23.

CARLINO S, CUBELLIS E, LUONGO G., OBRIZZO F. (2006). On the mechanics of caldera resurgence of Ischia Island (southern Italy). In: TROISE C, DE NATALE G, KILBURN C. (Eds.) "Mechanisms of Activity and Unrest at large Calderas". Geological Society, London, Special Publications, 269, 181-193.

CARLINO, S. (2012). The process of resurgence for Ischia Island (southern Italy) since 55 ka: the laccolith model and implications for eruption forecasting. *Bulletin of Volcanology*, 74, 947-961.

CHIODINI G., AVINO R., BROMBACH T., CALIRO S., CARDELLINI C., DE VITA S., FRONDINI F., GRANIREI D., MAROTTA E. & VENTURA G. (2004) - Fumarolic and diffuse soil degassing west of Mount Epomeo, Ischia, Italy. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 133, 291-309.

CIVETTA L., GALLO G. & ORSI G. (1991). Sr- and Nd-isotope and trace-element constraints on the chemical evolution of magmatic system of Ischia (Italy) in the last 55 ka. *J. Geoth. Res.*, 46, 213-230.

D'ANTONIO, M., TONARINI, S., ARIENZO, I., CIVETTA, L., DALLAI, L., MORETTI, R., ... & TRECALI, A. (2013). Mantle and crustal processes in the magmatism of the Campania region: inferences from

mineralogy, geochemistry, and Sr–Nd–O isotopes of young hybrid volcanics of the Ischia island (South Italy). *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165, 1173-1194.

DE MARTINO, P., TAMMARO, U., OBRIZZO, F., SEPE, V., BRANDI, G., D'ALESSANDRO, A., ... & PINGUE, F. (2011). La rete GPS dell'isola d'Ischia: Deformazioni del suolo in un'area vulcanica attiva (1998-2010). *Quaderni di Geofisica*.

DE NOVELLIS, V., CARLINO, S., CASTALDO, R., TRAMELLI, A., DE LUCA, C., PINO, N. A., ... & TIZZANI, P. (2018). The 21 August 2017 Ischia (Italy) earthquake source model inferred from seismological, GPS, and DInSAR measurements. *Geophysical Research Letters*, 45(5), 2193-2202.

DE VITA, S., SANSIVERO, F., ORSI, G., & MAROTTA, E. (2006). Cyclical slope instability and volcanism related to volcano-tectonism in resurgent calderas: the Ischia island (Italy) case study. *Engineering Geology*, 86(2-3), 148-165.

DE VITA S, SANSIVERO F, ORSI G, MAROTTA E, PIOCHI M. (2010). Volcanological and structural evolution of the Ischia resurgent caldera (Italy) over the past 10 ka. In: Groppelli G, Viereck L, editors. "Stratigraphy and geology in volcanic areas", GSA book series, Special paper, vol. 464;. p. 193–239.

DELLA SETA M, MAROTTA E, ORSI G, DE VITA S, SANSIVERO F, FREDI P. (2012). Slope instability induced by volcano-tectonics as an additional source of hazard in active volcanic areas: the case of Ischia island (Italy). *B Volcanol.* 74, 79–106.

FORCELLA F, GNACCOLINI M, VEZZOLI L (1981). Stratigrafia e sedimentologia dei depositi piroclastici affioranti nel settore sudoccidentale dell'isola di Ischia. *Riv. Ital. Paleontol. Stratigr.*, 87, 329-366.

GILLOT P. Y., CHIESA S., PASQUARÈ G. & VEZZOLI L. (1982). < 33000 yr K-Ar dating of the volcano-tectonic horst of the Isle of Ischia, Gulf of Neaples. *Nature*, 229, 242-244.

ISPRA (2023). Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, Foglio n. 464 – Isola d'Ischia. https://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/464_ISOLA_DISCHIA/Foglio.html

MANZO, M., RICCIARDI, G. P., CASU, F., VENTURA, G., ZENI, G., BORGSTRÖM, S., ... & LANARI, R. (2006). Surface deformation analysis in the Ischia Island (Italy) based on spaceborne radar interferometry. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 151(4), 399-416.

ORSI G., GALLO G. & ZANCHI A. (1991). Simple-shearing block resurgence in caldera depressions. A model from Pantelleria and Ischia. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 47, 1-11.

ORSI G., PIOCHI M., CAMPATOLA L., D'ONOFRIO A., GIALANELLA L. & TERRASI F. (1996). 14C geochronological constraints for the volcanic history of the Island of Ischia (Italy) over the last 500 years. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 71, 249-257.

RITTMANN A. & GOTTINI V. (1980). L' Isola d'Ischia. *Geologia. Boll. Serv. Geol. d'Italia*, 101, 131-274.

RITTMANN A. (1930). *Geologie der Insel Ischia. Z. f. Vulkanol. Ergänzungsband*, 6,1-265.

ROSI M., SBRANA A. & VEZZOLI L. (1988). Stratigrafia delle isole di Procida e di Vivara. *Boll. GNV*, IV, 500-525.

SBRANA A., FULIGNATI P., MARIANELLI P., BOYCE A.J. & CECCHETTI A. (2009) - Exhumation of an active magmatic-hydrothermal system in a resurgent caldera environment. The example of Ischia Island (Italy). *J. Geol. Soc. London.*, 166, 1061-1073.

SBRANA, A., MARIANELLI, P., & PASQUINI, G. (2018). Volcanology of Ischia (Italy). *Journal of Maps*, 14(2), 494-503.

VEZZOLI L. (1988). Island of Ischia. C.N.R., Quaderni del "La ricerca scientifica", 114, pp. 126, Roma.

6. IL RILEVAMENTO DEL DANNO NEGLI EDIFICI DI CASAMICCIOLA

L'isola di Ischia è stata colpita da due eventi calamitosi: il terremoto del 21 agosto 2017 e la frana del 26 novembre 2022. Per entrambi gli eventi i maggiori danni sono stati rilevati nel comune di Casamicciola Terme come attestano i dati raccolti mediante le schede di primo livello AeDES - Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica a valle del sisma, e quelli raccolti mediante le schede AeDEI Ischia 2023 a valle dell'evento franoso. I sopralluoghi volti alla compilazione della scheda AeDES, sono stati condotti, come di consueto in caso di evento sismico, a partire dai giorni immediatamente successivi l'evento del 2017; per quanto riguarda invece i rilievi post-frana, nell'immediato post-evento sono stati effettuati circa 1000 sopralluoghi speditivi (quick-triage) da parte del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, cui hanno poi fatto seguito quelli volti alla compilazione di una opportuna scheda per l'emergenza idrogeologica, denominata "scheda AeDEI Ischia 2023", condotti tra fine febbraio e inizio marzo 2023 e coordinati dal Dipartimento nazionale della Protezione civile. Gli esiti dei sopralluoghi speditivi (quick-triage) post-frana insieme agli studi condotti dai Centri di Competenza (CdC) del Servizio nazionale della protezione civile (SNPC), e alla comunità tecnico-scientifica campana su richiesta della Regione Campania e il Dipartimento della protezione civile (DPC) della Presidenza del Consiglio dei ministri (PCM) hanno consentito di suddividere il territorio del Comune di Casamicciola Terme in quattro zone caratterizzate da diversi livelli di pericolosità, come indicato al comma 1 dell'O.C.D.P.C. n. 951/2022, "Prima definizione della pericolosità del territorio del comune di Casamicciola Terme (NA) interessato dagli eventi di frana e alluvione del 26 novembre 2022" del 23 dicembre 2022, e nell' "Addendum" del 28 dicembre 2022. Nello specifico le zone individuate sono:

In questo capitolo si procede ad una disamina delle caratteristiche tipologiche e costruttive degli edifici colpiti dai due eventi, nonché dei danni rilevati a seguito degli stessi.

I dati raccolti mediante le schede AeDES sono stati di ausilio per la messa a punto di una procedura semplificata per l'assegnazione dei livelli operativi d'ufficio nell'ambito della convenzione tra la Regione Campania e il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (DiSt) della Università degli Studi di Napoli Federico II, avente oggetto "Collaborazione relativa alla formulazione delle normative tecniche di attuazione degli interventi previsti nel Piano di Ricostruzione dei Comuni di Casamicciola, Forio e Lacco Ameno nell'isola di Ischia, di cui all'art. 24 bis del DL. 109/2018 – legge 156/23019 art.9" e con il supporto della Struttura Commissariale per la ricostruzione dell'Isola di Ischia. Tale procedura viene richiamata

nel paragrafo 6.3.1 riportando anche la distribuzione del numero di edifici in muratura e in c.a. afferenti al comune di Casamicciola Terme in funzione del livello operativo d'ufficio. Nel capitolo si procede, infine, alla analisi dei dati acquisiti a seguito dei due eventi (sismico e franoso) attraverso cui è stato possibile pervenire alla valutazione del numero di edifici nelle varie zone definite dall'O.C.D.P.C 951/2022 al variare dei livelli operativi nonché valutare quanti edifici siano stati interessati da almeno uno dei due eventi in tutte le suddette zone.

6.1. Danni prodotti dall'evento sismico

Il 21 agosto 2017 si è registrato sull'isola d'Ischia un terremoto di magnitudo 3.9 con epicentro in prossimità di località Maio e ipocentro a profondità di soli 1,73 km. Nonostante la bassa magnitudo, è stata registrata in area epicentrale una intensità macrosismica MCS VII, corrispondente a danni diffusi nel centro di Casamicciola: calcinacci e cornicioni caduti, crepe diffuse negli edifici, lesioni a croce di Sant'Andrea crolli parziali di tamponature e di edifici soprattutto nella parte settentrionale dell'edificato.

Data l'entità e la gravità delle criticità riscontrate, sul territorio fu dichiarato lo stato di emergenza e fu, di conseguenza, immediatamente attivata la campagna di ricognizione per la rilevazione del danno da parte del Servizio Nazionale della Protezione Civile. Per garantire l'omogeneità delle informazioni sul danneggiamento delle strutture, i rilievi sono stati eseguiti attraverso la compilazione speditiva delle schede di primo livello AeDES - Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica.

La scheda rappresenta un valido strumento per la valutazione dell'agibilità, il cui giudizio è affidato a squadre di agibilitatori esperti. La scheda consente di tener traccia dell'ispezione eseguita e del corrispondente esito, attraverso l'utilizzo di un linguaggio unico per la descrizione del danno, dell'individuazione della tipologia strutturale. Tutto ciò ha reso possibile la rapida digitalizzazione dei dati acquisiti.

Le schede sono state gestite dalla Struttura Commissariale, istituita mediante l'ordinanza commissariale n. 1/2017, e i dati in esse contenuti sono stati archiviati e referiti ad edifici che sono stati georeferiti mediante il sistema Erikus-ric messo a punto dalla regione Piemonte. Tale sistema ha consentito di archiviare informaticamente i dati relativi alle caratteristiche costruttive, epoca di costruzione, danno alle componenti strutturali e non strutturali e all'esito di agibilità di 2081 edifici. Tali dati sono stati messi a disposizione degli scriventi da parte della Struttura Commissariale. Il campione di 2081 edifici è risultato costituito da 1230 edifici in muratura, 267 edifici in cemento armato (di seguito "c.a."), 394 edifici con struttura mista muratura-c.a, 25 edifici con struttura mista c.a.-acciaio, 9 edifici con altra tipologia strutturale. Per i restanti 156 non è stato possibile determinare la tipologia costruttiva per carenza di informazioni.

In riferimento al comune di Casamicciola Terme sono state redatte complessivamente 1251 schede AeDES di cui 154 per edifici in mista muratura, 903 per quelli in muratura, 15 per gli edifici in misto c.a., 165 per quelli in c.a., 12 di altra tipologia costruttiva e 2 non determinati.

Di seguito si analizzano le Sezioni 2, 3 4 e 8 della scheda AeDES. Nel dettaglio:

- La sezione 2 di *Descrizione dell'edificio* sono raccolte informazioni riguardanti i dati metrici, l'età, con indicazione del periodo di costruzione e di eventuale ristrutturazione dell'edificio, nonché il tipo di uso ed informazioni relative all'esposizione. Nei dati metrici si deve indicare il numero di piani complessivo compresi quelli interrati, il numero di piani interrati, l'altezza media di piano e la superficie media di piano.
- La sezione 3 si propone quale obiettivo principale quello di indirizzare il rilevatore verso una conoscenza approfondita del manufatto, all'interno di un percorso guidato di analisi in grado di orientare verso il giudizio finale di agibilità, evidenziando indicatori di vulnerabilità, che possono condizionare la risposta della struttura all'azione sismica. I livelli di grigio utilizzati oltre allo sfondo bianco delle caselle sottolineano vulnerabilità progressivamente crescenti, con l'incremento della tonalità.
- La sezione 4 si riferisce alla rilevazione dei danni visibili sui componenti strutturali al momento del sopralluogo, siano essi direttamente collegabili al sisma o siano eventualmente preesistenti.

Le prime 4 righe sono riferite agli elementi strutturali principali; la riga 5 è riferita ad elementi strutturali secondari ma di particolare rilevanza (tamponature e tramezzi) che possono modificare la resistenza e/o la risposta della struttura, in particolare di quelle intelaiate; la riga 6, invece, registra in modo cumulativo per tutto l'edificio la quota parte del danno totale che si valuta preesistente al sisma. Le colonne sono differenziate in modo da consentire di definire il livello di danno e la sua estensione.

- La sezione 8 consente di esprimere una valutazione in merito all'agibilità dell'edificio analizzato sulla base dei dati acquisiti durante il rilievo.

6.1.1. Descrizione degli edifici

Dalla Sezione 2 della scheda AeDES è stato possibile desumere informazioni relative al numero di piani totali, fuori terra, superficie media di piano ed epoca di costruzione (Figura 1).

Con riferimento a un campione di 1.251 dal grafico di Figura 1 (a) (numero di piani totali) si evince che il campione di edifici presenta una prevalenza di edifici di 2 e 3 piani complessivi, percentuale del 66%, mentre dal grafico di Figura 1 (b) (numero di piani fuori terra) emerge che la maggioranza degli edifici è caratterizzata da 1 e 2 piani fuori terra, percentuale del 91%. La distribuzione della superficie di piano mostra la prevalenza di piani costituiti da superfici medie

comprese tra i 50 e i 230 m². In particolare, dalle analisi risulta una percentuale del 12% di edifici con superfici medie di piano minori di 50 mq, una percentuale del 37%, con superfici comprese tra 50 e 100 mq, ed una percentuale del 47% con superfici superiori a 100 mq, mentre il 4% degli edifici non si hanno informazioni in merito. In merito all'epoca di costruzione, risulta evidente la prevalenza di strutture realizzate in epoca antecedente al 1919, di seguito "ante 1919", 22% del campione totale, così come quelle realizzate nel periodo 1962-71, 20% del campione.

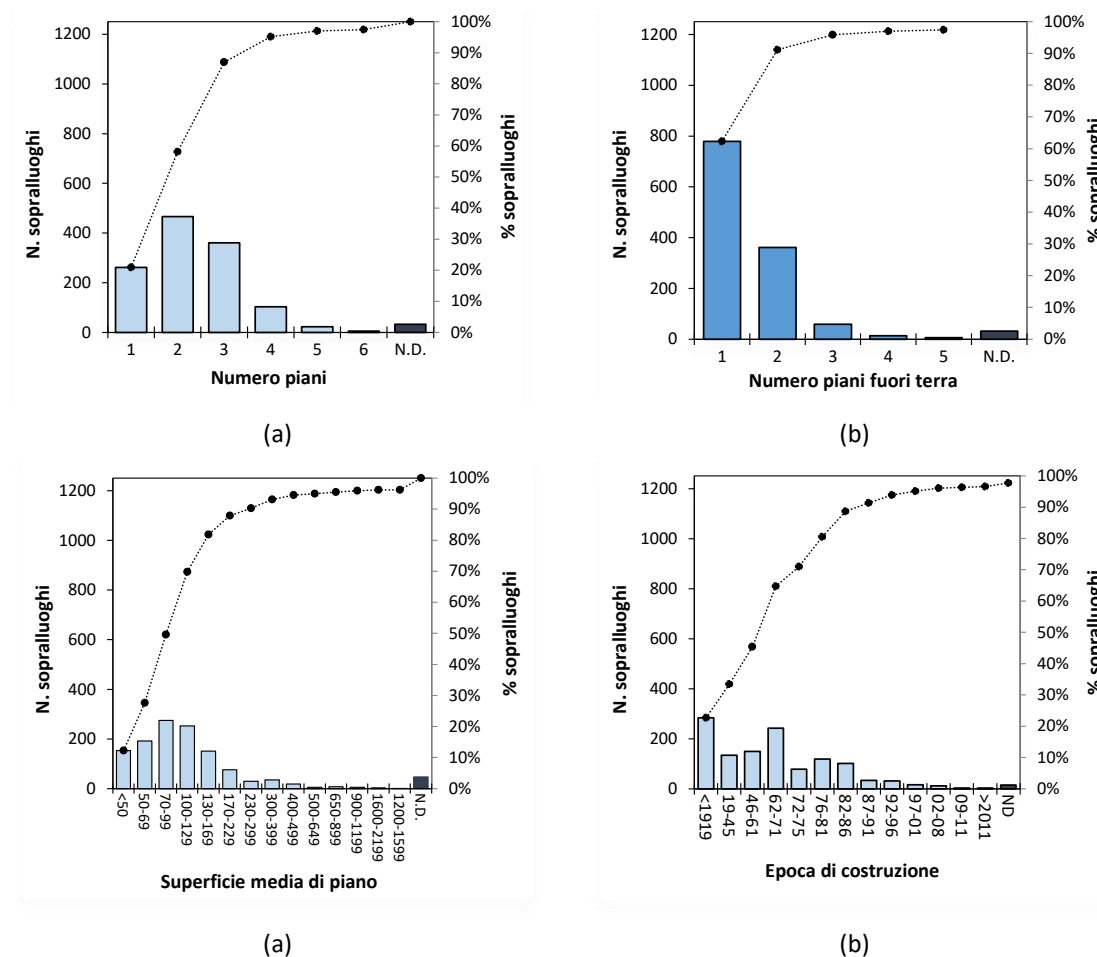


Figura 1: Numero di piani totali (a) e fuori terra (b), Superficie media di piano (c) e Epoca di costruzione (d)

Inoltre, sempre nella sezione 2, i tecnici sono tenuti ad indicare tutti i tipi di utilizzo eventualmente compresenti all'interno dell'edificio ed il relativo numero di unità, differenziandole per ogni tipologia d'uso. In particolare, l'uso uffici è generalmente riferito a quelli di carattere privato (es. banche, studi professionali, etc.), gli usi Servizi Pubblici e Strategici sono quelli che ospitano un Servizio Pubblico qualificato come indispensabile all'espletamento stesso delle funzioni di Protezione Civile, come ad esempio gli ospedali, le sedi comunali, le caserme. Infine, per deposito si intende un e locale preposto all'accumulo di materiale, ad attività di magazzinaggio, etc.; sono da escludersi da tale definizione eventuali garage o cantine annessi

ad unità abitative. Come mostrato in Figura 2, in cui si riporta la distribuzione di utilizzo degli edifici campionati, la prevalenza è rappresentata da edifici residenziali, pari al 77% del campione.

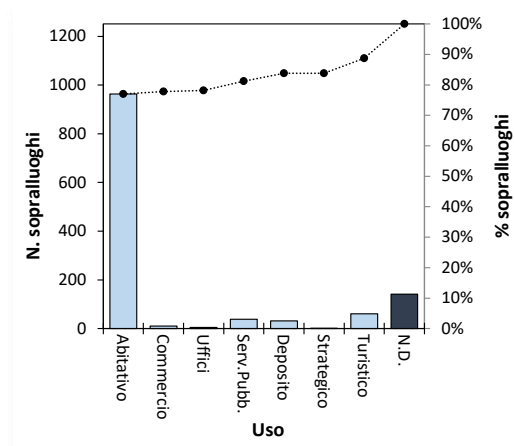


Figura 2. Uso

6.1.2. Tipologia costruttiva

Il campione analizzato risulta costituito da 1251 la cui tipologia costruttiva è ripartita come mostrato in Figura 3. Si registra una prevalenza di edifici in muratura e mista muratura- c.a. con percentuale dell'85% rispetto ad una esigua presenza di edifici realizzati in c.a. o misti c.a.-muratura e altre tipologie, rispettivamente del 12% e minore dell'1%.

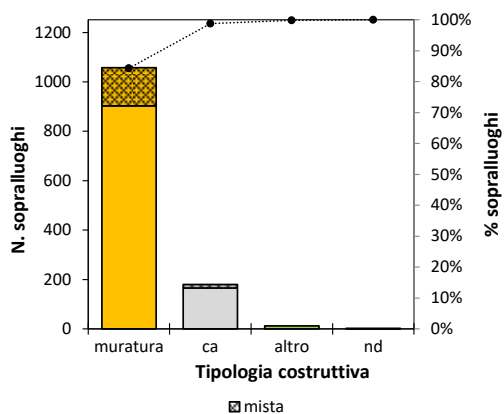


Figura 3. Tipologia costruttiva

Nei paragrafi successivi si riporta una disamina delle caratteristiche tipologiche costruttive, condotta separatamente per gli edifici in muratura e misti muratura-c.a. (denominati nel seguito per brevità edifici in muratura) e per gli edifici in c.a. e misti c.a.-muratura (denominati nel seguito per brevità edifici in c.a.) e altre tipologie.

6.1.2.1. Edifici in muratura

In riferimento al campione costituito da 1.058 edifici in muratura, in Figura 4 si riportano le diverse tipologie di strutture verticali Figura 4 (a), e orizzontali Figura 4 (b). Tale dato risulta fondamentale ai fini della valutazione della qualità del costruito e della sua vulnerabilità in relazione a eventi sismici o franosi.

In particolare, si registra principalmente la presenza di solai costituiti da travi con soletta rigida, percentuale del 53%, mentre per le restanti tipologie le percentuali risultano essere piuttosto marginali. Il 42% delle strutture verticali è caratterizzato da una muratura regolare, di buona qualità, con catene o cordoli, mentre il 30% non presenta catene o cordoli. Solo il 25% del totale risulta caratterizzato da una muratura irregolare e di cattiva qualità.

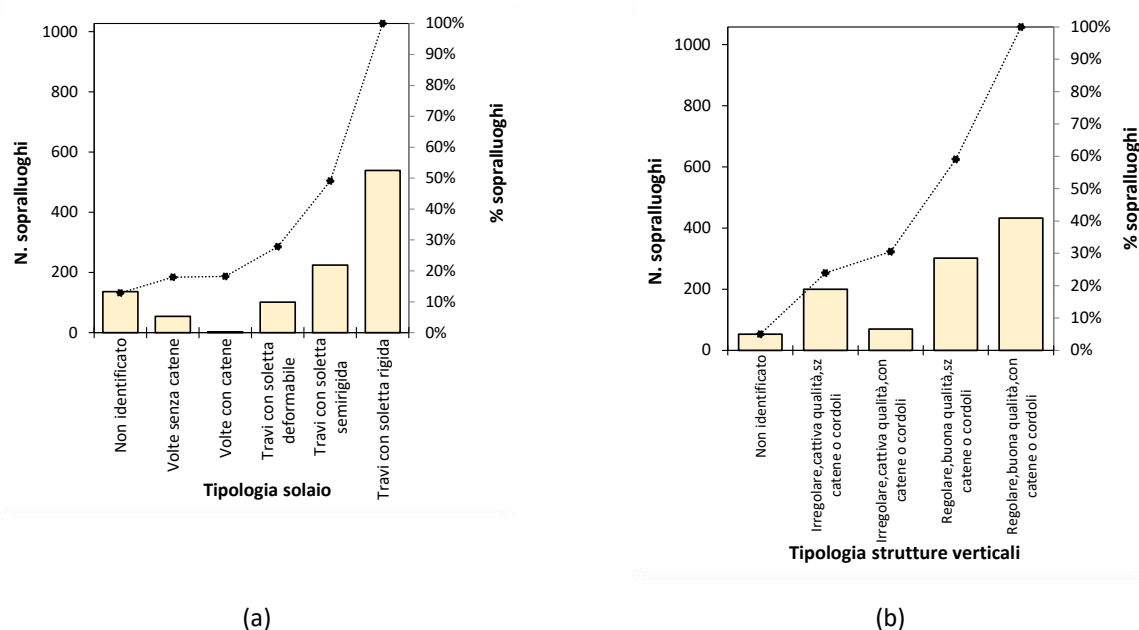


Figura 4. Tipologia strutture verticali (a) e orizzontali (b)

Nella Figura 5 si rappresentano tutte le possibili combinazioni tra le diverse tipologie di strutture verticali e orizzontali rilevate. In particolare, è possibile osservare che la percentuale maggiore, 30%, si riscontra in corrispondenza della combinazione di travi con soletta rigida e buona qualità muraria con cordoli e catene; una percentuale meno rilevante ma comunque significativa, 10%, si registra in casi analoghi (travi con soletta rigida e buona qualità muraria) ma in assenza di cordoli e catene

- 1A: Non identificato
- 1B: Solaio non identificato - Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 1D: Solaio non identificato - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 1E: Solaio non identificato - Buona qualità muraria con cordoli o catene
- 2B: Volte senza catene - Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 2D: Volte senza catene - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 3D: Volte senza catene - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 4B: Travi con soletta deformabile - Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 4C: Travi con soletta deformabile - Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 4D: Travi con soletta deformabile - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 4E: Travi con soletta deformabile - Buona qualità muraria con cordoli o catene

- 5B: Travi con soletta semirigida - Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 5C: Travi con soletta semirigida - Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 5D: Travi con soletta semirigida - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 5E: Travi con soletta semirigida - Buona qualità muraria con cordoli o catene
- 6B: Travi con soletta rigida - Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 6C: Travi con soletta rigida - Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 6D: Travi con soletta rigida - Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 6E: Travi con soletta rigida - Buona qualità muraria con cordoli o catene

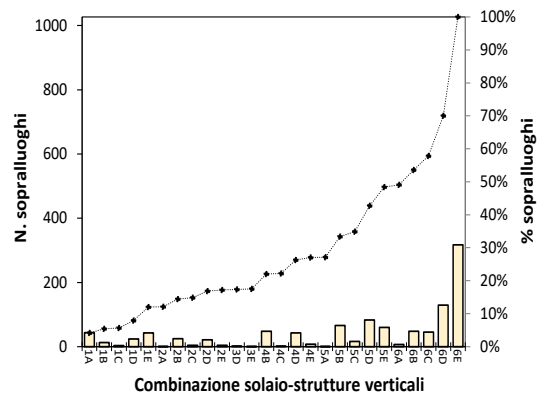


Figura 5. Combinazione tipologia strutture verticali e orizzontali

In Figura 6 si riportata la distribuzione degli edifici regolari e non in pianta e in elevazione, Figura 6 (a) e della disposizione tamponature, Figura 6 (b). Dai grafici emerge una assenza di dato nell'85% del campione mentre per la restante parte si ha una distribuzione che vede una leggerissima maggioranza di edifici regolari sia nella forma che nelle disposizioni delle tamponature.

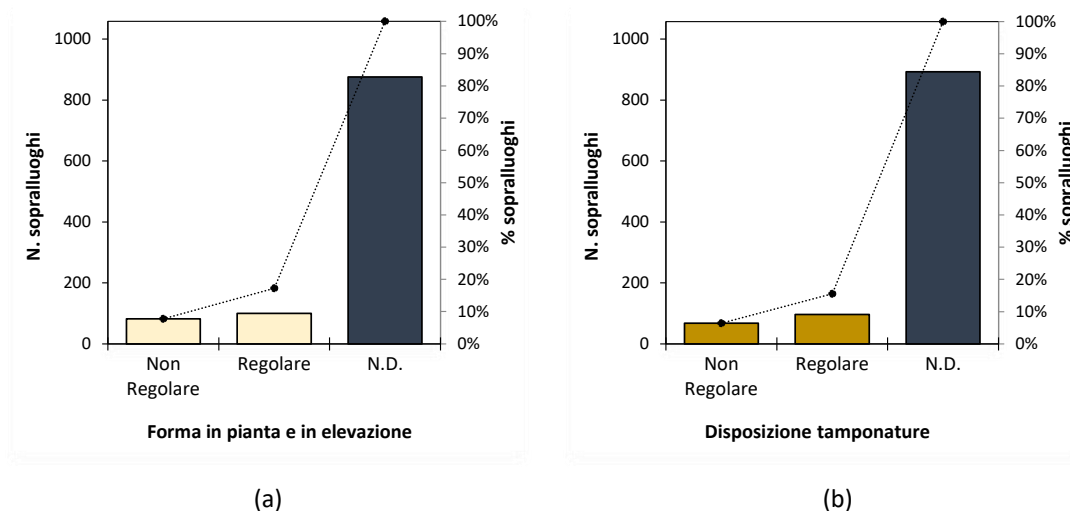


Figura 6. Regolarità in pianta e in elevazione (a) e disposizione tamponature (b)

La tipologia di coperture maggiormente diffusa (72%) è risultata essere quella non spingente e pesante (Figura 7); nell'11% dei casi si sono registrate coperture non spingenti e leggera (11%), le restanti tipologie non trovano riscontro per più del 7% dei casi.

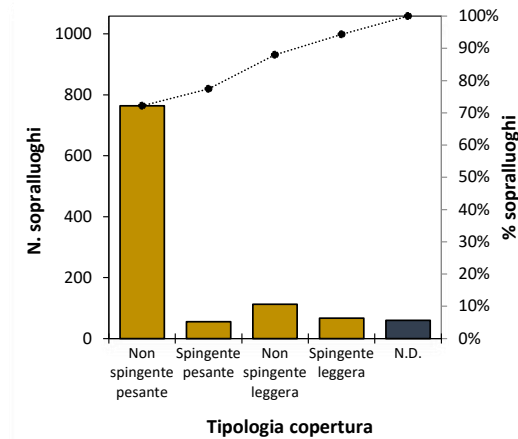


Figura 7. Tipologia di copertura

6.1.2.2. Edifici in c.a. ed altre tipologie

Dalla compilazione della sezione 3 “altre tipologie”, della scheda AeDES, è stato possibile ottenere informazioni utili per poter effettuare valutazioni sulla tipologia di strutture verticali, Figura 8. Il grafico mostra che, con riferimento ai 191 edifici in c.a. e in altra tipologia, il 73% presenta telai in c.a., l’8% è realizzato in struttura mista con prevalenza di strutture in c.a, mentre per il 17% non è stato indicato la tipologia di struttura verticale.

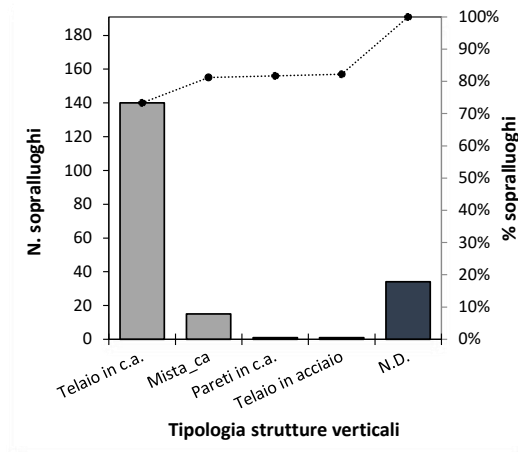


Figura 8. Tipologia strutture verticali

Per quanto concerne la regolarità in pianta e in elevazione, Figura 9a, il 58% del campione presenta edifici regolari nella forma, il 24%, invece, presenta una irregolarità in pianta e in elevazione. Le stesse percentuali si osservano anche se si fa riferimento alla disposizione della tamponatura, Figura 9b.

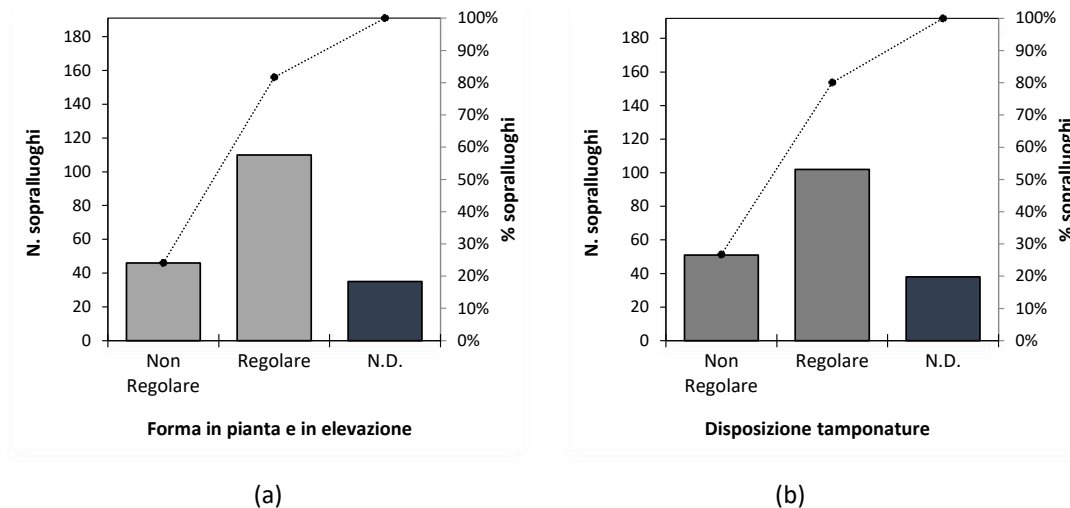


Figura 9. Regolarità in pianta e in elevazione (a) e disposizione tamponature (b)

La distribuzione della tipologia di copertura degli edifici in c.a. e in altra tipologia, Figura 10, è simile a quella esaminata nel caso di edifici in muratura, ovvero una forte prevalenza di copertura non spingente e pesante a discapito delle altre tipologie.

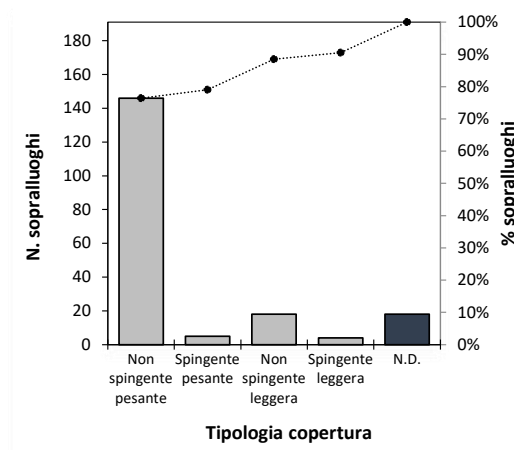


Figura 10. Tipologia di copertura

6.1.3. Danno

6.1.3.1. Danno agli elementi strutturali

Nella sezione 4 della scheda AeDES, è richiesto ai i tecnici rilevatori di indicare severità ed estensione dei danni 'apparenti', cioè quelli riscontrabili a vista sulle componenti strutturali e non strutturali quali: i) strutture verticali; ii) orizzontamenti; iii) scale; iv) copertura e v) partizioni/tamponature. La severità del danno è individuata secondo una scala basata sulla scala macrosismica europea EMS-98 [Grunthal, 1998] che consta di 3 livelli di danno oltre al danno nullo, come specificato nel seguito:

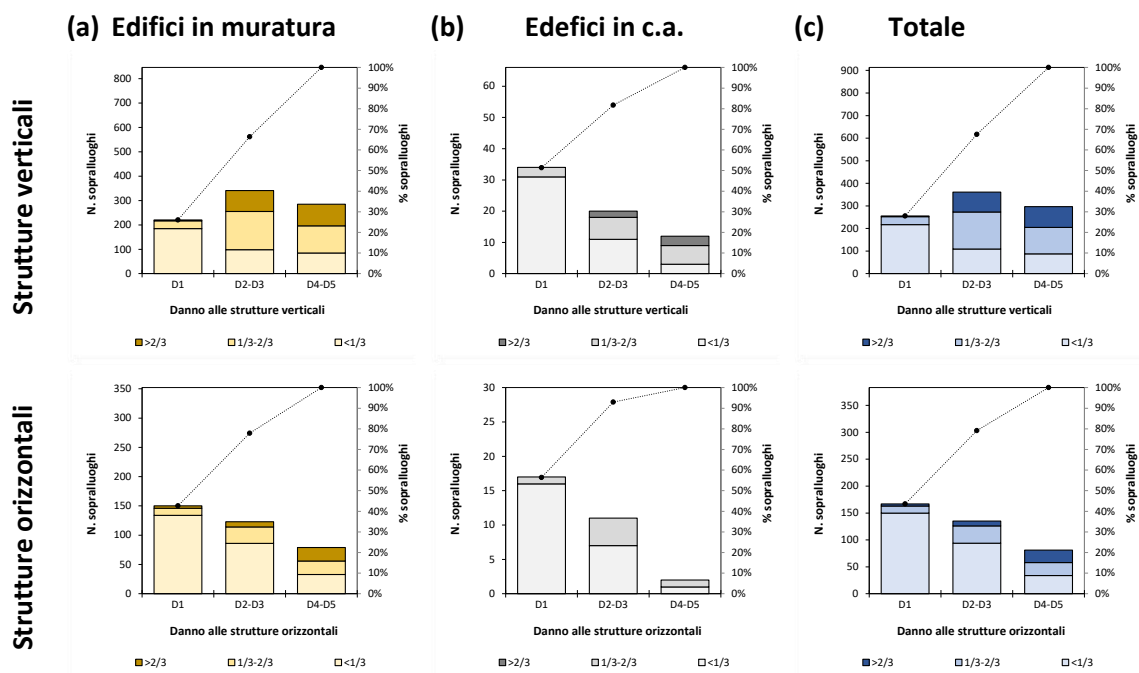
D1 DANNO LEGGERO: è un danno che non cambia in modo significativo la resistenza della struttura e non pregiudica la sicurezza degli occupanti a causa di cadute di elementi non strutturali.

D2-D3 DANNO MEDIO - GRAVE: è un danno che potrebbe anche cambiare in modo significativo la resistenza della struttura senza che venga avvicinato palesemente il limite del crollo parziale di elementi strutturali principali.

D4-D5 DANNO GRAVISSIMO: è un danno che modifica in modo evidente la resistenza della struttura portandola vicino al limite del crollo parziale o totale di elementi strutturali principali. Stato descritto da danni superiori ai precedenti, incluso il collasso.

Per quanto concerne l'estensione è possibile indicare per ciascuna componente se l'estensione relativa alla severità del danno è $<1/3$, tra $1/3$ e $2/3$ o $>2/3$ con riferimento all'intero edificio. Per ciascuna componente strutturale la scheda prevede di selezionare più di un danno presente (ad es. danno D4-D5 su $< 1/3$ dell'estensione e danno D2-D3 su $1/3 - 2/3$), a patto che la somma dei relativi coefficienti di estensione sia $\leq 1,00$.

Durante i sopralluoghi sono stati rilevati danni alle strutture verticali in 878 edifici: 826 edifici in muratura danneggiati su un totale di 1027 e 52 edifici in c.a. su un totale di 163. In Figura 11 si riportano i danni alle componenti strutturali degli edifici in muratura (a), in c.a. (b) e sul totale del campione di edifici (c). In particolare, la figura riporta il numero, e la relativa percentuale, di strutture del campione su cui sono stati rilevati danni di intensità leggera, medio-grave, o gravissima con riferimento a ciascuna componente strutturale e non strutturale.



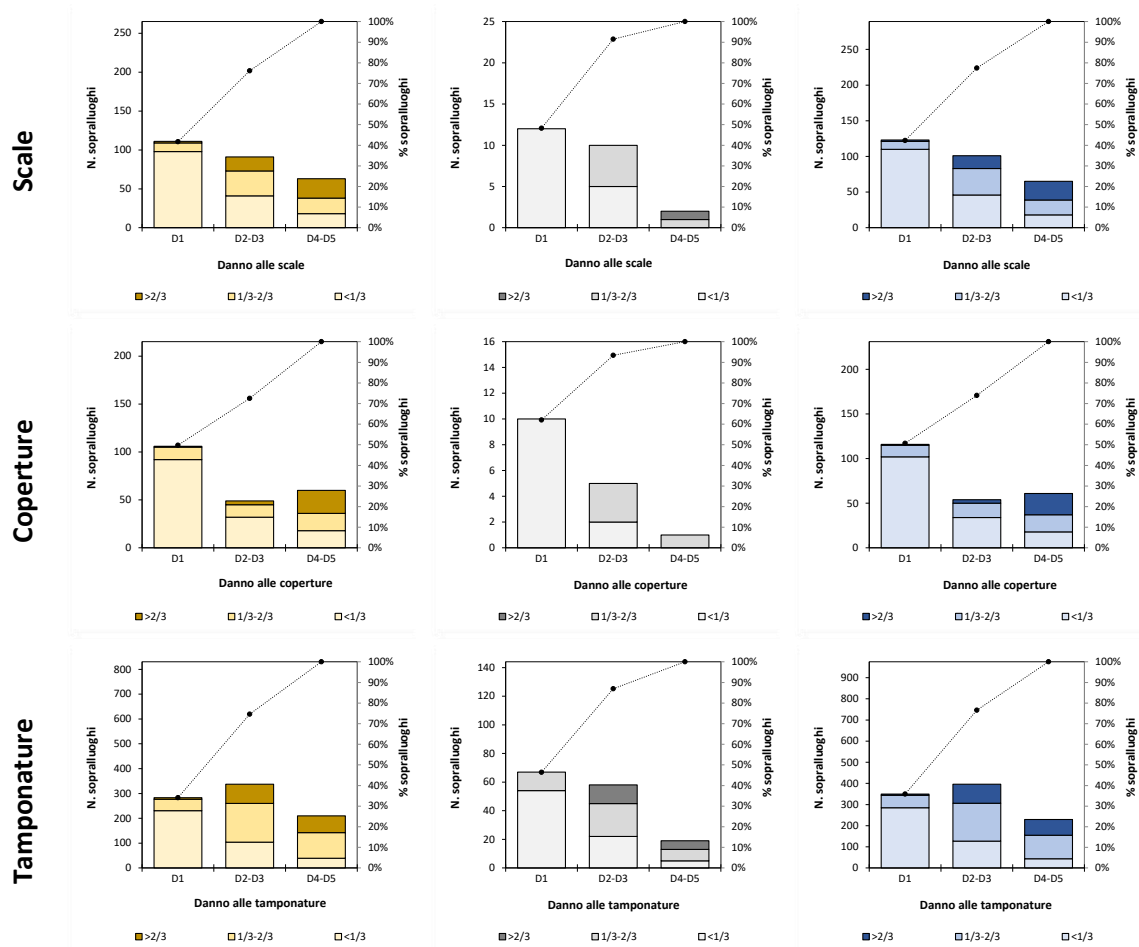


Figura 11. Danno alle componenti strutturali degli edifici in muratura (a), in c.a. (b) e totali (c)

6.1.3.2. Danno globale

I livelli di danno riportati nella scheda AeDES sono definiti in accordo alla scala macrosismica europea, EMS-98 [Grunthal, 1998]. Rispetto a tale scala, tuttavia, sussistono due differenze sostanziali: la prima è che la scheda AeDES riporta tre livelli di danno (D1, D2-D3, D4-D5), oltre al danno nullo (D0), a fronte dei cinque riportati nell' EMS-98 ("Damage State, DS", danno trascurabile o lieve, DS1, danno moderato, DS2, danno sostanziale o grave, DS3, danno molto grave, DS4, collasso, DS5); la seconda è che il danno definito mediante la EMS-98 si riferisce all'intero edificio e non alle sue componenti.

Al fine di valutare il danno dell'intero edificio, pertanto, il danno per componenti strutturali è stato in questa sezione dello studio, convertito in danno globale, DS; utilizzando metriche di conversione di comprovata validità in accordo ai più recenti studi di letteratura, Dolce et al, 2019 per gli edifici in muratura e Del Gaudio et al, 2019 per gli edifici in c.a.

Al fine di uniformare i DS valutati in accordo alle metriche suddette ai 4 stati di danno, SD, necessari per la definizione dei livelli operativi, in accordo con l'allegato 1 dell'ordinanza n 7/2017, il livello di danno globale è stato convertito in quattro stati di danno: DS0 e DS1 sono

stati associati allo stato di danno 1, SD1; DS2 allo stato di danno 2, SD2; DS3 allo stato di danno 3, DS3; DS4 e DS5 allo stato di danno 4, SD4.

In Figura 11Figura 12 si riportano le distribuzioni degli stati di danno degli edifici in muratura (a), in c.a. (b) e del campione totale (c).

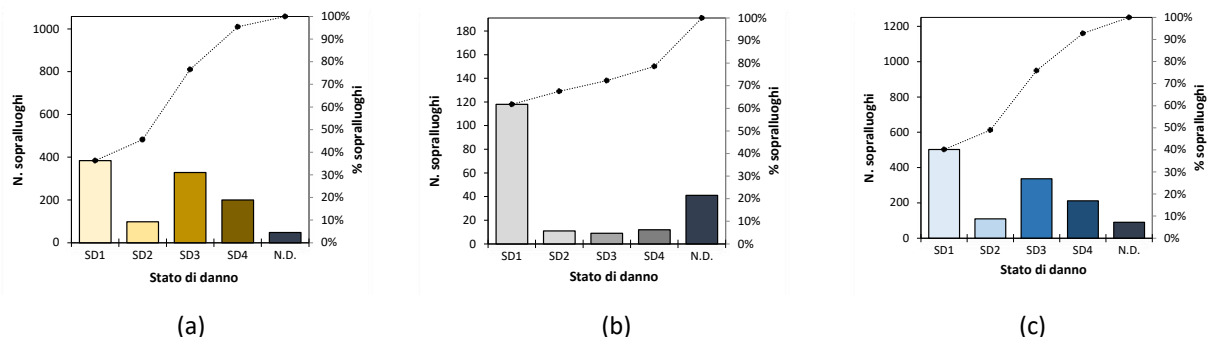


Figura 12. Stato di danno, SD, degli edifici in muratura (a), in c.a. (b) e totali (c)

6.1.3.3. Esito di agibilità

A valle della compilazione delle schede AeDES, a ciascun edificio la squadra che effettua il sopralluogo assegna un esito di agibilità con il quale definisce se l'edificio abbia o meno subito un danno tale da determinare una variazione significativa delle condizioni strutturali, funzionali e igienico-sanitarie rispetto alle condizioni di sicurezza pre-evento. La compilazione della scheda non costituisce una verifica sismica o strutturale ai sensi delle norme tecniche vigenti, né sostituisce gli obblighi relativi alla sicurezza nei luoghi di lavoro, come disciplinato dalla normativa vigente in materia.

In particolare, per l'esiti di agibilità sono previste due valutazioni distinte, di cui:

- la prima esprime una valutazione sull'esito intrinseco del fabbricato, con 5 diverse alternative:
 - Esito A: edificio agibile;
 - Esito B: edificio temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento;
 - Esito C: edificio parzialmente inagibile;
 - Esito D: edificio temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento;
 - Esito E: edificio inagibile;
- la seconda esprime una valutazione connessa a cause esterne:
 - Esito F: edificio inagibile per rischio esterno

In Figura 13 sono riportati tali esiti per le varie tipologie strutturali: muratura (a), c.a. (b) e del totale di edifici del campione (c). In conclusione, sono stati attribuiti i seguenti esiti: 404 edifici

con esito A di cui 60 con rischio esterno, 190 con esito B di cui 53 con rischio esterno, 32 con esito C di cui 6 con rischio esterno, 2 con esito D di cui 1 con rischio esterno, 544 con esito E di cui 262 con rischio esterno e 4 con esito F.

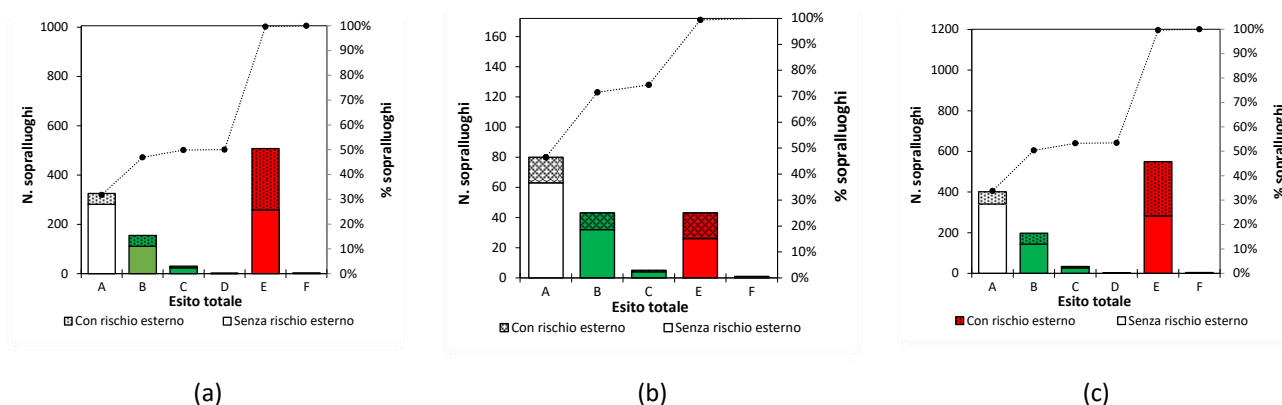


Figura 13. Esiti di agibilità degli edifici in muratura (a), in c.a. (b) e totali (c)

6.2. Danni prodotti dall'evento franoso

Nelle prime ore del giorno 26 novembre 2022, precipitazioni intense si sono concentrate lungo il versante settentrionale del Monte Epomeo sull'isola di Ischia. A partire dalle ore 5:00, si sono verificate frane di diversa tipologia ed estensione e fenomeni alluvionali. Alcuni degli eventi di frana maggiori sono stati registrati dalle stazioni presenti nell'isola di Ischia della rete geofisica dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Osservatorio Vesuviano (OV). I dissesti hanno interessato tutta l'isola con una maggiore concentrazione nel Comune di Casamicciola Terme, dove hanno causato la perdita di dodici vite umane, la distruzione di edifici e manufatti, e danni a beni pubblici e privati.

Nell'immediato post evento, il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco si è attivato per valutare le condizioni di criticità dei manufatti edilizi mediante dei sopralluoghi speditivi, definiti "quick triage". Durante i sopralluoghi, l'operatore valuta le condizioni di criticità utilizzando una metrica uniforme e un protocollo di valutazione guidata ed è tenuto a compilare la scheda di quick-triage attraverso la quale è possibile avere un quadro rapido secondo indicatori pre-codificati dello stato dell'edificio analizzato. In funzione della gravità delle situazioni accertate e della diversa necessità e tipologia di trattamento necessario è assegnato il colore verde, giallo, o rosso. In dettaglio

- il colore rosso indica che c'è un rischio immediato associato all'entrata, all'uso o all'occupazione dell'edificio in analisi legato indifferentemente ad una condizione di pericolo derivante dal medesimo edificio in analisi o da cause esterne.
- il colore giallo indica che non vi sono i presupposti per definire la situazione non sicura ma il danno osservato esclude la possibilità di occupare lo stabile senza restrizioni.
- Il colore verde indica che il danno presente non costituisce un rischio significativo per la sicurezza ma non implica che possa essere ignorato o che non si dimostrino necessari degli interventi.

Il Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco ha redatto 1154 schede a seguito del quick-triage, assegnando 534 colori verdi, 147 gialli e 473 rossi come si evince dal grafico di Figura 14.

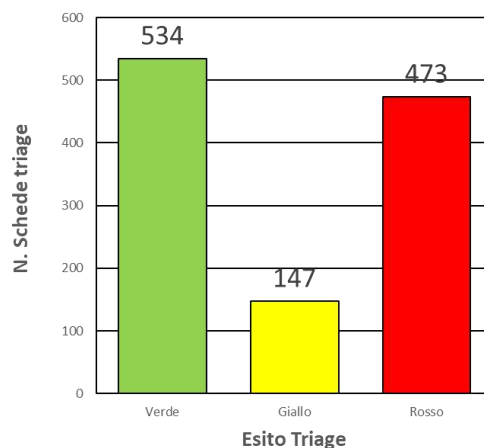


Figura 14. Esito del quick-triage

A valle della valutazione del Corpo Nazionale dei Vigili del Fuoco, la Regione Campania e il Dipartimento della protezione civile (DPC) della Presidenza del Consiglio dei ministri (PCM) hanno chiesto a Centri di Competenza (CdC) del Servizio nazionale della protezione civile (SNPC), e alla comunità tecnico-scientifica campana di collaborare al fine di definire delle condizioni di pericolosità geomorfologica, idrologica e idraulica dei territori più colpiti dagli eventi di frana e alluvionali del 26 novembre 2022, con particolare riferimento – anche se non esclusivamente – al territorio del Comune di Casamicciola Terme.

L'analisi e le conoscenze disponibili hanno permesso di pervenire ad una zonazione (Figura 15a) del territorio del Comune di Casamicciola Terme in quattro aree caratterizzate da diversi livelli di pericolosità, come indicato al comma 1 dell'O.C.D.P.C. n. 951, "Prima definizione della pericolosità del territorio del comune di Casamicciola Terme (NA) interessato dagli eventi di frana e alluvione del 26 novembre 2022" del 23 dicembre 2022, e nell' "Addendum" del 28 dicembre 2022. Nello specifico le zone individuate sono:

- **Zona A1:** zona direttamente interessata dalla frana e con pericolosità idrogeologica molto elevata anche in assenza di eventi pluviometrici;
- **Zona A2:** zona caratterizzata dalla presenza di edifici distrutti, o comunque interessati dalla c.d. frana e con pericolosità idrogeologica molto elevata;
- **Zona A3:** zona caratterizzata dalla presenza di edifici resi precedentemente inagibili dal sisma del 21 agosto 2017 e con pericolosità idrogeologica molto elevata;
- **Zona A4:** zona caratterizzata da una pericolosità molto elevata, le misure specifiche proposte dipendono dal livello di allerta di protezione civile;
- **Zona B:** zona in cui le condizioni pregresse di pericolosità, sono state localmente aggravate dalle mutate condizioni conseguenti all’evento del 26 novembre 2022;
- **Zona C:** zona a invariate condizioni di pericolosità rispetto alla situazione ex ante, salvo puntuali situazioni di dissesto;
- **Zona D:** zona a elevata e confermata pericolosità per rischio indotto rilevato nel c.d. “quick triage” effettuato dai Vigili del Fuoco.

L’individuazione delle suddette zone è riportata in Figura 15.

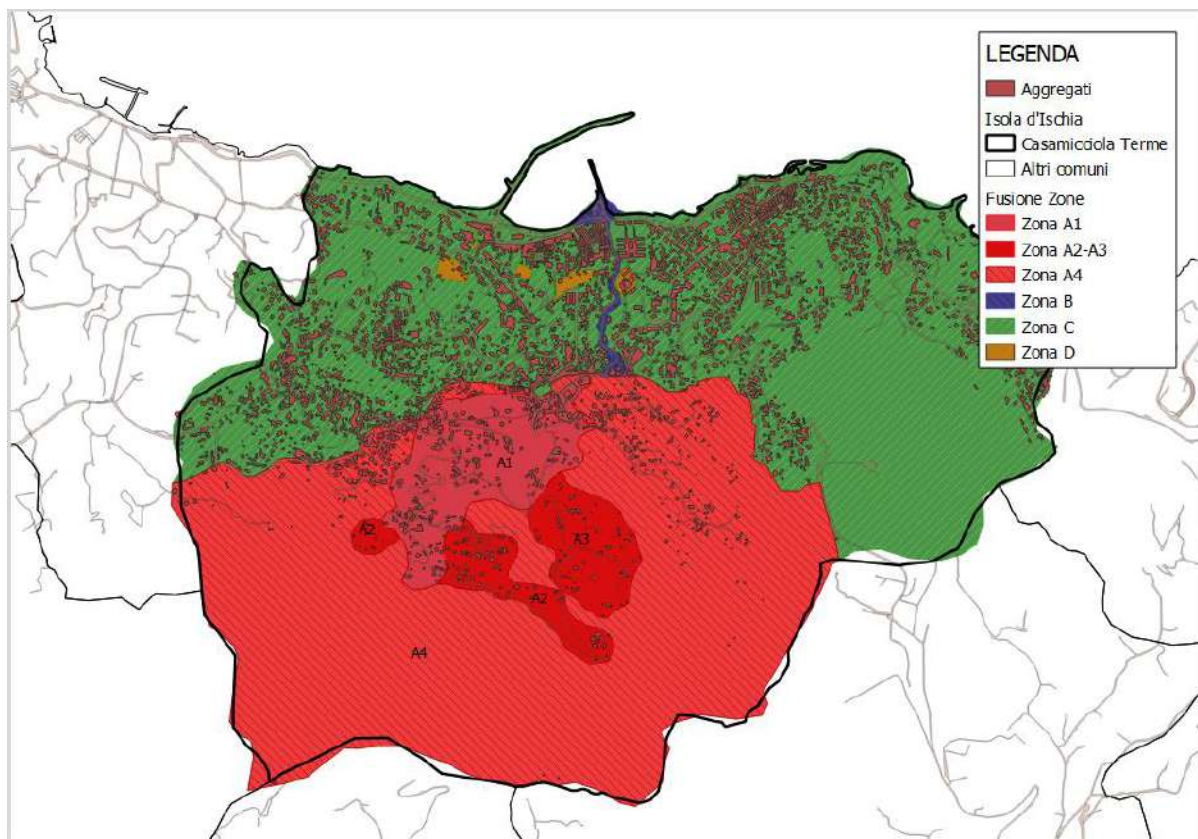


Figura 15: Zonazione de territorio di Casamicciola Terme

Conclusa La fase di zonazione è stata avviata una campagna di sopralluoghi cognitiva sugli edifici ricadenti nelle zone del Comune di Casamicciola Terme, identificate dalle lettere A, B e D così come indicato al comma 1 dell'OCDPC n. 951, "Prima definizione della pericolosità del territorio del comune di Casamicciola Terme (NA) interessato dagli eventi di frana e alluvione del 26 novembre 2022" del 23 dicembre 2022, e nell' "Addendum" del 28 dicembre 2022. Tale campagna si è resa necessaria per valutare la condizione degli edifici interessati dall'evento. Per supportare i tecnici nella valutazione delle condizioni degli edifici, è stata predisposta dal Dipartimento nazionale della Protezione civile una scheda per l'emergenza idrogeologica, denominata "scheda AeDEI Ischia 2023".

Dalla schedatura AeDEI, è stato possibile valutare se l'edificio ha subito (o NON) un danno tale da determinare una variazione significativa delle condizioni strutturali, funzionali ed igienicosanitarie precedenti l'evento tali da impedirne l'utilizzo alle stesse condizioni di sicurezza pre-evento. Tutti i dati raccolti mediante **scheda AeDEI Ischia 2023** sono stati archiviati sulla piattaforma Lizmap.

I sopralluoghi speditivi sono stati condotti tra fine marzo e inizio aprile, previa formazione dei tecnici agibilitatori. Sulla piattaforma sono state digitalizzate 589 schede AeDEI Ischia 2023, di cui 417 relative al comune di Casamicciola Terme, complete di esito e di tutte le informazioni necessarie all'analisi. Dall'analisi delle 417 schede è emerso che 79 sono relativi ad edifici direttamente investiti dall'evento franoso del 26 Novembre 2022, mentre 323 sono relativi ad edifici non interessati direttamente, ma coinvolti da colate di fango o detriti. Per i restanti 15 sopralluoghi tale dato non è disponibile (Figura 16). Si sottolinea che 50 sopralluoghi (12%) sono stati condotti solo dall'esterno.

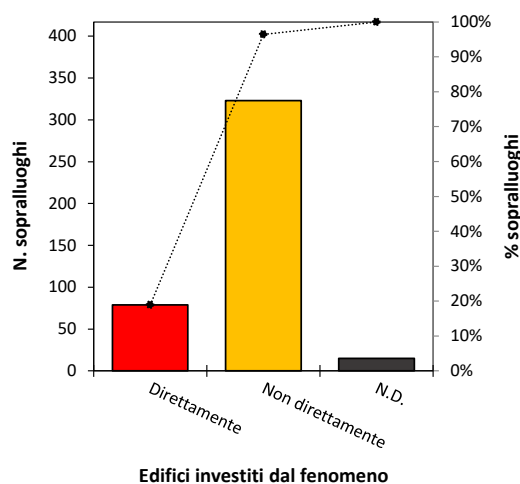


Figura 16. Posizione edificio rispetto all'evento franoso

Nel grafico in Figura 17 si riporta la distribuzione del numero di sopralluoghi in funzione della zonazione distinguendo la posizione dell'edificio rispetto all'evento franoso, ovvero se è stato direttamente coinvolto o meno dalla frana. Quest'ultima informazione è riportata in figura

attraverso l'adozione di una campitura puntinata, Figura 17. Nel caso in cui il dato non era presente nella scheda AeDEI Ischia 2023 è stato rappresentato come N.D. nel grafico. Dal grafico di Figura 17, si evince che circa l'85% dei sopralluoghi (348) è stato effettuato su edifici siti nelle zone A, di questi l'84% (280) non risulta essere coinvolto direttamente dall'evento franoso.

Come lecito attendersi dei 79 edifici coinvolti direttamente dalla frana, 32 (40%) sono ubicati nella zona A1, 18 (23%) nella zona A3, 5 (6%) in zona A4 e 22 (27%) in zona B.

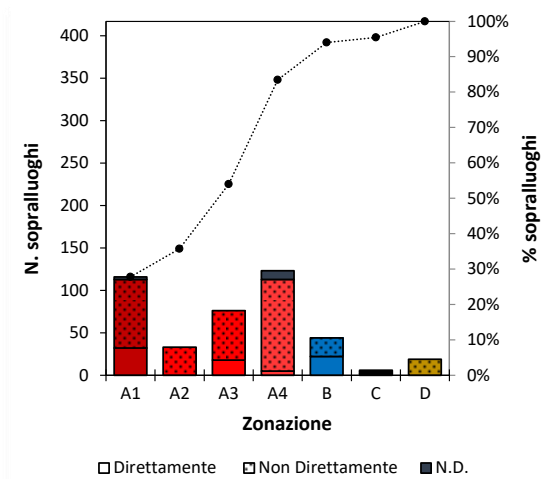


Figura 17. Distribuzione dei sopralluoghi in funzione della zonazione

6.2.1. Inquadramento idrogeologico/idraulico degli edifici

Nella sezione 1-B della scheda AeDEI Ischia 2023, i tecnici sono tenuti ad indicare come si colloca l'area di sedime del fabbricato in relazione al rischio e alla pericolosità idrogeologica della zona), indicando se l'area ricade nelle seguenti perimetrazioni:

- Perimetrazioni individuate nel **Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI)**;
- Perimetrazioni individuate nei piani di gestione dei bacini idrografici redatti secondo la **direttiva 2000/60/CE**;
- Perimetrazioni dell'**inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (IFFI)** realizzato dall'ISPRA e dalle Regioni e Province Autonome
- Perimetrazioni in un'area già vulnerata

In Figura 18 si riporta la distribuzione degli edifici in funzione dell'area di sedime del fabbricato in relazione al rischio e alla pericolosità idrogeologica. Dal grafico emerge che 224 sopralluoghi sono relativi ad edifici ricadenti in aree di pericolosità/rischio PAI, 192 in aree individuate dall'IFFI e 22 in aree già vulnerate. Non ci sono edifici ricadenti in aree individuate nei piani di gestione dei bacini idrografici redatti secondo la direttiva 2000/60/CE. Per ciascuna delle suddette aree il grafico riporta il numero di sopralluoghi condotti su edifici ricadenti o meno in una area (Si, No, N.I. Nessuna Indicazione, N.D. Non Disponibile).

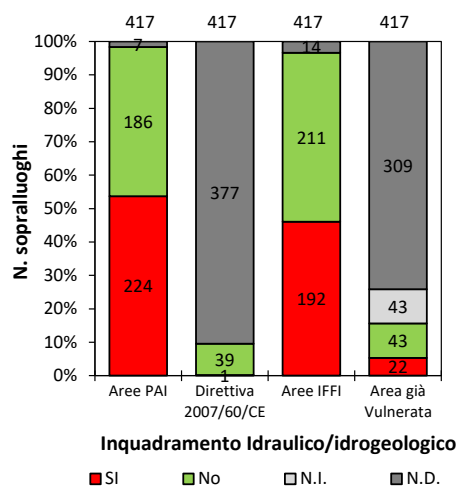


Figura 18. Distribuzione degli aggregati in funzione l'area di sedime del fabbricato in relazione al rischio e alla pericolosità idrogeologica

Nel PAI sono individuate sia le aree di pericolosità che di rischio legate al verificarsi di una frana o un'alluvione o di entrambi. Con il termine pericolosità si riferisce alla probabilità di accadimento di un evento (alluvionale o franoso o la combinazione dei due) in un determinato periodo di tempo e in una data area di potenziale danno. Con il termine rischio si intende la combinazione dei vari rischi specifici e pertanto ecco si identifica mediante la valutazione delle vittime, dei feriti, delle distruzioni e dei danni alle strutture, alle attività economiche e ai beni ambientali e culturali.

Per quanto concerne la pericolosità, dai dati è emerso che dei 224 edifici

- 190 edifici ricadono in aree con pericolosità da frana
- 17 edifici ricadono in aree con pericolosità da alluvione
- 7 edifici ricadono in aree con pericolosità sia da frana che da alluvione

Per quanto concerne il rischio, dai dati è emerso che dei 224 edifici

- 188 edifici ricadono in aree a rischio frana
- 20 edifici ricadono in aree a rischio alluvione
- 16 edifici ricadono in aree a rischio sia frana che alluvione

La distribuzione del numero di edifici in relazione alle aree di pericolosità e di rischio legate al verificarsi di una frana o un'alluvione o di entrambi in relazione alla zonazione è riportata in Tabella 1.

Tabella 1. Edifici in aree perimetrazione PAI in funzione della zonazione

Aree PAI	Evento	Zona							Totale
		A1	A2	A3	A4	B	C	D	
ω	Frana	49	13	53	57	1	1	16	190

	Alluvione	9			2	6			17
	Frana e Alluvione	2		4	11				17
	Totale	60	13	57	70	7	1	16	224
Rischio	Frana	49	12	52	57	1	1	16	188
	Alluvione	11	1	1	2	5			20
	Frana e Alluvione			4	11	1			16
	Totale	60	13	57	70	7	1	16	224

6.2.2. Descrizione degli edifici

Come per la scheda AeDES, anche nella sezione 2 della scheda AeDEI Ischia 2023 sono riportate le caratteristiche tipologiche e dimensionali degli edifici oggetto di sopralluogo (i.e. numero di piani, superficie media, epoca di costruzione, uso). In Figura 19 sono riportate le distribuzioni degli edifici in esame in funzione del numero di piani totali (a), numero di piano fuori terra (b), superficie media di piano (c) ed epoca di costruzione (d).

Dall'analisi dei dati emerge che gli edifici oggetto di sopralluogo sono di piccole dimensioni; infatti, l'80% (324) di essi non supera i 2 piani mentre, del restante 20%, il 13%, ovvero 53 edifici, sono costituiti da 3 piani totali. Analizzando la distribuzione degli edifici in funzione del numero di piani fuori terra (Figura 19b), si osserva che il 76% presenta 1 piano fuori terra, mentre il 19% ne presenta 2, la restante parte, 13 edifici, non supera i 4 piani.

La superficie media di piano prevalentemente è compresa tra 50 e 130 m²; infatti, si riscontra che il 76% degli edifici è compreso in tale range, mentre del restante 24%, il 10% (45) degli edifici possiede una superficie media di piano compresa tra 130-169 m². Per quanto concerne l'epoca di costruzione dal grafico di Figura 19 (d) emerge che il 70% (293) degli edifici risulta essere stato costruito prima del 1986, di cui 53 (13%) prima del 1919 e 69 (17%) tra il 1982 e il 1986.

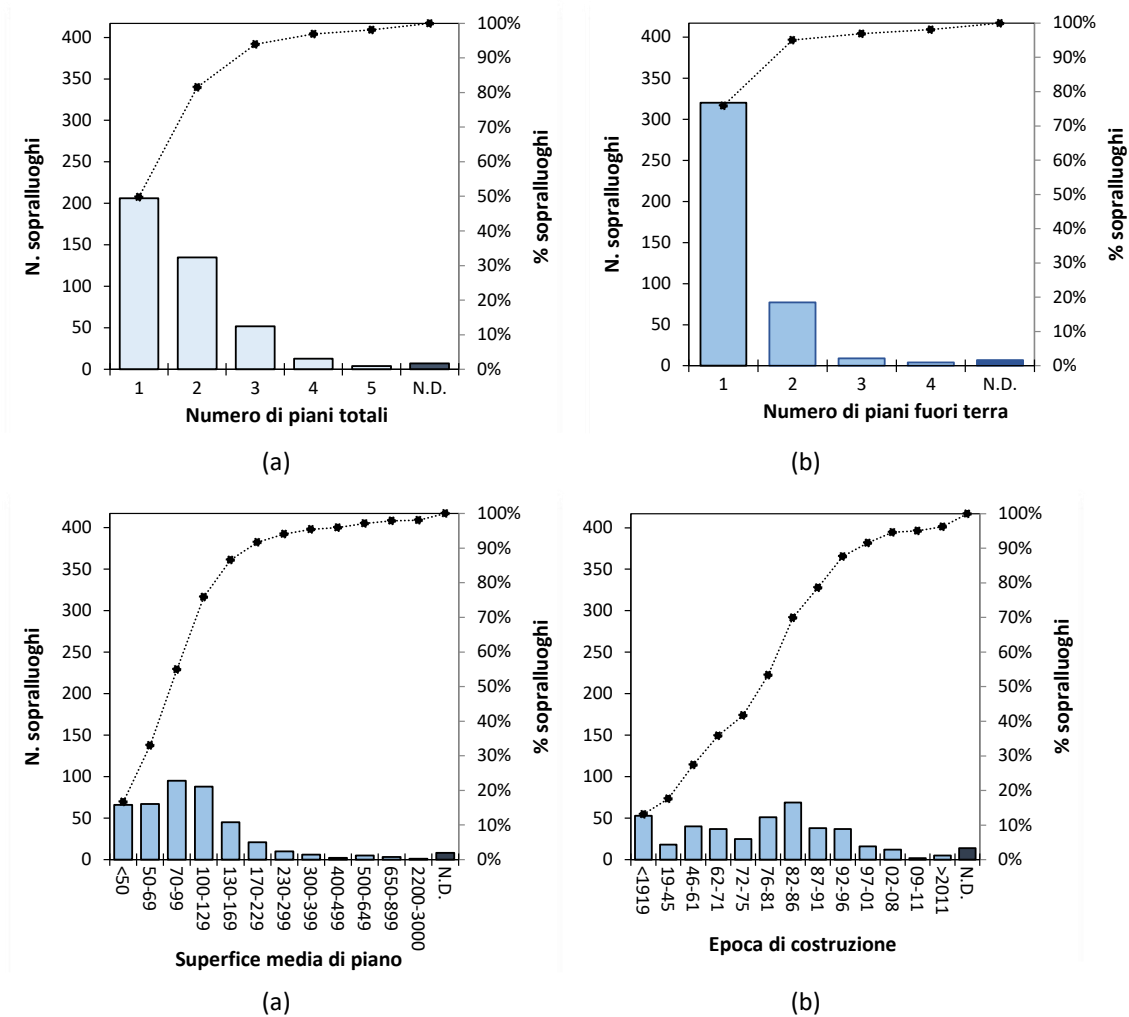


Figura 19. Numero di piani totali (a) e fuori terra (b), Superficie media di piano (c) e Epoca di costruzione (d)

Per quanto concerne la destinazione d'uso dal grafico di Figura 20 si evince che il 72% degli edifici oggetto di sopralluogo presenta almeno un'unità ad uso abitativo, mentre il 14% è adibito a deposito, il 4% e il 2% hanno un uso, rispettivamente turistico e commerciale.

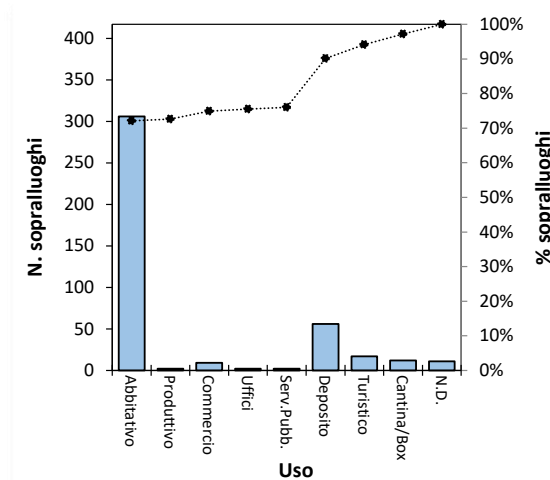


Figura 20. Uso

6.2.3. Tipologia costruttiva

Come si osserva dalla Figura 21, dei 417 sopralluoghi effettuati nel Comune di Casamicciola Terme, 323 (78%), di cui 55 misti, sono edifici prevalentemente in muratura, 74 (17%) edifici sono costituiti da strutture in c.a., i restanti, invece, hanno altra tipologia o non si è in possesso di tale dato.

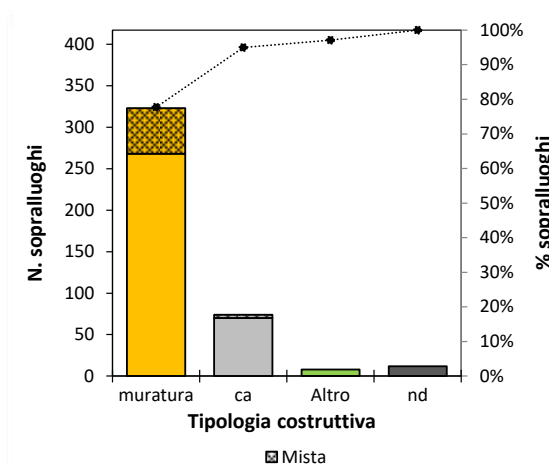
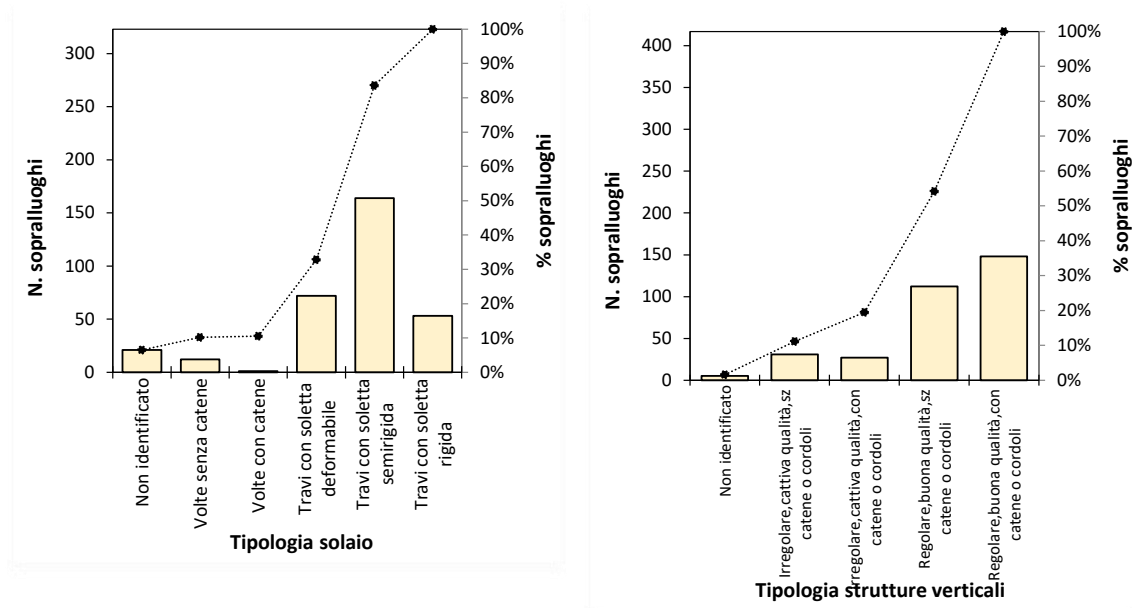


Figura 21. Tipologia costruttiva

6.2.3.1. Edifici in muratura e misti

Tramite la sezione 3 della scheda AeDEI Ischia 2023 è possibile conoscere le caratteristiche costruttive degli edifici oggetto di sopralluogo, in particolare in Figura 22 si riporta la distribuzione della tipologia di solaio (a) e la distribuzione della tipologia di struttura verticale (b) riscontrate nei 268 edifici in muratura portante e nei 55 edifici in struttura mista.



(a) (b)
 Figura 22. Tipologia strutture verticali (a) e orizzontali (b)

Dal grafico in Figura 22(a) emerge che il 50% del campione è costituito da edifici che presenta solai con travi e soletta semirigida, il 22% degli edifici, invece, presenta la stessa tipologia di solaio ma con soletta deformabile, mentre la tipologia di solaio costituita da travi con soletta rigida è presente nel 16% del campione.

In Figura 22(b) si osserva, inoltre, che il 45% (148) degli edifici presentano una muratura regolare, con buona qualità e con la presenza di catene o cordoli, mentre il 35% (112) degli edifici ha una muratura di buona qualità ma con l'assenza di cordoli o catene. I restanti edifici, circa il 19% del campione, presenta una muratura irregolare di cattiva qualità con la presenza o meno di cordoli o catene.

Queste due informazioni sono state incrociate tra di loro ottenendo le combinazioni riportate in Figura 23. Come si può notare la combinazione con maggiore frequenza (30% pari 100 edifici) è la 5E, ovvero travi con soletta semirigida, buona qualità muraria con presenza di cordoli o catene. Le combinazioni 4E, 5D e 6D presentano la stessa frequenza di casi ovvero 11% (36 edifici). Tutte le altre combinazioni presentano una frequenza inferiore all'8%.

- 1A: Non identificato
- 1B: Solaio non identificato – Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 1D: Solaio non identificato – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 1E: Solaio non identificato – Buona qualità muraria con cordoli o catene
- 2B: Volte senza catene – Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 2D: Volte senza catene – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 3D: Volte senza catene – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 4B: Travi con soletta deformabile – Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 4C: Travi con soletta deformabile – Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 4D: Travi con soletta deformabile – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 4E: Travi con soletta deformabile – Buona qualità muraria con cordoli o catene
- 5B: Travi con soletta semirigida – Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 5C: Travi con soletta semirigida – Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 5D: Travi con soletta semirigida – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 5E: Travi con soletta semirigida – Buona qualità muraria con cordoli o catene
- 6B: Travi con soletta rigida – Cattiva qualità muraria senza cordoli o catene
- 6C: Travi con soletta rigida – Cattiva qualità muraria con cordoli o catene
- 6D: Travi con soletta rigida – Buona qualità muraria senza cordoli o catene
- 6E: Travi con soletta rigida – Buona qualità muraria con cordoli o catene

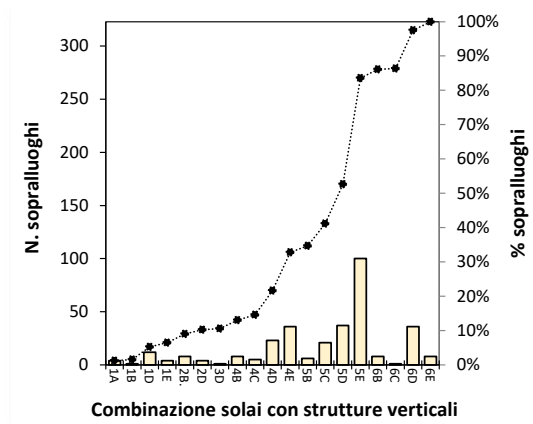


Figura 23. Combinazione tipologia strutture verticali e orizzontali

In fase di sopralluogo, per 273 (85%) edifici non è stato possibile valutare la regolarità in pianta e in elevazione, né la regolarità della disposizione delle tamponature (Figura 24). Solo nel 15% dei sopralluoghi è stato possibile effettuare queste valutazioni, che hanno evidenziato come il 2% del campione sia regolare in pianta e in elevazione e presenti una disposizione regolare della tamponatura.

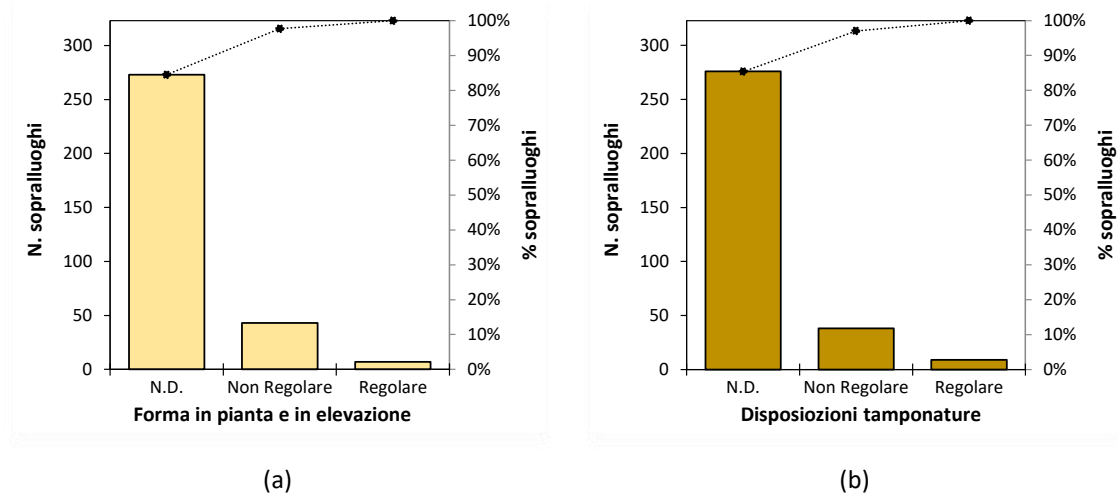


Figura 24. Regolarità in pianta e in elevazione (a) e disposizione tamponature (b)

In Figura 25 si riporta la distribuzione del tipo di copertura riscontrato sugli edifici colpiti dall'evento del novembre 2022, è bene precisare che questa sottosezione della scheda AeDEI Ischia 2023 differisce dalla corrispettiva della scheda AeDES, in quanto vi è la possibilità di indicare la tipologia di coperture, ossia: volte, falde, terrazzo praticabile, terrazzo non praticabile. Quello che si osserva è che l'83% degli edifici presenta una copertura a terrazzo, il 12% presenta

una copertura a falda, e solo un caso presenta una copertura a volta. Inoltre, nel grafico è indicato con campitura puntinata se la copertura è risultata essere pesante.

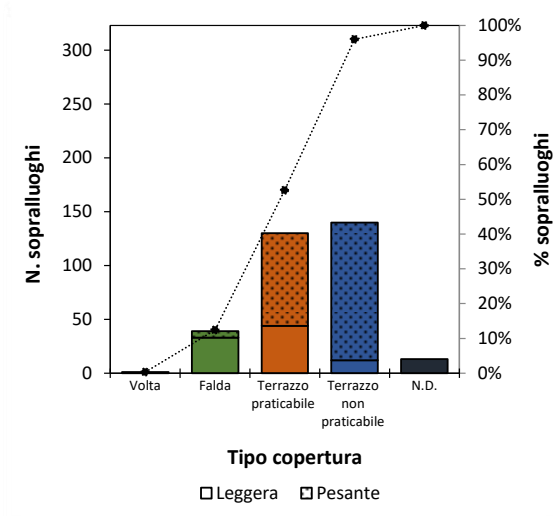


Figura 25. Tipologia di copertura

6.2.3.2. Edifici in c.a. ed altre tipologie

In Figura 21 è stato mostrato che rispetto ai 417 sopralluoghi effettuati nel comune di Casamicciola Terme, solo 74 sono stati effettuati su edifici in cemento armato ed 8 in altra tipologia. In Figura 26 si mostra in dettaglio la distribuzione degli edifici in c.a. (con concezione strutturale a telaio, a telaio/parete o misti) nonché di edifici con altra tipologia costruttiva (pareti in legno e telai in acciaio). La prevalenza degli edifici è risultata realizzata con telai in c.a (65 pari al 80%), 5 (5%) edifici sono risultati con telai e pareti in c.a., 4(5%) con struttura mista ma con prevalenza in in c.a. Degli 8 edifici in altra tipologia 5 (6%) sono risultati realizzati con telai e pareti in legno mentre 3 (3%) con telai in acciaio.

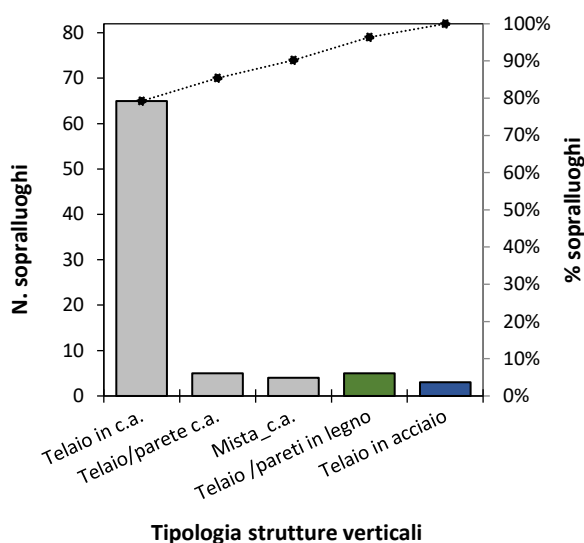


Figura 26. Tipologia strutture verticali

La regolarità in pianta e in elevazione di tali edifici è analizzata in Figura 27a; dalla figura emerge un sostanziale bilancio tra edifici non regolari ed edifici regolari, mentre se si analizzano i dati relativi alla disposizione delle tamponare (Figura 27b), emergere che il 55% (45) degli edifici presenta una tamponatura irregolare, il 44% (36) degli edifici presenta una tamponatura regolare, per i restanti non è stato possibile effettuare tale valutazione.

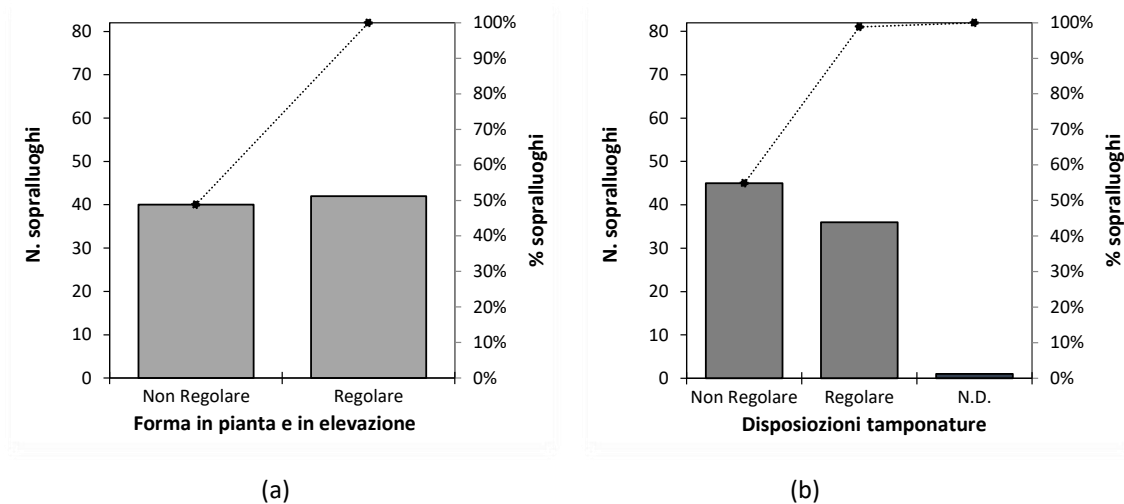


Figura 27. Regolarità in pianta e in elevazione (a) e disposizione tamponature (b)

Dall'analisi della distribuzione delle coperture degli edifici in c.a. e in altra tipologia (Figura 28), emerge che la tipologia più utilizzata, 88% (72), è quella che prevede la copertura a terrazzo praticabile e non. Dei restanti 10 edifici, 4 (5%) presentano una copertura a falde mentre per 6 (7%) edifici non si dispone di questo dato.

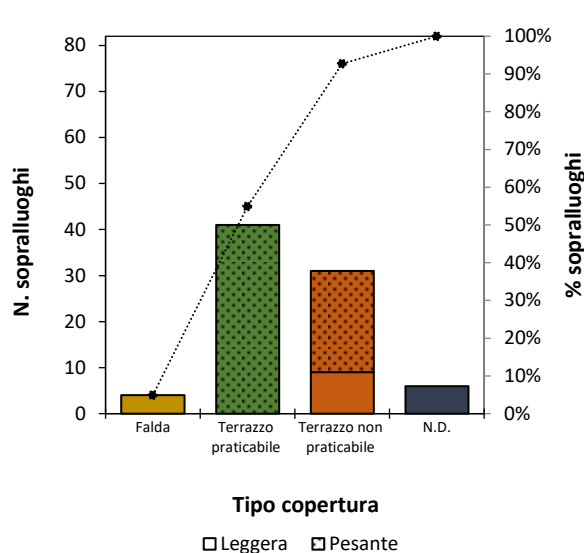


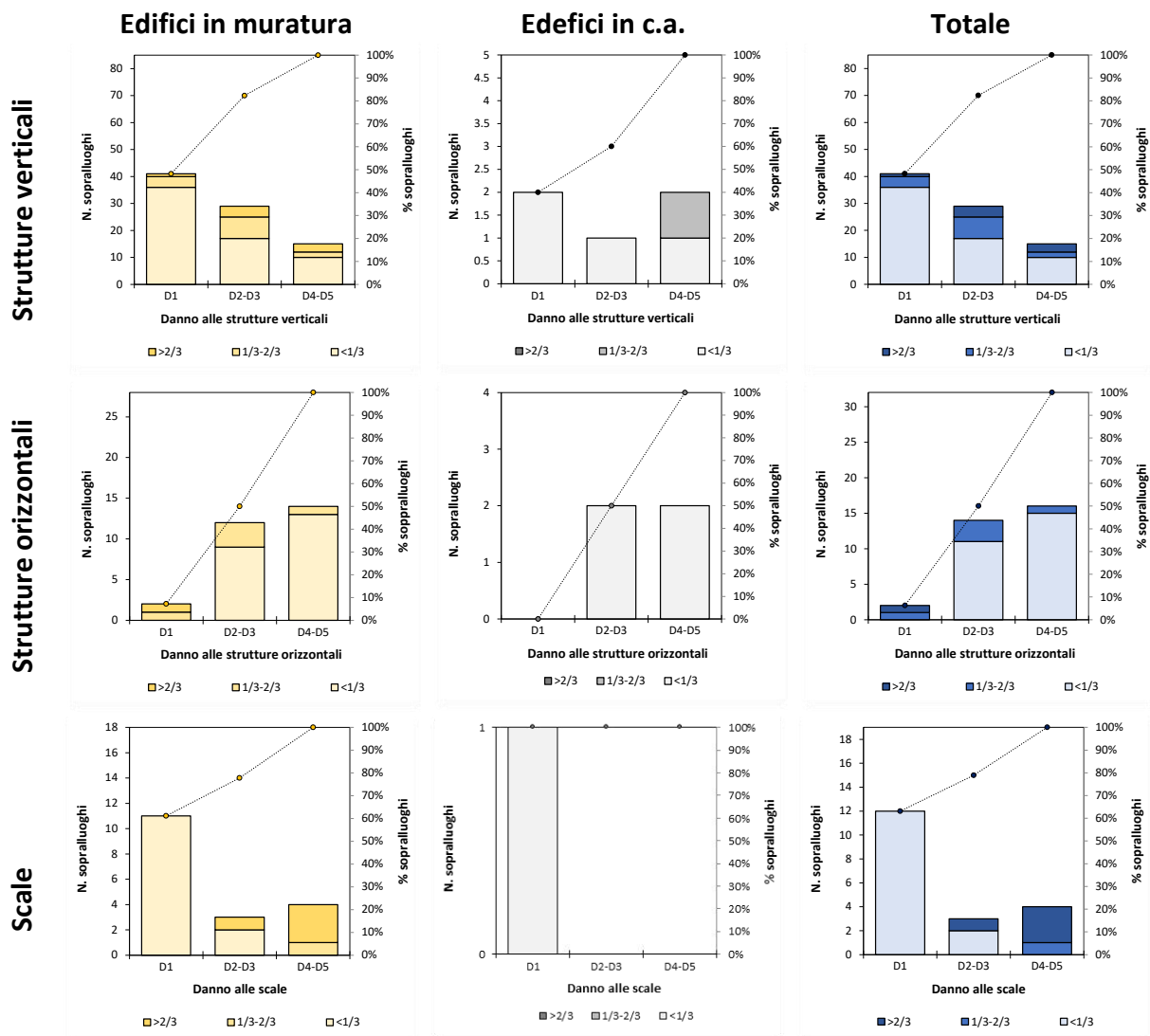
Figura 28. Tipologia di copertura

6.2.4. Danno

In questa sezione si riportano le elaborazioni effettuate su dati relativi ai danni agli elementi strutturali e sul danno globale.

6.2.4.1. Danno agli elementi strutturali

Così come per la scheda AeDES anche nella sezione 4, della scheda AeDEI Ischia 2023 vengono riportati i danni alle strutture verticali, alle strutture orizzontali, alle scale, alle coperture, e alle tamponature/tramezzi, (vedere 6.1.3.1). In Figura 29 sono riportate le distribuzioni della severità e dell'estensione del danno rilevata per ciascuna componente strutturale, sugli edifici in muratura, in c.a. e nel complesso degli edifici.



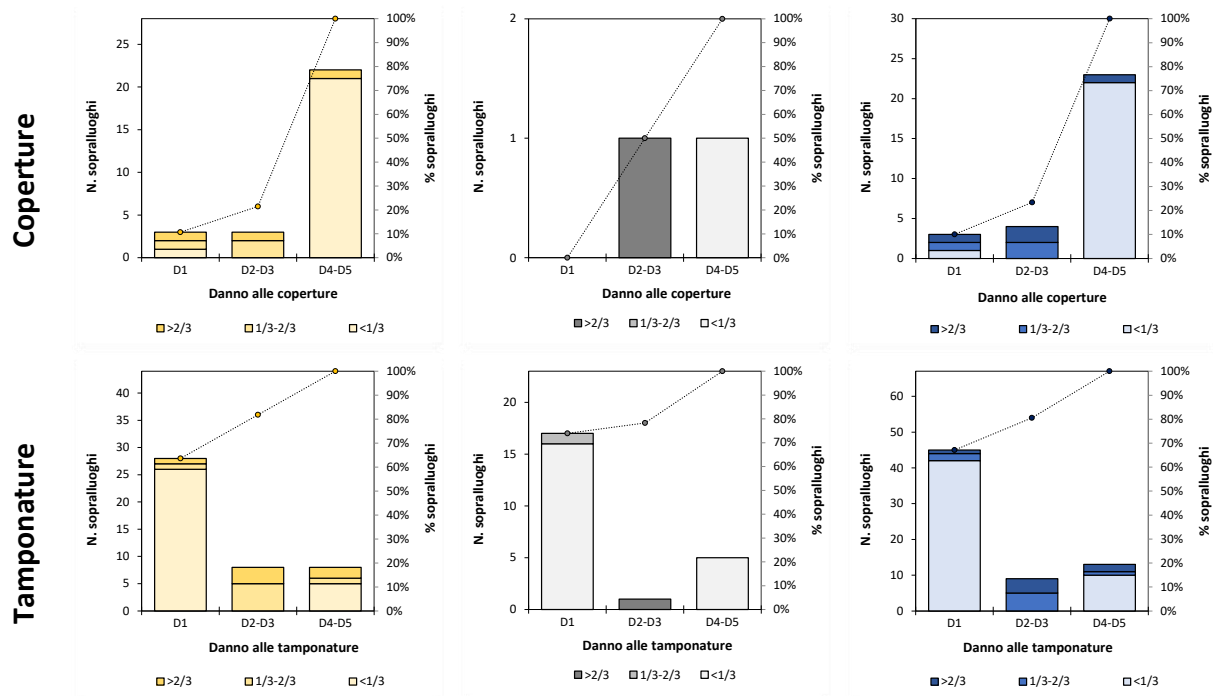


Figura 29. Danno alle componenti degli edifici in muratura e misti (a), in c.a. (b) e totali (c)

6.2.4.2. Danno globale

Così come per il danno rilevato mediante la scheda AeDES anche il danno alle componenti strutturali rilevato a seguito dell'evento del franoso è stato convertito dapprima in danno globale e successivamente, in ragione della definizione dei livelli operativi, è stato convertito nei quattro stati di danno in accordo con l'allegato 1 dell'ordinanza n 7/2017.

In Figura 30 si riportano le distribuzioni dei quattro DS in funzione della tipologia strutturale, muratura e cemento armato, ma anche in funzione di tutto il campione degli edifici visionati nel comune di Casamicciola.

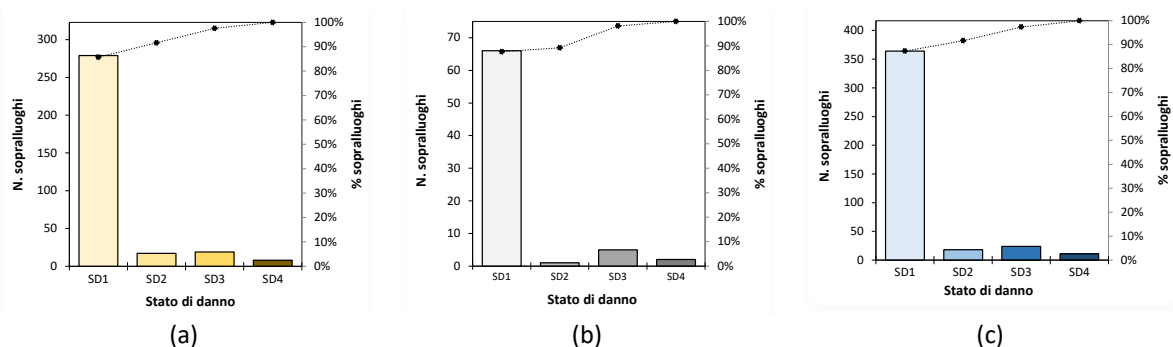


Figura 30. Stato di danno, SD, degli edifici in muratura e misti (a), in c.a. (b) e totali (c)

Quello che emerge è che la quasi totalità degli edifici (85%) presenta su stato di danno pari al DS1, mentre per i restanti stati di danno la distribuzione è uniforme; tuttavia, se si fa riferimento ai soli edifici in c.a., il DS3 è quello che presenta la maggiore frequenza (9%), al netto del DS1.

6.2.4.3. *Esito*

Alla stregua delle Schede AeDES anche le schede AeDEI Ischia 2023 hanno lo scopo di determinare l'esito di agibilità ma con particolare attenzione agli aspetti idrogeologici.

Lo scopo della ricognizione è stato quello di valutare i danni sugli edifici e sulle aree immediatamente ad essi limitrofi e di conseguenza, la fruibilità degli stessi in condizioni di sicurezza. Quindi, il rilievo AeDEI, assolutamente non modifica, in maniera automatica, la perimetrazione speditiva di Protezione civile realizzata dal Soggetto Attuatore ma può essere un utile strumento informativo per la revisione di dette perimetrazioni. Per una più agevole lettura della mappa con i rilievi AeDEI, ecco una breve descrizione della classificazione degli edifici. In particolare, il Comune, ad eccezione degli edifici ubicati nelle zone A1, A2 e A3, per i quali al momento vigono le disposizioni restrittive già assunte, dovrà seguire i seguenti indirizzi operativi:

1. Esito A - Utilizzabile: gli edifici ricadenti in tale esito possono essere utilizzati, pur nel rispetto delle misure di protezione civile vigenti;

2. Esito AF – Utilizzabile con rischio esterno : il Comune dovrà valutare l'attualità delle segnalazioni di "rischio esterno" (F) riportate nelle schede e quando queste si riferiscono a problematiche di interesse pubblico, attivarsi ove possibile per la risoluzione, anche coinvolgendo il Commissariato; qualora l'elemento di rischio esterno sia riconducibile ad elementi di competenza privata, la rimozione del pericolo sarà a carico dei proprietari; in assenza di quanto indicato l'edificio non potrà essere utilizzato

3. Esito B – edificio temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento: gli edifici o porzioni di essi possono essere utilizzati solo a condizione che siano stati realizzati i lavori di pronto intervento riportati nella scheda ovvero rimossi gli impedimenti segnalati; occorre l'attestazione di regolare esecuzione per la revoca della temporanea inagibilità;

4. Esito BF – edificio temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento con rischio esterno: valgono le disposizioni contenute sia nel punto 2., sia nel punto 3.;

5. Esito C – edificio parzialmente inagibile: per gli edifici che ricadono in tale casistica, possono essere utilizzate solo le porzioni "utilizzabili" come indicate nella scheda e interdette le altre porzioni che richiedono interventi di non rapida attuazione.

6. Esito CF – edificio parzialmente inagibile con rischio esterno: valgono le disposizioni contenute sia nel punto 2., sia nel punto 5.;

7. Esito E – edificio inagibile: l'edificio non può essere utilizzato in quanto necessità di rilevanti interventi di ripristino;

8. Esito EF – edificio inagibile con rischio esterno: valgono le disposizioni contenute sia nel punto 2., sia nel punto 7.

Dai risultati della ricognizione effettuata (Figura 31), emerge che il 70% del campione presenta un esito di agibilità A e AF, solo il 12% presenta invece un esito E e EF. La restante parte del campione ha un esito di agibilità B e C.

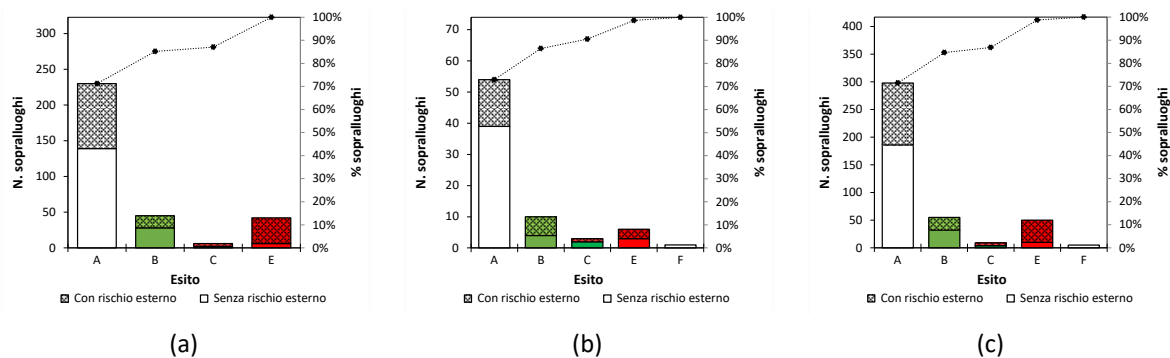


Figura 31. Esiti di agibilità degli edifici in muratura e misti (a), in c.a. (b) e totali (c)

6.3. Elaborazione dei dati di danni da sisma e da frana

In questo paragrafo si riporta una disamina dei livelli operativi assegnati d’ufficio grazie alla messa punto di una procedura in grado di definire i livelli operativi sulla base dei dati raccolti nelle sezioni 2, 3 e 4 della scheda AeDES. Tale procedura è stata messa a punto nell’ambito della convenzione tra la Regione Campania e il Dipartimento di Strutture per l’Ingegneria e l’Architettura (DiSt) della Università degli Studi di Napoli Federico II, avente oggetto “Collaborazione relativa alla formulazione delle normative tecniche di attuazione degli interventi previsti nel Piano di Ricostruzione dei Comuni di Casamicciola, Forio e Lacco Ameno nell’isola di Ischia, di cui all’art. 24 bis del DL. 109/2018 – legge 156/23019 art.9” e con il supporto della Struttura Commissariale per la ricostruzione dell’Isola di Ischia.

Di seguito si richiama la procedura adottata per la valutazione dei livelli operativi d’ufficio e si riporta la distribuzione del numero di edifici in muratura e in c.a. afferenti al comune di Casamicciola Terme caratterizzati da un certo livello operativo; a seguito di ciò, si è proceduto alla sovrapposizione dei dati acquisiti a seguito dei due eventi (sismico e franoso) attraverso cui è stato possibile pervenire alla valutazione del numero di edifici nelle varie zone definite dall’O.C.D.P.C 951/2022 al variare dei livelli operativi e infine valutare quanti edifici siano stati interessati da almeno uno dei due eventi in tutte le suddette zone.

6.3.1. Livello operativo d’ufficio

In accordo all’ordinanza n 7/2017, il costo parametrico convenzionale per gli interventi di ricostruzione degli edifici danneggiati dal sisma che ha interessato l’isola di Ischia il 24 agosto

2017 è stabilito mediante la definizione del livello operativo. Quest'ultimo è anche il parametro discriminante per stabilire la tipologia di intervento da effettuare sull'edificio (rafforzamento locale, miglioramento sismico, adeguamento sismico o abbattimento e ricostruzione). La valutazione del livello operativo per ciascun edificio avviene sulla base della combinazione dello stato di danno e del grado di vulnerabilità definito mediante sopralluoghi approfonditi da parte del tecnico incaricato dal committente per presentare la richiesta di contributo e relativo progetto di intervento (Tabella 1). Come si evince dalla Tabella 1 sono previsti 4 stati di danno (stato di danno 1, stato di danno 2, stato di danno 3, stato di danno 4) in funzione del danneggiamento rilevato sull'edificio e 3 gradi di vulnerabilità (bassa, significativa, alta) in funzione delle carenze strutturali dell'edificio. Le informazioni da acquisire durante i sopralluoghi per definire quale stato di danno e grado di vulnerabilità attribuire all'edificio sono riportati nell'allegato 1 dell'Ordinanza n 7/2017 e sono diversi in funzione della tipologia costruttiva distinta tra muratura, calcestruzzo armato e strutture miste.

Tabella 2. Livelli operativi in accordo con l'allegato 1 dell'Ordinanza n 7/2017

TABELLA 5- LIVELLI OPERATIVI				
Vulnerabilità	Stato di danno 1	Stato di danno 2	Stato di danno 3	Stato di danno 4
BASSA	L0	L1	L2	L4
SIGNIFICATIVA	L0	L1	L3	L4
ALTA	L0	L2	L3	L4

Al fine di assegnare i livelli operativi d'ufficio è stata messa a punto, nell'ambito della convenzione tra la Regione Campania e il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (DiSt) della Università degli Studi di Napoli Federico II, una procedura semplificata che associa a ciascun edificio il proprio livello operativo sulla base dei dati raccolti nelle sezioni 2, 3 e 4 delle schede di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post-sismica per valutare le condizioni di sicurezza degli edifici (schede AeDES) compilate nel periodo immediatamente successivo al terremoto.

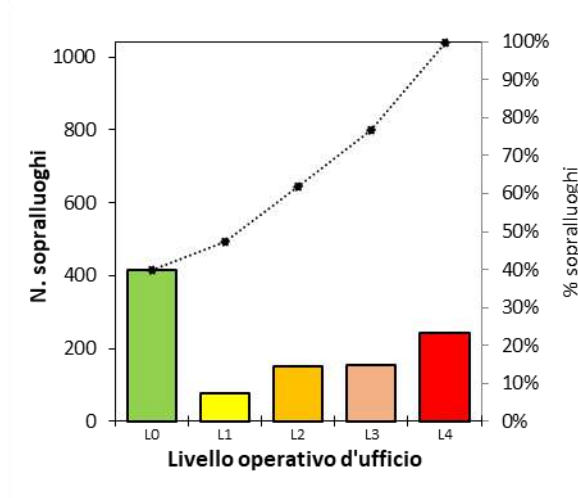
Nel seguito si riporta la procedura messa a punto per definire i livelli operativi d'ufficio per gli edifici in c.a. e muratura. Si noti che per la definizione dei livelli operativi gli edifici con struttura mista muratura-c.a. sono stati assimilati agli edifici in muratura, mentre gli edifici con struttura mista ca-acciaio sono stati assimilati a edifici in c.a.

6.3.1.1. Edifici in muratura o misti muratura c.a.

Per definire lo stato di danno dell'edificio, si è utilizzato il dato relativo al danno rilevato mediante scheda AeDES sulle strutture verticali (sezione 4 della scheda AeDES); tale livello danno è stato, in primo luogo, convertito in 6 livelli di danno globale per edificio (DS0, DS1, DS2, DS3, DS4, DS5) adottando la metrica di conversione riportata in (Dolce et al, 2019). Tali livelli di danno sono stati poi convertiti in quattro stati di danno previsti dall'allegato 1 dell'ordinanza n.7/2017: i livelli di danno DS0 e DS1 sono stati associati allo stato di danno 1; il livello di danno DS2 allo stato di danno 2; il livello di danno DS3 allo stato di danno 3; i livelli di danno DS4 e DS5 allo stato di danno 4. Per quanto concerne la definizione del grado di vulnerabilità, esso è stato definito sulla base delle caratteristiche delle strutture verticali e orizzontali riportate nella sezione 3 della scheda AeDES. I criteri adottati per convertire tali caratteristiche dell'edificio in gradi di vulnerabilità sono riportati in (Dolce e Goretti 2015). In dettaglio tali criteri consentono di individuare tre classi di vulnerabilità A, B e C. La corrispondenza tra le classi di vulnerabilità e i gradi di vulnerabilità riportati nell'allegato 1 dell'ordinanza n. 7/2017 è la seguente: A: vulnerabilità alta B: vulnerabilità significativa C: vulnerabilità bassa.

Dai dati disponibili è stato possibile ricavare il livello operativo d'ufficio relativo a 1042 schede AeDES relative ad edifici in muratura ricadenti nel comune di Casamicciola Terme, per le restanti 16 non è stato possibile per carenza di informazioni nella scheda AeDES.

In Tabella 2 si riporta la distribuzione delle schede AeDES in funzione dello stato di danno e del grado di



vulnerabilità, mentre in

Figura 32 la distribuzione in funzione dei livelli operativi d'ufficio.

Tabella 3. Distribuzione degli edifici in muratura in funzione dello stato di danno e del grado di vulnerabilità

Vulnerabilità	Stato di danno 1, SD1	Stato di danno 2, SD2	Stato di danno 3, SD3	Stato di danno 4, SD4
Bassa	204	49	147	100
Significativa	111	28	106	49
Alta	64	19	71	48

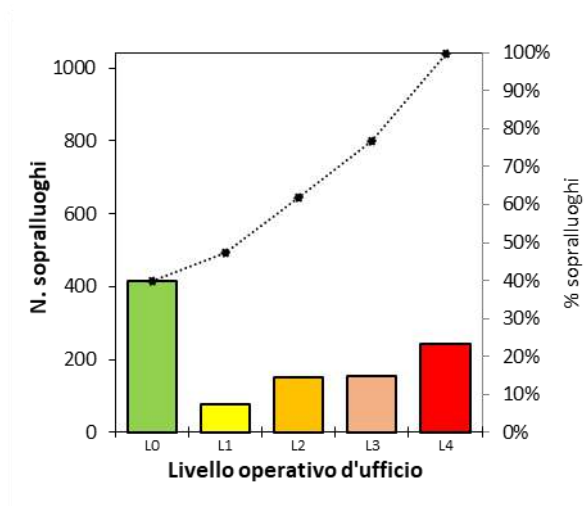


Figura 32. Distribuzione dei livelli operativi d'ufficio per gli edifici in muratura

6.3.1.2. Edifici in c.a. o misti c.a. muratura

Per definire lo stato di danno dell'edificio, si è utilizzato il dato relativo al danno rilevato mediante scheda AeDES sulle strutture verticali e sulle tamponature rilevato (sezione 4 della scheda AeDES); tale livello danno è stato, in primo luogo, è stato convertito in 6 livelli di danno globale per edificio (DS0, DS1, DS2, DS3, DS4, DS5) adottando la metrica di conversione riportata in (Del Gaudio et al, 2019). Tali livelli di danno sono stati poi convertiti in quattro stati di danno previsti dall'allegato 1 dell'ordinanza n.7/2017: i livelli di danno DS0 e DS1 sono stati associati allo stato di danno 1, il livello di danno DS2 allo stato di danno 2, il livello di danno DS3 allo stato di danno 3, i livelli di danno DS4 e DS5 allo stato di danno 4.

Per quanto concerne la definizione del grado di vulnerabilità, esso è stato definito sulla base della tipologia di progettazione dell'edificio (i.e. progettazione per carichi gravitazionali, progettazione sismica pre 1981 e progettazione sismica post 1981) e numero di piani fuori terra (i.e. 1-2 piani, 2-4 piani o >di 4 piani) in accordo a quanto riportato in (Rosti et al 2021). Il livello di progettazione di ogni edificio è stato dedotto confrontando l'epoca di costruzione con l'anno di prima classificazione sismica del Comune in cui è ubicato l'edificio. In Rosti et al 2021 sono individuate le seguenti 6 classi di vulnerabilità in funzione della tipologia di progettazione e numero di piani

- C2-L: edifici con 1 o 2 piani progettati per carichi gravitazionali o con progettazione sismica pre 1981
- C2-M: edifici con 3 o 4 piani progettati per carichi gravitazionali o con progettazione sismica pre 1981

- C2-H: edifici con più di 4 piani progettati per carichi gravitazionali o con progettazione sismica pre 1981
- D-L: edifici con 1 o 2 piani con progettazione sismica post 1981
- D-M: edifici con 3 o 4 piani con progettazione sismica post 1981
- D-H: edifici con più di 4 piani con progettazione sismica post 1981

La corrispondenza tra le 6 classi di vulnerabilità e i gradi di vulnerabilità riportati nell'allegato 1 dell'ordinanza n. 7/2017 è la seguente:

- C2-M e C2-H: vulnerabilità alta
- C2-L e D-H: vulnerabilità significativa
- D-L e D-M: vulnerabilità bassa

Dai dati disponibili è stato possibile ricavare il livello operativo d'ufficio relativo a 176 schede AeDES relative ad edifici in c.a. ricadenti nel comune di Casamicciola Terme, per le restanti 4 non è stato possibile per carenza di informazioni nella scheda AeDES.

In Tabella 4 si riporta la distribuzione delle schede AeDES in funzione dello stato di danno e del grado di vulnerabilità, mentre in Figura 33 si riporta la distribuzione delle schede AeDES al variare dei livelli operativi d'ufficio.

Tabella 4. Distribuzione degli edifici in muratura in funzione dello stato di danno e del grado di vulnerabilità

Vulnerabilità	Stato di danno 1, SD1	Stato di danno 2, SD2	Stato di danno 3, SD3	Stato di danno 4, SD4
Bassa	42	3	5	9
Significativa	53	10	4	9
Alta	14	6	1	1

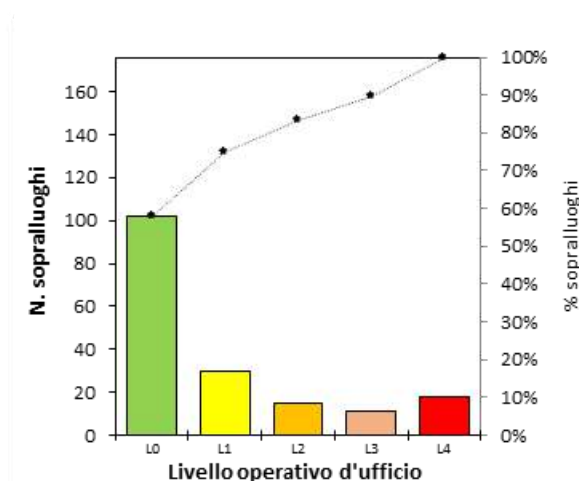


Figura 33. Distribuzione dei livelli operativi d'ufficio per gli edifici in c.a.

6.3.2. Livelli operativi nelle zone definite dall'O.C.D.P.C 951/2022

In questo paragrafo si procede ad effettuare una sovrapposizione dei dati di danno archiviati a seguito dei due eventi calamitosi che hanno colpito l'isola di Ischia, rispettivamente, nel 2017 e nel 2022. In dettaglio si procede ad analizzare il campione di edifici per i quali risulta un danno sia da frana che da sisma.

In particolare, noti i livelli operativi dei 1042 edifici in muratura e dei 176 edifici in c.a. per un totale di 1218 edifici con scheda AeDES, si è poi proceduto alla loro georeferenziazione in GIS ed a effettuare l'unione dello *shape* dei livelli operativi con quello fornito dalla Struttura Commissariale relativo alla zonazione. Dall'unione è stato possibile georeferire 1063 edifici con schede AeDES di cui 1039 con livello operativo d'ufficio e 24 in cui il livello operativo d'ufficio non è disponibile per carenza di informazioni.

In Tabella 5 si riporta la distribuzione dei livelli operativi in funzione delle varie zone. Come emerge dalla tabella, la maggior parte degli edifici è ubicato in zona C; significativo anche il numero di edifici in zona A4 e A1.

Tabella 5. Distribuzione dei livelli operativi in funzione della zonazione

Livello operativo d'ufficio	SUDDIVISIONE ZONE (O.C.D.P.C. 951/2022)						Totale complessivo
	Zona A1	Zona A2-A3	Zona A4	Zona B	Zona C	Zona D	
L0	18		28	8	391	2	447
L1	5		10	5	72		92
L2	13	1	21		95	2	132
L3	11		10		117	2	140
L4	23		29	1	175		228
nd	1		1	1	21		24
Totale complessivo	71	1	99	15	871	6	1063

6.3.3. Edificato con presenza di danni da sisma e da frana

Dalla sovrapposizione effettuata degli *shapes* relativi alle schede AeDES e alle schede AeDEI Ischia 2023 è emerso che su 70 edifici sono stati effettuati sopralluoghi volti sia alla redazione della scheda AeDES che della scheda AeDEI (ovvero edifici che sono stati coinvolti da entrambi gli eventi calamitosi); su 355 edifici sono state redatte solo schede AeDEI Ischia 2023 (frana) e su 70 solo schede AeDES (sisma). Si noti che non sempre gli edifici in aggregato individuati durante i sopralluoghi AeDES coincidono con quelli individuati durante i sopralluoghi AeDEI motivo per cui il numero totale di edifici coinvolti dalla frana o da frana e da sisma è pari a 425 e non 417 come riportato nel paragrafo 6.2. La distribuzione degli edifici in funzione della zonazione e della tipologia di evento è riportata in Tabella 6.

Tabella 6. Distribuzione degli edifici in funzione della zonazione e della tipologia di evento

Evento	Zona A1	Zona A2-A3	Zona A4	Zona B	Zona C	Zona D	Totale complessivo
Sisma	43		76	3	868	3	993
Frana	91	108	104	33	3	16	355
Sisma_frana	28	1	23	12	3	3	70
Totale complessivo	162	109	203	48	874	22	1418

In **Errore**. L'origine riferimento non è stata trovata. si riporta il numero di edifici in relazione sia ai livelli operativi d'ufficio derivanti dalla scheda AeDES che agli esiti delle schede AeDEI Ischia 2023

Tabella 7. Distribuzione degli edifici in funzione del danno globale derivante dalla scheda AeDES e di quello derivante dalle schede AeDEI

Livello operativo d'ufficio	Esito AeDEI Ischia 2023										Assenza schede AeDEI	Totale complessivo
	A	AF	B	BF	C	CF	E	EF	F			
L0	20	8	8	4	1	0	1	2	0		403	447
L1	2	2	2	1	1	0	2	1	0		81	92
L2	2	1	0	0	0	0	0	2	0		127	132
L3	1	0	0	0	0	0	1	0	0		138	140
L4	0	0	4	1	0	0	1	2	0		220	228
nd	0	0	0	0	0	0	0	0	0		24	24
Assenza schede AeDES	161	103	22	18	2	5	6	33	5		-	355
Totale complessivo	186	114	36	24	4	5	11	40	5		993	1063

6.4. Conclusioni

Nel presente capitolo si è proceduto ad una disamina dei dati raccolti mediante le schede di primo livello AeDES - Agibilità e Danno nell'Emergenza Sismica, redatte mediante sopralluoghi speditivi effettuati a valle del sisma, e quelli raccolti mediante le schede AeDEI Ischia 2023 redatte mediante sopralluoghi speditivi effettuati a seguito dell'evento franoso sugli edifici di Casamicciola Terme. A seguito dell'evento sismico sono stati esaminati 1251 edifici, mentre a seguito di quello franoso gli edifici su cui sono stati effettuati sopralluoghi sono risultati 417.

Attraverso l'analisi delle informazioni raccolte a seguito dei sopralluoghi effettuati a valle di ciascuno dei due eventi, nel presente capitolo sono riportati e discussi dati rilevati dati relativi a: i) caratteristiche tipologiche costruttive degli edifici (numero di piani, totali, numero di piani fuori

terra, superficie media di piano, epoca di costruzione, tipologia di costruttiva); ii) danno su componenti strutturali e non strutturali nonché danno globale, Stato di Danno, SD, afferente all'intero edificio; iii) esito di agibilità/utilizzo dichiarato a valle dei sopralluoghi post-sisma e post-frana.

Per quanto concerne i sopralluoghi post sisma si è inoltre proceduto alla disamina dei livelli operativi d'ufficio assegnati mediante la messa punto di una procedura semplificata nell'ambito della convenzione tra la Regione Campania e il Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura (DiSt) della Università degli Studi di Napoli Federico II, avente oggetto "Collaborazione relativa alla formulazione delle normative tecniche di attuazione degli interventi previsti nel Piano di Ricostruzione dei Comuni di Casamicciola, Forio e Lacco Ameno nell'isola di Ischia, di cui all'art. 24 bis del DL. 109/2018 – legge 156/23019 art.9" e con il supporto della Struttura Commissariale per la ricostruzione dell'Isola di Ischia.

Dall'analisi delle caratteristiche tipologiche costruttive è emerso che gli edifici oggetto di sopralluogo sono risultati prevalentemente in muratura (circa 80%) e di piccole dimensioni; infatti, presentano per lo più 2-3 piani totali e 1-2 piani fuori terra con superficie di piano mediamente comprese tra 50 e 230 m².

In merito all'epoca di costruzione, i dati raccolti mediante scheda AeDES (1251 edifici) evidenziano una prevalenza di strutture realizzate in epoca antecedente al 1919 e tra il 1962 e il 1971; mentre i dati raccolti mediante scheda AeDEI nelle zone colpite dall'evento franoso, mostrano che gli edifici rilevati sono risultati prevalentemente realizzati in epoca antecedente al 1919 e tra il 1982 e il 1986.

L'analisi del danno indotto dall'evento sismico ha evidenziato un maggiore danneggiamento degli edifici in muratura rispetto a quelli in c.a. Analizzando il dato, indipendentemente dalla tipologia costruttiva è risultato che il 40% ha subito un danno globale catalogabile come SD1, mentre il 9% ha subito un danno SD2, il 27% SD3, ed il 17% SD4 (per il restante 7% dei casi non è stato possibile definire lo SD per mancanza di informazioni).

In termini di esito di agibilità è emerso, dai sopralluoghi post-sisma è emerso la seguente distribuzione: 404 edifici caratterizzati da esito di agibilità A – Agibile (di cui 60 con rischio esterno); 190 con esito di agibilità B - Temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento (di cui 53 con rischio esterno); 32 con esito di agibilità C - Parzialmente inagibile (di cui 6 con rischio esterno); 2 con esito di agibilità D – Temporaneamente inagibile da rivedere con approfondimento (di cui 1 con rischio esterno); 544 con esito di agibilità esito E – Inagibile (di cui 262 con rischio esterno); e 4 con esito di agibilità F - edificio inagibile per rischio esterno

L'analisi del danno indotto dall'evento franoso (417 edifici) ha evidenziato una distribuzione del danno caratterizzata da una presenza di danno globale SD così ripartita: 87% con stato di danno SD1; 4% SD2; 6% SD3; 11% SD4.

Dal punto di vista degli esiti è emerso che: 298 edifici caratterizzati da esito A – Utilizzabile (di cui 112 con rischio esterno); 55 con esito B - Temporaneamente inagibile (in tutto o in parte) ma agibile con provvedimenti di pronto intervento (di cui 23 con rischio esterno); 9 con esito C - Parzialmente inagibile (di cui 5 con rischio esterno); 50 con esito E – Inagibile (di cui 40 con rischio esterno); e 5 con esito F - edificio inagibile per rischio esterno

Analizzati separatamente i dati raccolti mediante la scheda AeDES e mediante la scheda AeDEI Ischia 2023, si è proceduto alla analisi combinata dei dati acquisiti a seguito dei due eventi (sismico e franoso) attraverso cui è stato possibile pervenire alla valutazione del numero di edifici nelle varie zone definite dall'O.C.D.P.C 951/2022 al variare dei livelli operativi nonché valutare quanti edifici siano stati interessati da almeno uno dei due eventi nelle suddette zone.

L'Analisi è stata condotta su un sottocampione di 1063 edifici con scheda AeDES.

Dalla analisi è emerso che 993 edifici sono stati interessati solo dall'evento sismico, 355 solo dall'evento franoso e 70 da entrambi gli eventi. Dei 70 edifici coinvolti da entrambi gli eventi è risultato che 44 presentano livello operativo d'ufficio L0, 11 livelli operativo d'ufficio L1, 5 livelli operativo d'ufficio L2, 2 livelli operativo d'ufficio L3 e 8 livelli operativo d'ufficio L4.

Analizzando i livelli operativi d'ufficio in relazione agli esiti degli edifici con scheda AeDEI Ischia 2023 è emerso che: i) dei 60 edifici con livello operativo d'ufficio basso (L0, L1 o L2), 50 presentano esito da scheda AeDEI Ischia 2023 pari a A, B o C e 8 con esito da scheda AeDEI Ischia 2023 pari a E o EF; ii) dei 10 edifici con livelli operativo d'ufficio alto (L3 o L4), 6 presentano esito da scheda AeDEI Ischia 2023 pari a A o B e 4 con esito da scheda AeDEI Ischia 2023 pari a E o EF.

Bibliografia

1. Baggio C., Bernardini A., Colozza R., Corazza L. Della Bella M., Di Pasquale G., Dolce M., Goretti A., Martinelli A., Orsini G., Papa F., Zuccaro G., Manuale per la compilazione della scheda di 1° livello di rilevamento danno, pronto intervento e agibilità per edifici ordinari nell'emergenza post sismica (AeDES), Dipartimento della Protezione Civile, Roma, 2014.
2. Dolce, M., Goretti, A. Building damage assessment after the 2009 Abruzzi earthquake. Bull Earthquake Eng 13, 2241–2264 (2015). <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9723-4>
3. Del Gaudio, C., Di Ludovico, M., Polese, M. et al. Seismic fragility for Italian RC buildings based on damage data of the last 50 years. Bull Earthquake Eng 18, 2023–2059 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00762-6>

4. Dolce, M., Speranza, E., Giordano, F., Borzi, B., Bocchi, F., Conte, C., Di Meo, A., Faravelli, M., Pascale, V., 2019. Observed damage database of past Italian earthquakes: the Da.D.O. Webgis. *Bollettino di Geofisica Teorica e Applicata*, 60(2), 141-164.
5. Grunthal G., European Macroseismic Scale 1998. *Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie*, 15, Luxembourg 1998 pp. 1–97.

7. STRATEGIE DI INTERVENTO

7.1 INQUADRAMENTO METODOLOGICO

Per progettare interventi di mitigazione del rischio idrogeologico (cioè da fenomeni alluvionali e/o franosi innescati da un evento idrometeorico) è possibile adottare uno o più dei seguenti approcci:

- riduzione della pericolosità, cioè della probabilità di innesco e propagazione di un dato fenomeno;
- riduzione della vulnerabilità, cioè del grado di danno atteso (o fragilità) per gli elementi esposti al rischio;
- riduzione dell'esposizione, cioè della numerosità e/o del valore degli elementi esposti al rischio, in modo temporaneo o permanente.

In questo capitolo vengono trattate le sole strategie del primo tipo, a loro volta suddivisibili, secondo la finalità, in due macro-categorie:

- interventi di "prevenzione" (o di difesa attiva), rivolti a diminuire, mediante la riduzione delle azioni destabilizzanti e/o l'incremento di quelle resistenti, la probabilità di innesco di un dato fenomeno;
- interventi di "protezione" (o di difesa passiva), indirizzati a ridurre la probabilità che una massa (solida e/o fluida) in movimento investa gli elementi esposti, intercettandola, contenendola, o modificandone il percorso di propagazione, e/o dissipandone l'energia cinetica.

Le tipologie di intervento potenzialmente applicabili ai fenomeni in esame sono classificabili in relazione alla funzione fisico-meccanica esplicita secondo l'approccio adottato dalle Linee Guida AGI-ISPRA (2022) riassunto nella **Tabella 7.1**, in cui vengono ulteriormente riferite all'applicabilità a volumi potenzialmente instabili di terreno o roccia.

La **Tabella 7.2** invece raggruppa le tipologie di intervento sopraelencate secondo i contesti ambientali di riferimento (distinti per colore carattere anche in Tabella 7.1): esse riconducono a competenze tecniche diversificate ma auspicabilmente integrabili tra le scienze agro-forestali, la geologia applicata, l'ingegneria geotecnica e l'ingegneria idraulica.

Non è forse superfluo precisare che il successo e la convenienza dell'adozione di una o più strategie di intervento dipende dalla possibilità di integrarli efficacemente, motivandone il dimensionamento mediante adeguate quantità e qualità di indagini e studi sui fattori predisponenti (cioè le proprietà geometriche e fisico-meccaniche), preparatori (le condizioni in sito e le relative possibili variazioni stagionali) e d'innesco (le azioni idro-meteoriche e sismiche). L'efficacia della progettazione andrà valutata tramite il confronto tra analisi prestazionali del sistema oggetto di

intervento da effettuare in condizioni *ante-operam* e *post-operam* in ossequio alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in condizioni statiche e sismiche.

Tranne poche eccezioni, tutte le tecniche di intervento sopracitate sono potenzialmente applicabili ai contesti in esame. Tenuto conto delle specifiche criticità dei bacini imbriferi, del reticolo idrografico e dei versanti spondali esaminate nel Capitolo 5, vengono in seguito selezionate e descritte sinteticamente, con riferimento ai quattro diversi contesti ambientali considerati, alcune tecniche d'intervento ritenute più rappresentative, sottolineate in Tabella 7.2. Per le restanti, è possibile far riferimento alle citate Linee Guida AGI-ISPRA (2022).

Il capitolo si conclude con una sintetica descrizione dei possibili interventi per migliorare l'officiosità dei tratti tombati.

Finalità	Funzione	Tipologie per terreni	Tipologie per rocce
Prevenzione (attivi)	Modifica geometria e distribuzione masse	Rimozione sedimenti Taglio vegetazione Terrazzamento	Disgaggio
	Trasferimento azioni	Muri a gravità Terre armate/rinforzate Gabbionate Ancoraggi, <i>soil nailing</i>	Imbragaggio Bullonature, chiodature
	Modifica proprietà meccaniche	Scavo + sostituzione Compattazione Miscelazione	Iniezioni
	Modifica regime idraulico superficiale	Deviazione corsi d'acqua Briglie di consolidamento Cunette e canalette Riduzione infiltrazione	Sigillature
	Modifica regime idraulico profondo	Trincee Dreni	Gallerie drenanti
	Contrasto erosione	Rinverdimento Fascinate, viminate, palizzate Materassi antierosione Soglie di fondo	Rivestimenti
Protezione (passivi)	Difesa da caduta massi		Valli/Rilevati/Barriere paramassi Reti a cortina Barriere vegetali Gradonatura
	Difesa da colate	Aree di deposito Vasche di espansione/trattenuta Vasche a dispersione/dissipazione Ostacoli Briglie selettive/griglie a pettine Barriere	

Tabella 7.1 - Suddivisione delle tipologie d'intervento possibili secondo finalità, funzioni e caratteristiche dei geomateriali da stabilizzare

Contesto	Intervento
Interventi forestali	<ul style="list-style-type: none"> • Taglio vegetazione (ceduazione) • Rinverdimento (semina a spaglio o idrosemina) • Fascinate, viminate, palizzate • Barriere vegetali
Sistemazione dei versanti in roccia	<ul style="list-style-type: none"> • Disgaggio o imbragaggio massi • Bullonature/chiodature • Iniezioni per permeazione / sigillature di fessure • Gallerie drenanti • Rivestimenti (spritz beton etc.) • Valli / Rilevati / Barriere paramassi • Reti a cortina
Sistemazione dei versanti in terra	<ul style="list-style-type: none"> • Muri a gravità • Terre armate/rinforzate • Gabbionate • Ancoraggi, soil nailing • Scavo + sostituzione • Compattazione • Miscelazione • Cunette e canalette • Riduzione infiltrazione • Trincee e dreni
Interventi in alveo	<ul style="list-style-type: none"> • Rimozione sedimenti • Terrazzamenti / gradonature • Deviazione o inalveazione corsi d'acqua • Briglie (di consolidamento) • Materassi antierosione • Soglie di fondo • Aree di deposito • Vasche di espansione / trattenuta • Vasche a dispersione / dissipazione • Ostacoli (rostri frangicolata) • Briglie selettive / griglie a pettine • Barriere laterali / frontali / deflettenti

Tabella 7.2 - Suddivisione delle tipologie d'intervento possibili secondo i diversi contesti ambientali ricorrenti nell'area oggetto di studio

7.2 INTERVENTI FORESTALI

7.2.1 Bosco misto in posizione rupestre a prevalenza di leccio

La precaria stabilità biomeccanica degli alberi è il principale fattore di rischio in questa fascia altitudinale di bosco, dove l'instabile ancoraggio degli alberi e dei pochi arbusti presenti sulla rupe e alla base dell'anfiteatro vulcanico è esacerbato dalla disproporzionalità del rapporto biomassa epigea/biomassa ipogea.

Per mitigare tale rischio è cruciale alleggerire il carico di biomassa epigea e conservare la funzionalità della biomassa radicale degli alberi. In questo modo si mitigano due fattori avversi legati all'instabilità della pendice:

- sovraccarico di biomassa epigea
- sradicamento/ribaltamento degli alberi.

L'operazione colturale idonea per l'alleggerimento della biomassa epigea è il taglio su ceppaia (ceduazione) sia degli alberi vivi che di quelli morti ubicati sulla cresta delle rupi, sulle cenge, sulle pareti e alla loro base. Il taglio su ceppaia degli alberi vivi mantiene ancora funzionante l'apparato radicale e permette di ricostituire la parte epigea tagliata mediante ricacci da gemme. La ceduazione dovrà essere eseguita da personale in grado di operare su rupi in sicurezza utilizzando la motosega. Il taglio a regola d'arte dovrà essere a spiovente per evitare ristagni d'acqua sulla superficie di taglio, in modo da evitare la conseguente degradazione del legno e morte della ceppaia con la sua banca di gemme dormienti, necessaria alla reiterazione dei fusti tagliati. Questo tipo di intervento è prioritario sulle cornici e sulle pareti classificate a elevato rischio di crolli e cedimenti.

7.2.2 Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto

La discontinuità fisica e meccanica fra apparati radicali superficiali e substrato roccioso compatto è esacerbata dallo squilibrio del rapporto biomassa epigea/biomassa ipogea. Per mitigare il rischio di ribaltamento/sradicamento degli alberi in questa tipologia forestale è cruciale ridurre il carico di biomassa epigea e conservare integra e funzionante quella ipogea (biomassa radicale), ristretta in uno strato di suolo molto superficiale. L'operazione colturale di ceduazione ad intervalli temporali brevi (12-14 anni) è stata interrotta da lungo tempo e questa circostanza ha incrementato l'accumulo di biomassa epigea e necromassa, aggravando le condizioni di stabilità delle pendici a scala locale.

Gli effetti dell'evento del novembre 2022 in questa tipologia forestale sono riscontrabili nel segmento altimetrico sottostante la rupe del Celario. La copertura arborea è stata trascinata verso valle con tutto lo spessore di suolo corrispondente fino a mettere a nudo la roccia tufacea compatta

sottostante.

In questa tipologia di soprassuolo il ritorno alla gestione mediante taglio raso su ceppaia (ceduazione) ogni 14 anni e senza rilascio di matricine (ceduo semplice) si reputa il sistema selvicolturale idoneo per mitigare il rischio da sovraccarico di biomassa sulla pendice.

Sotto il profilo gestionale, il ceduo è un sistema selvicolturale vulnerabile all'erosione superficiale nei primissimi anni dopo il taglio, perché la funzione intercettante le precipitazioni da parte delle chiome si ricostituisce progressivamente. Inoltre, in considerazione dell'acclività dei versanti in cui si dovrà operare, la gestione del ceduo si attuerà modulando la forma e dimensione delle tagliate, in modo da impedire alle acque meteoriche di scorrimento superficiale velocità erosive.

Per il caso in esame, la gestione del ceduo a scala di versante si attua mediante un *Piano di Gestione Forestale* (PGF) di durata quinquennale, che ripartisce nello spazio e nel periodo di durata del PGF le superfici di taglio, corrispondenti cartograficamente a poligoni chiusi aventi il significato di *Unità di Gestione* (UG) della mitigazione del rischio. Si tratta, in altre parole, di redigere un piano planimetrico spartitivo, che riporti in cartografia e materializzi sul terreno la superficie boscata di questo versante suddivisa in UG, la cui forma geometrica e dimensione (superficie da sottoporre a taglio) sia adeguata alla mitigazione del rischio e all'impatto sulla conservazione del suolo e sulla stabilità dei versanti.

La compilazione del PGF della mitigazione del rischio è demandata alla fase progettuale, ma sono imprescindibili i seguenti criteri di gestione forestale sostenibile da implementare nel PGF:

- ciclo di rotazione (turno) del ceduo di castagno non superiore a 14 anni;
- assenza di matricine a dote del bosco per impedire la presenza di alberi di taglia (biomassa) grande;
- superficie e forma geometrica della tagliata devono essere rispettivamente inferiore a 2 ettari e con lato maggiore lungo curve di livello;
- in ciascun anno di validità della pianificazione, la superficie massima da sottoporre a taglio è di 25 ettari, dati dalla somma delle superfici di particelle forestali sottoposte al taglio spazialmente non contigue;
- devono intercorrere almeno 5 anni fra il taglio di una particella forestale e una spazialmente contigua da tagliare;
- nelle operazioni di taglio è escluso l'impiego di mezzi meccanici e di apertura di qualsiasi tipo di viabilità forestale; l'esbosco dovrà attuarsi mediante quadrupedi e/o canalette di esbosco in polietilene con concentramento del materiale tagliato in corrispondenza di teleferica ubicata in soluzioni di continuità della copertura forestale;
- obbligo di rilascio della ramaglia a monte di ciascuna ceppaia, consolidata mediante microfascinate.

Lo stato giuridico di tutti i cedui non coltivati di questo versante dell'Epomeo, corrispondenti alle tipologie forestali "*Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto*" e "*Ceduo di castagno non gestito*", ricade nella definizione di "*terreni abbandonati*", riportata nella lettera g) dell'art. 3 del D.L. 34/2018 (c.d. TUFF). Per i terreni abbandonati sono previste "*Forme di sostituzione della gestione e di conferimento delle superfici forestali*" contemplate dall'art. 12 del TUFF. Inoltre, il ritorno alla gestione del ceduo coltivato allo scopo di migliorare la stabilità dei versanti, malgrado abbia superato abbondantemente il turno, è contemplato all'art. 7 lettera c) del TUFF. Per quanto riguarda lo stato giuridico dei boschi in situazioni speciali, occorre fare riferimento anche all'Art. 26 del Regolamento Forestale Regionale n. 3/2017.

7.2.3 Ceduo di castagno non gestito

Anche per questa tipologia forestale la mitigazione del rischio è legata alla riduzione del carico di biomassa epigea, mantenendo integra e funzionante quella ipogea (biomassa radicale). Il ritorno alla gestione del soprassuolo di origine agamica mediante taglio raso su ceppaia (ceduazione) ogni 14 anni e senza rilascio di matricine, cioè ceduo semplice, si reputa il sistema selvicolturale idoneo per mitigare il rischio da sovraccarico di biomassa sulla pendice. Il criterio gestionale e i riferimenti normativi fanno riferimento a quanto riportato nel paragrafo 7.2.2 (Ceduo di castagno non gestito in evoluzione a orno-ostrieto).

7.2.4 Interventi forestali in alveo

I seguenti interventi in alveo si basano su due tipologie di azione e possono ritenersi comuni a tutte le cave considerate:

- i) le superfici di fondo alveo erose dalle valanghe si caratterizzano per un diverso grado di acclività del versante, molto variabile nel profilo longitudinale, per le caratteristiche del substrato geologico messo in luce, per la loro ubicazione in contesti a diverso grado di frequentazione umana e interferenza con le infrastrutture e i manufatti. Nei casi più favorevoli, le soluzioni di restauro naturalistico e di mitigazione del rischio possono limitarsi al rimodellamento superficiale del profilo morfologico, a supporto della reintroduzione della vegetazione autoctona presente nel contesto di intervento. Nei casi meno favorevoli, a causa della morfologia e dell'entità spaziale della frana del versante, nonché per ragioni di pubblica e privata incolumità, le soluzioni geotecniche ritenute indispensabili alla stabilizzazione di materiale roccioso incoerente ancora presente su versante si integrano con interventi di restauro naturalistico e di bioingegneria.
- ii) lungo i versanti e sulle creste, nonché sul fondo dell'alveo, laddove siano presenti molti alberi in precario stato di equilibrio, si propone il taglio fitosanitario. Inoltre, i tronchi e il materiale

legnoso accumulato sul fondo dell'alveo vanno rimossi qualora rappresentino ostruzione e/o ingombro per il regolare deflusso idrico.

7.3 SISTEMAZIONE DEI VERSANTI IN ROCCIA

7.3.1 Interventi attivi – Disgaggi ed imbragaggi massi isolati

Descrizione

In corrispondenza dei costoni in roccia lapidea vulcanica presenti nella zona sommitale sono presenti blocchi lapidei in condizioni di precaria stabilità, individuati dalle discontinuità presenti, con dimensioni che vanno da meno di 1 m³ ad alcune decine di m³. Ulteriori blocchi erratici, di dimensioni a volte ciclopiche, sono messi in posto a seguito di precedenti dissesti lungo i versanti al piede dei costoni. Essi si trovano spesso in precarie condizioni di stabilità e risultano potenzialmente mobilitabili a seguito di eventi meteorici di intensità significativa.

Per tali situazioni andrà valutata l'opportunità di provvedere alla rimozione dei blocchi, che potrà avvenire con diverse tecniche a seconda della dimensione e la posizione degli stessi:

- a) per i blocchi in parete si potrà procedere con mezzi manuali (leve e martinetti) da parte di operai rocciatori, previo posizionamento al piede del versante di idonei dispositivi di confinamento (barriere o rilevati paramassi); le operazioni dovranno essere eseguite solo in periodi asciutti, ovvero assicurandosi che i terreni presenti nell'area di caduta siano lontani dalla saturazione;
- b) per i blocchi di dimensioni ridotte presenti sul versante si procederà alla rimozione e trasporto a rifiuto, mentre per quelli di maggiori dimensioni si potrà intervenire con l'ancoraggio in sito mediante imbragaggio con pannelli di funi, qualora gli spessori della coltre mobilitabile sottostante siano limitati e le caratteristiche dei terreni di fondazione siano idonee a garantire un sufficiente ancoraggio;
- c) qualora siano presenti difficoltà per l'accessibilità dei luoghi, si potrà prevedere la loro demolizione fino alla riduzione in elementi tali da poter essere trattati come detrito con le modalità di intervento previste per zone di versante.

Aspetti progettuali e costruttivi

L'individuazione della presenza di blocchi instabili in parete e/o la presenza di blocchi crollati sul versante pedemontano potrà essere effettuata preliminarmente con l'ausilio di rilievi geomeccanici da immagini da drone o *laser scanner*; i risultati ottenuti con tali tecniche dovranno essere

successivamente validati mediante ispezioni in sito eseguite da geologi/rocciatori, sia con rilievi di campo che, per le pareti rocciose, mediante calate in parete.

Nella valutazione delle possibili soluzioni progettuali dovrà essere tenuta in conto la natura litologica dei blocchi e le condizioni di appoggio e vincolo degli stessi.



Figura 7.1 - Demolizione con esplosivi chimici espansivi (in alto) e imbragaggio massi isolati (in basso).

7.3.2 Interventi passivi – Barriere paramassi

Descrizione

In corrispondenza di costoni lapidei di altezza significativa con andamento subverticale, interessati da famiglie di discontinuità diffuse che richiederebbero interventi di consolidamento sull'intera parete eccessivamente costosi e problematici, si potrà ricorrere, in alternativa, ad interventi di tipo passivo mediante l'installazione di barriere paramassi.

Tali dispositivi potranno essere installati sia al piede del costone, nei tratti in cui le coperture detritiche al piede abbiano spessori nulli o trascurabili, sia in parete, con installazione "a mantovana", laddove, per la presenza di spessori significativi di materiale sciolto "mobilitabile" alla base, sia preferibile evitare impatti al suolo di volumi di roccia, sia lapidea che sciolta, distaccatisi dal versante.

Le barriere dovranno prevedere orditure di reti tali da assicurare che le maglie siano compatibili con le dimensioni degli elementi lapidei da trattenere; questi dovranno essere contenuti dal dispositivo che ne dissiperà l'energia di caduta con elongazioni tali da impedirne l'impatto al suolo.

Nei limiti del possibile, l'installazione dovrà prevedere la presenza di una fascia di rispetto non vegetata di larghezza compresa tra 2 e 5 m, al fine di consentire la periodica manutenzione dei dispositivi (svuotamento e ripristino delle zone di impatto); laddove non ci siano gli spazi sufficienti, dovranno essere chiaramente definite le modalità di manutenzione dei tratti interessati, altrimenti l'intervento è da considerarsi poco opportuno.

Eventualmente potrà essere prevista l'installazione di dispositivi di allarme degli elementi strutturali che segnalino l'entrata in carico delle barriere nei tratti meno accessibili, assicurando un monitoraggio "in remoto" dello stato e delle condizioni di funzionamento della barriera.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le fondazioni dei montanti e gli ancoraggi sia laterali che di monte saranno realizzati con barre in acciaio e funi a trefoli, vincolate al suolo in fori di diametro non superiore ai 100 mm, realizzabili con attrezzature di ingombro modesto e facilmente trasportabili anche in zone impervie. Per il trasporto dei supporti metallici e delle reti dovrà invece essere previsto prevalentemente l'utilizzo dell'elicottero.

Prima della installazione sarà opportuno prevedere la pulizia delle pareti e la rimozione dei blocchi e/o delle masse terrose instabili eventualmente presenti, sia per ridurre l'aggravio di sollecitazione sul dispositivo sia per garantire idonee condizioni di sicurezza durante le lavorazioni.

Il dimensionamento delle fondazioni e degli ancoraggi dovrà essere eseguito tenendo presenti le caratteristiche di continuità, saturazione e compattezza dei materiali interessati (che possono variare da rocce lapidee a terreni sciolti di copertura), previa opportuna caratterizzazione fisico-meccanica delle stesse. Per quest'ultimo aspetto, si suggerisce di privilegiare le informazioni ottenute mediante prove di carico a rottura in vera grandezza, ritenute più rappresentative nel contesto litologico e stratigrafico di riferimento.

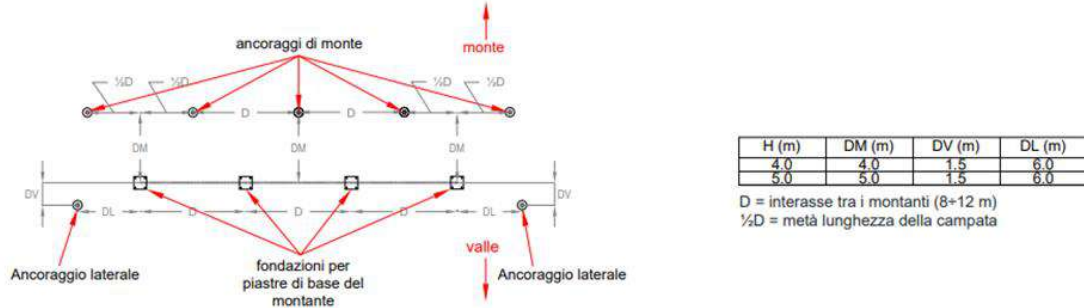


Figura 7.2 - Barriere con montanti verticali (in alto a sx) e "a mantovana" (a dx); schema disposizione ancoraggi e fondazioni (in basso).

7.4 SISTEMAZIONE DEI VERSANTI IN TERRA

7.4.1 Interventi attivi – Terre armate/rinforzate

Descrizione

Per terra armata o rinforzata si intende un'opera di sostegno composita che combina la resistenza del terreno con quella di differenti materiali in grado di migliorare le caratteristiche globali dell'insieme. Nelle sue diverse varianti, la soluzione nell'insieme si presta ad essere adoperata per realizzare interventi di stabilizzazione dei versanti, con paramenti anche verticali, nonché gradonature delle sponde o di fondo alveo, purché si utilizzino materiali non facilmente erodibili.

L'origine primordiale di questa tecnica utilizzava rinforzi con elementi vegetali. La sua evoluzione in tempi recenti con l'utilizzo di materiali industriali ha visto lo sviluppo di "terre armate" (pareti di pannelli rigidi di calcestruzzo ancorati al terrapieno retrostante da elementi metallici distribuiti uniformemente) e "terre rinforzate" (in cui la funzione di ancoraggio è affidata ad un geosintetico, in genere geogriglia monoorientata, che costituisce anche la parete esposta all'esterno).

Nelle terre rinforzate rivegetate, all'interno del risvolto in facciata della geogriglia di rinforzo, è previsto l'inserimento di una stuoia vegetale avente la funzione di proteggere la parete dall'azione erosiva degli agenti atmosferici e di costituire un'idonea superficie rinverdibile tramite idrosemina di adatte essenze erbacee.

Aspetti progettuali e costruttivi

La messa in opera di opere in terra rinforzata prevede, in facciata, l'utilizzo di un cassero di guida e di appoggio "a perdere", non strutturale, realizzato mediante piegatura meccanica di un foglio di rete elettrosaldata e corredato di opportuni tiranti uncinati che ne garantiscono la stabilità anche durante la fase di compattazione del terreno. Il materiale utilizzato per il rinterro è in genere terreno granulare con buona capacità drenante ed elevato angolo di attrito interno; esso viene steso sopra le geogriglie in strati dello spessore di circa 0.30m e costipato utilizzando piastre vibranti in prossimità della facciata, e rulli compattatori a tergo. In casi come quelli in esame si può valutare la possibilità di riutilizzare il terreno franato, se di caratteristiche idonee.

Le verifiche da effettuare sono quelle di stabilità generale dell'opera (stabilità esterne) e di stabilità locale dei rinforzi (stabilità interna). Le *verifiche di stabilità esterna* sono quelle tipiche dei muri di sostegno a gravità cioè al ribaltamento, allo scorrimento lungo il piano di posa, al carico limite del terreno di fondazione e di stabilità globale. L'*analisi di stabilità interna* è indirizzata alla verifica di sicurezza in relazione a due diversi stati limite, per rottura o eccessivo allungamento del rinforzo, o del suo sfilamento, individuando con appositi metodi la lunghezza della zona attiva e di quella resistente.

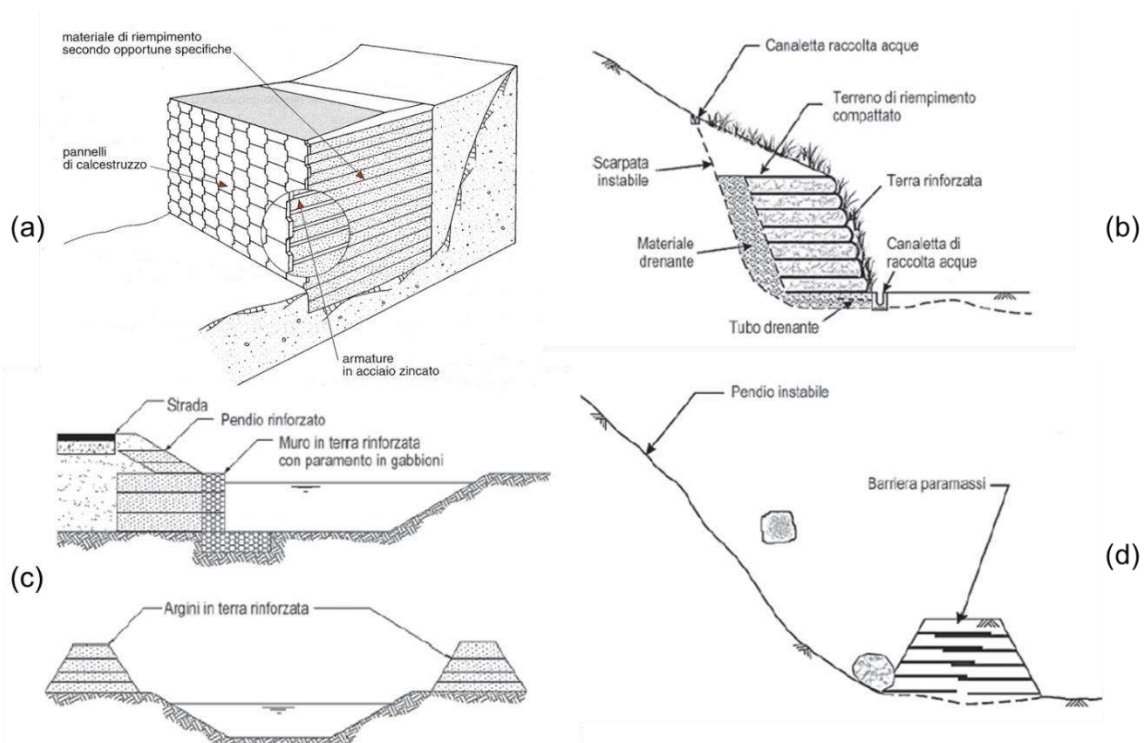


Figura 7.3 - Schema di muro in terra armata (a); applicazioni di terra rinforzata per stabilizzazione di versanti (c), per muri spondali e arginature di opere idrauliche (d) e per barriere paramassi (d).

7.4.2 Interventi attivi – Gabbionate

Descrizione

Le gabbionate sono opere di sostegno e drenaggio modulari, formate da elementi a forma di parallelepipedo in rete a doppia torsione tessuta con trafilato di acciaio riempite con pietrame. Questo tipo di tecnologia è nata in Italia ed ha avuto ampia diffusione non solo negli interventi di sistemazione di versanti instabili, ma anche come elemento per la costruzione di briglie, il rivestimento di alvei e la protezione di altre infrastrutture idrauliche. La struttura modulare, a forma di parallelepipedo, è realizzata con tecniche costruttive semplici e rapide. Le dimensioni usuali di larghezza, altezza e profondità sono: 1 m·x (0.5÷1) m·x (2÷4) m.

Le gabbionate costituiscono una struttura resistente ed allo stesso tempo molto duttile, in grado di assecondare, senza significative deformazioni dei singoli elementi, assestamenti e/o cedimenti del piano di posa o del terrapieno dovuti a fenomeni erosivi o franosi, o a scosse sismiche.

La struttura modulare e la forma degli elementi conferiscono all'opera una notevole capacità di adattamento alle diverse conformazioni plano-altimetriche del terreno, specie in territori collinari e montani, consentendo la realizzazione di opere anche di geometria molto articolata e in zone di difficile accesso.

I gabbioni sono molto permeabili e garantiscono un efficace drenaggio del terreno. Negli interventi di sistemazione e stabilizzazione di versanti in frana, per migliorare l'azione drenante alla base del muro vengono posizionati uno strato di materiale drenante (vespaio) e una soletta in calcestruzzo, sagomata in modo tale da raccogliere ed allontanare le acque anche con l'ausilio di tubi drenanti. Per rendere più gradevole l'inserimento nell'ambiente circostante, le gabbionate possono essere rinverdate con talee, che attraversano completamente i moduli e vengono introdotte nel terreno in modo da garantire lo sviluppo dell'apparato radicale, o in alternativa vengono messe in opera tramite 'cunei verdi' esterni o interni.

Aspetti progettuali e costruttivi

Le reti metalliche sono costituite in filo di acciaio protetto con zincatura forte o con lega di zinco-alluminio (galvan) ricoperto da una guaina in PVC per aumentare la resistenza alla corrosione, e hanno maglie di (6÷8)·(10÷12) cm.

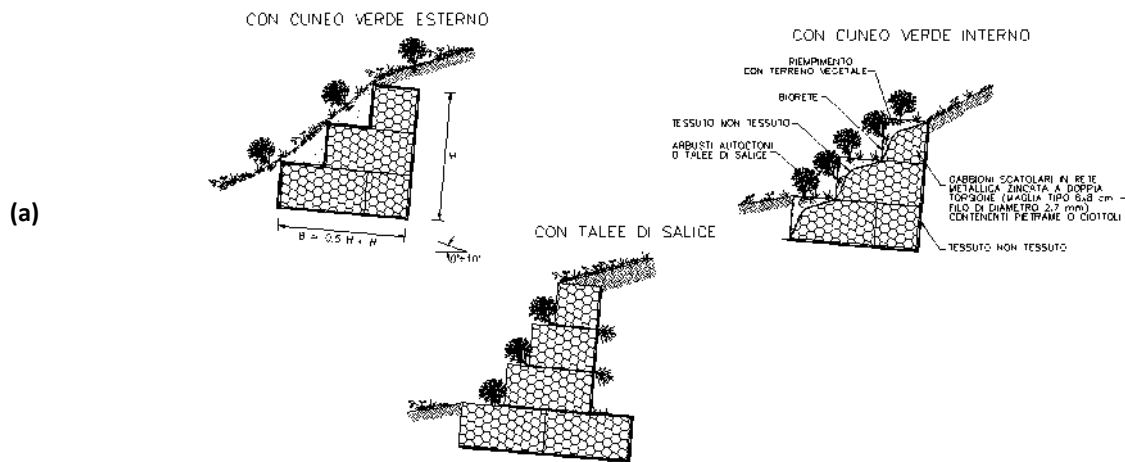
Per il riempimento dei gabbioni possono essere utilizzati i materiali lapidei e disponibili in loco o nelle vicinanze, purché abbiano caratteristiche granulometriche e peso specifico tali da soddisfare le esigenze progettuali e garantire l'efficienza dell'opera. I materiali più comunemente usati sono

costituiti da materiale detritico di grossa pezzatura, alluvionale o di cava (ciottoli, pietrame). Il pietrame deve essere non gelivo, non erodibile e di buona durezza.

Le gabbionate devono essere riempite con cura utilizzando pezzature di pietrame diversificate disposto in strati in modo da minimizzare la presenza di vuoti. Preparato il piano di appoggio con la posa di eventuale materiale granulare, i gabbioni vengono disposti in file parallele, con il lato più lungo parallelo alla sezione dell'opera, in modo da avere una maggiore stabilità e resistenza nei riguardi della spinta del terrapieno.

Dal punto di vista statico le gabbionate agiscono come un muro a gravità, opponendosi col proprio peso alle sollecitazioni cui sono sottoposte. Il loro dimensionamento e le verifiche di stabilità sono pertanto eseguiti secondo gli usuali metodi di calcolo adottati per le opere di sostegno a gravità.

Le verifiche di stabilità comprendono quella al ribaltamento, allo scorrimento lungo il piano di posa, al carico limite del terreno di fondazione e di stabilità globale. In tutte le sezioni dove lo spessore del muro varia, si deve verificare la stabilità interna, ossia che non si abbia scorrimento della parte sovrastante la struttura su quella sottostante. Per questa verifica si determina la spinta attiva che agisce sulla porzione di muro al di sopra della sezione analizzata.



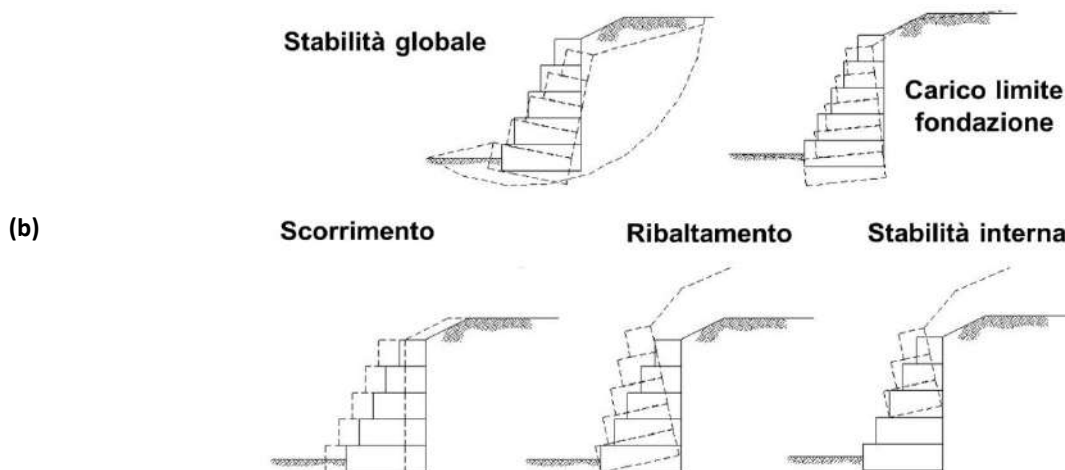


Figura 7.4 - Schema di realizzazione di gabbioni con rinverdimento (a); stati limite di verifica di stabilità (b).

7.4.3 Interventi attivi – Drenaggi

Descrizione

In corrispondenza del piede delle pareti subverticali presenti nella cornice sommitale della fascia montana sono presenti coltri detritiche costituite dai prodotti della disgregazione delle rocce dei costoni sovrastanti nonché dai terreni piroclastici messi in posto e successivamente dilavati dalle acque meteoriche.

Tali coltri, che nel tratto pedemontano hanno uno spessore variabile da alcuni decimetri ad alcuni metri, per la natura e la granulometria dei terreni che le costituiscono possono, in occasione degli eventi meteorici più intensi, raggiungere contenuti d'acqua elevati e prossimi alla saturazione, con una conseguente e sensibile riduzione delle resistenze meccaniche disponibili.

Ulteriori apporti idrici possono provenire dalla circolazione interna che si instaura nelle discontinuità della roccia fratturata dei costoni stessi, che risulta idraulicamente tamponata dalle coltri in funzione dei rapporti di permeabilità dei due terreni.

Nei casi in cui non sia possibile rimuovere in maniera sostenibile dal punto di vista tecnico-economico gli interi volumi di detrito mobilabile, si potrà valutare la possibilità di migliorarne la stabilità favorendo il deflusso delle acque interstiziali mediante la realizzazione di trincee drenanti prefabbricate, di semplice trasporto ed installazione. Un ulteriore contributo potrà essere fornito dalla realizzazione di dreni tubolari al piede del costone lapideo, a cui affidare il drenaggio puntuale delle acque di infiltrazione nella rete di discontinuità dell'ammasso.

Le acque raccolte dovranno poi essere opportunamente convogliate nel reticolo idrografico naturale, se idoneo, ovvero regimentate e recapitate in recettori appositamente individuati.

Aspetti progettuali e costruttivi

Per il dimensionamento dell'intervento si potranno utilizzare le relazioni disponibili nella letteratura scientifica per gli interventi di regimentazione delle falde idriche. Attesi i modesti spessori, le operazioni di scavo, di sezione ridotta, potranno essere eseguite con mezzi meccanici di ingombro limitato, ovvero a mano nei tratti meno accessibili. Attesa la leggerezza dei dispositivi drenanti, anche il trasporto e la posa in opera potranno avvenire a mano nelle zone più accidentate. Il convogliamento e recapito delle acque raccolte dalle trincee prefabbricate potrà essere facilmente realizzato con il prolungamento delle tubazioni in PEAD corrugato installate sul fondo dei dispositivi. L'installazione dei dreni sub-orizzontali potrà essere eseguita con le usuali tecniche di perforazione utilizzate sulle pareti rocciose.



Figura 7.5 - Trincee drenanti prefabbricate (in alto) e dreni tubolari (in basso).

7.5 INTERVENTI IN ALVEO

7.5.1 Interventi attivi – Briglie di consolidamento

Descrizione

Le briglie sono opere di ritenuta idraulica realizzabili in legno, gabbionate, muratura o calcestruzzo armato, e vengono di norma messe in opera in serie lungo gli alvei, allo scopo di creare terrazzamenti per regolare la velocità della corrente e/o aumentare la resistenza all'erosione del fondo. Laddove risulti opportuno ottenere il duplice scopo di trattenere il materiale solido e consolidare le sponde dell'alveo, è consigliabile realizzare delle "briglie di consolidamento", la cui sporgenza dal fondo (di altezza massima dell'ordine di 4-5 m) consentirà l'accumulo del detrito solido a monte, innalzando per un breve tratto le quote di fondo, riducendo in tal modo l'altezza della sponda e stabilizzando le pendici laterali.

Le briglie di consolidamento vanno opportunamente ammorsate sul fondo (per esempio mediante un dente a monte della fondazione) e lungo le sponde laterali. Il coronamento è provvisto di una depressione (gaveta) in genere di forma trapezia e di dimensioni tali da convogliare la portata liquida di progetto prevista in arrivo dal bacino di alimentazione senza superare la sommità delle ali laterali. A valle, vanno munite di dispositivi di dissipazione dell'energia posseduta dalle correnti stramazzanti, dimensionati in modo tale da resistere a fenomeni erosivi localizzati (scalzamento), e di sifonamento). Le briglie più alte (dai 3.50 m in su) vanno dotate di muri d'ala longitudinali, dimensionati in modo da impedire che le correnti liquide che dovessero tracimare le ali latitanti alla gaveta possano erodere le sponde laterali, compromettendone la stabilità.

Aspetti progettuali e costruttivi

Nei casi in esame, la soluzione costruttiva consigliata è una struttura in calcestruzzo armato, con paramento di valle rivestito con pietre di tufo opportunamente ammorsate nella parete. La gaveta dovrà essere opportunamente protetta rispetto all'azione erosiva delle correnti liquide e detritiche, e la sua struttura dovrà essere calcolata in modo da poter resistere anche all'urto di blocchi tufacei di dimensioni almeno metriche. A valle, la briglia dovrà essere munita di un idoneo bacino di dissipazione dell'energia cinetica posseduta dalle correnti stramazzanti, dimensionato in modo tale da dover resistere al deflusso di portate centennali. Per le briglie di maggiore altezza complessiva (superiore a 4.0 m) si dovrà prevedere la realizzazione, alcuni metri a valle del paramento, di un'ulteriore piccola briglia (una cosiddetta "contro-briglia"), opportunamente sfinestrata, atta a facilitare la formazione di un risalto idraulico durante le piene. Le verifiche agli stati limite di

carattere geotecnico comprendono quella al ribaltamento, allo scorrimento lungo il piano di posa, al carico limite del terreno di fondazione, nonché quella al sifonamento.

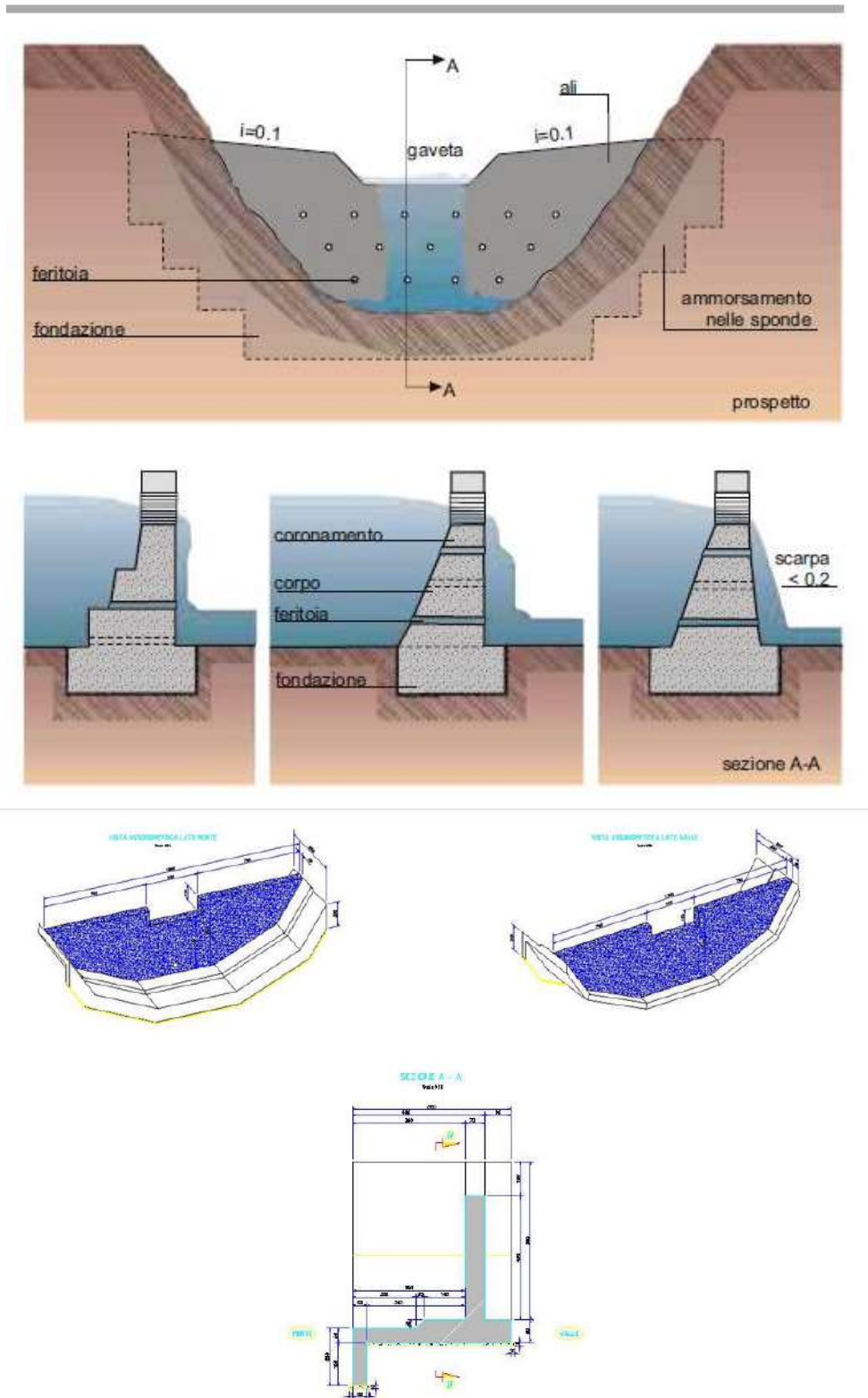


Figura 7.6 - Schema funzionale ed esempio di realizzazione di briglia di consolidamento.

7.5.2 Interventi attivi – Soglie di fondo

Descrizione

Lungo i tratti delle aste non facilmente accessibili, laddove non è possibile praticare l'ordinaria manutenzione e procedere alla rimozione dei detriti a tergo di eventuali briglie di ritenuta (o strutture alternative che si comporterebbero come tali), si consiglia di ricorrere a *soglie di fondo di calcestruzzo armato* al fine di stabilizzare il fondo dell'alveo e contenerne l'erosione (soprattutto al transito di *debris flows*).

Le soglie di fondo potranno essere del tipo "a raso", cioè completamente interrata nel fondo-alveo oppure "emergenti", ma in ogni caso dovranno avere altezza contenuta, sia per la parte fuori terra sia per quella interrata. Ciò al fine di evitare:

- a) un eventuale deposito di detrito a tergo di esse, se non in misura del tutto modesta (un dislivello fra monte e valle porrebbe fra l'altro problemi di sifonamento);
- b) uno scavo eccessivo necessario per fondare la soglia in profondità, operazione che potrebbe instabilizzare le sponde dell'alveo.

Il fondo-alveo a valle della soglia di fondo può essere interessato da fenomeni di erosione localizzata e addirittura dalla formazione di una fossa che potrebbe, in linea di principio, determinare lo *scalzamento* dell'opera. La soglia di fondo può assolvere anche a una funzione di mitigazione dei fenomeni di *instabilità delle sponde dell'alveo* con una funzione simile alle briglie di consolidamento.

Si deve inoltre tener conto che i problemi elencati, in genere già presenti in condizioni ordinarie, vengono fortemente amplificati dal transito di *debris flows*: infatti in questo caso l'opera, il fondo e le sponde sarebbero soggette a forze di trascinamento la cui azione instabilizzante può essere rilevante soprattutto quando la corrente ingloba e trasporta elementi solidi.

Aspetti progettuali e costruttivi

La soglia di fondo potrà essere costituita da una sezione di calcestruzzo armato essenzialmente rettangolare, che nella fattispecie si consiglia di fondare su micropali onde evitare fenomeni di collasso conseguenti allo scalzamento. La modesta differenza di quota di fondo-alveo fra monte e valle dovrebbe non esporre l'opera a problemi di sifonamento, ciò nonostante per ogni singolo caso il progettista verificherà sulla base della topografia dei luoghi gli eventuali stati limite di natura idraulica.

Laddove le forze di trascinamento esercitate da un *debris flow* possono ribaltare l'opera o provocare altre forme di collasso potrà essere utile vincolare la stessa al substrato mediante

ancoraggi. Per contribuire alla stabilizzazione delle sponde, la soglia potrà essere conformata in modo da risultare ancorata all'interno delle sponde del vallone, risalendo leggermente lungo di esse.

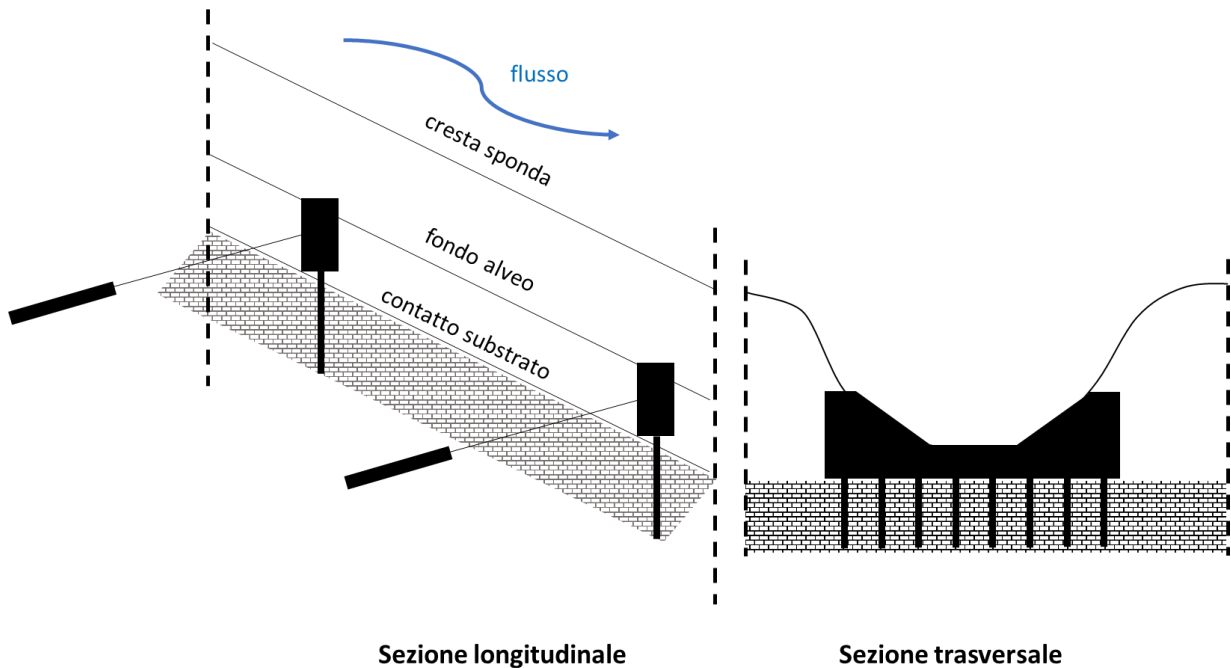


Figura 7.7 - Schema di realizzazione di soglia di fondo provvista di ancoraggi e fondata su micropali.

7.5.3 Interventi passivi – Rostri frangicolata

Descrizione

Prima dei tratti pedemontani dove sarà possibile realizzare briglie di ritenuta (o strutture alternative che si comporterebbero come tali) o laddove la sezione dell'alveo si amplia per conformazione naturale, si consiglia di realizzare opere strutturali che favoriscano lo "spagliamento" del flusso e l'abbassamento del tirante di un eventuale *debris flow*; a tal fine possono essere utilizzati *rostri frangicolata di calcestruzzo armato*.

I rostri frangicolata sono strutture massicce di calcestruzzo a sezione triangolare o trapezia che si elevano dal fondo-alveo, a partire da una fondazione interrata, che hanno la funzione di suddividere/deviare/rallentare la corrente producendo una perdita di energia della stessa. A seconda delle esigenze i rostri possono essere disposti lungo l'asse longitudinale del vallone o preferibilmente in posizione sfalsata in modo da creare un ostacolo efficiente al flusso. Tali strutture in genere non consentono:

- a) un eventuale deposito di detrito a monte di esse, se non in misura del tutto modesta;
- b) una significativa erosione a valle.

Si sconsiglia di collocare queste strutture nei tratti in cui la sezione dell'alveo è modesta o in prossimità delle sponde, perché la corrente potrebbe essere deviata contro le sponde stesse, provocando erosione o fenomeni di instabilità.

Aspetti progettuali e costruttivi

I rostri sono strutture di calcestruzzo armato che nella fattispecie si consiglia di fondare su micropali onde evitare fenomeni di collasso conseguenti all'azione dinamica della corrente, la cui spinta sull'opera può arrivare a 10 volte quella idrostatica.

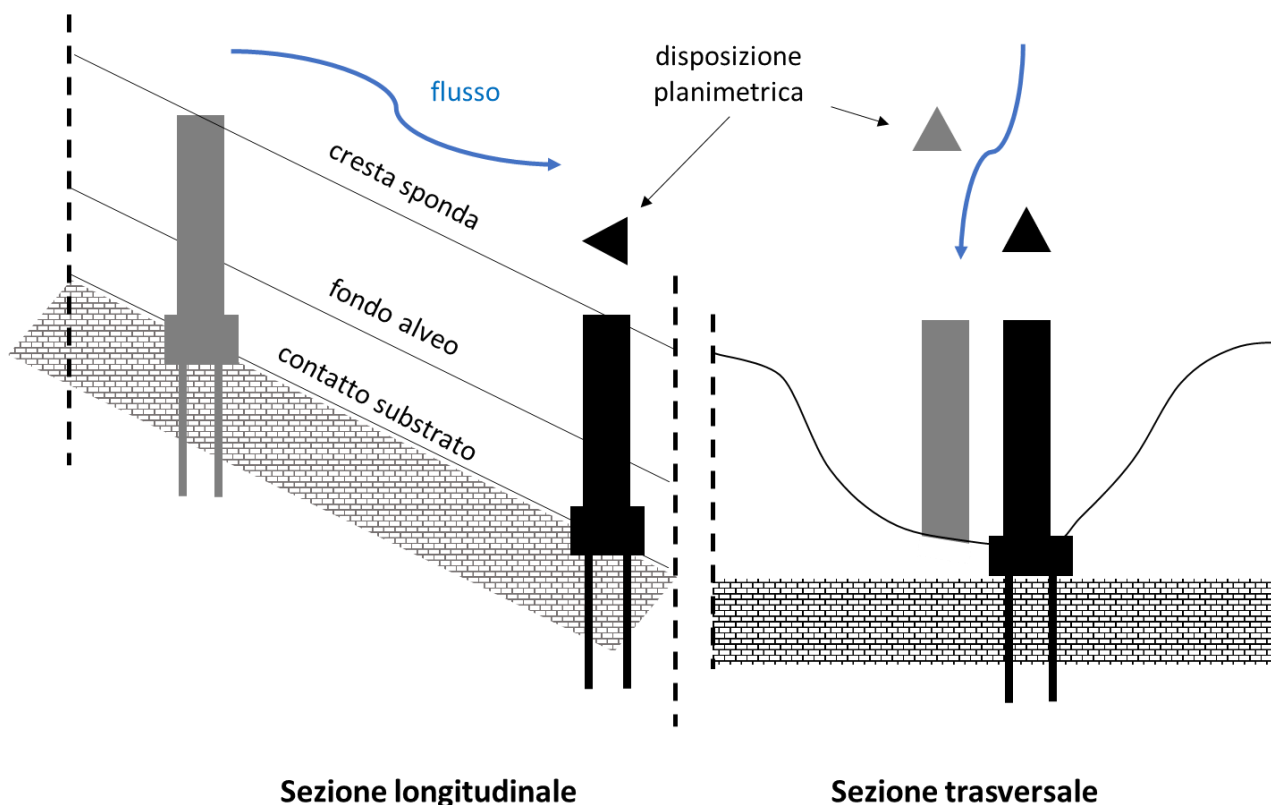


Figura 7.10 - Schema di realizzazione di rostri frangicolata fondati su micropali.

7.5.4 Interventi passivi – Briglie selettive

Descrizione

Lungo i tratti delle aste accessibili, laddove è possibile praticare l'ordinaria manutenzione e procedere alla rimozione dei detriti a tergo delle opere trasversali, si consiglia di ricorrere a *briglie selettive di calcestruzzo armato* al fine di stabilizzare il fondo dell'alveo, contenerne l'erosione

(soprattutto al transito di *debris flows*) e intercettare la parte più grossolana del corpo di frana (da sabbie grosse a blocchi).

Le aperture nel corpo delle briglie selettive possono essere di varia forma e dimensione. In ragione di queste caratteristiche, le briglie selettive riescono a modulare la parte solida trattenuta. Se la briglia non viene svuotata, dopo una breve fase iniziale si comporterà come una briglia chiusa. Il suo corretto funzionamento può essere ripristinato con la rimozione meccanica del materiale intercettato.

Le briglie selettive più diffuse sono le seguenti:

- *briglia a fessura*, che presenta nella sua parte centrale un'apertura di forma rettangolare o trapezoidale. Attraverso la formazione di un profilo di rigurgito a monte dell'opera, essa obbliga la corrente ad una riduzione di velocità che favorisce il deposito delle particelle grossolane e dei blocchi;
- *briglia a finestra*, che presenta una o più aperture di forma rettangolare che non interessano tutta l'altezza della briglia. La finestra è riconducibile ad una luce a battente che provoca un profilo di rigurgito a monte;
- *briglia a pettine*, che presenta una serie di elementi verticali di acciaio o calcestruzzo senza nessun elemento di chiusura superiore. Questa briglia è utilizzata essenzialmente per l'arresto del materiale trasportato dalla corrente. Intercetta una rilevante frazione di materiale solido per cui al passaggio del *debris flow* tende ad otturarsi completamente e a funzionare, dopo una fase iniziale, come briglia di ritenuta;
- *briglia a reticolo*, costituita da elementi di acciaio orizzontali e verticali che formano una maglia reticolare. Intercetta una quantità di materiale minore rispetto alla briglia a pettine.

Il fondo-alveo a valle della briglia può essere interessato da fenomeni di erosione localizzata e addirittura dalla formazione di una fossa che potrebbe, in linea di principio, determinare lo *scalzamento* dell'opera. La briglia selettiva può assolvere anche a una funzione di mitigazione dei fenomeni di instabilità delle sponde dell'alveo con una funzione simile alle briglie di consolidamento.

Aspetti progettuali e costruttivi

La briglia selettiva potrà essere costituita da una sezione di calcestruzzo armato di varia forma e dimensioni, che nella fattispecie si consiglia di fondare su micropali onde evitare fenomeni di collasso conseguenti allo scalzamento. La differenza di quota di fondo-alveo fra monte e valle può esporre l'opera a problemi di sifonamento; per ogni singolo caso il progettista verificherà sulla base della topografia dei luoghi gli eventuali stati limite di natura idraulica.

Laddove le forze di impatto esercitate da un *debris flow* possono ribaltare l'opera o provocare altre forme di collasso potrà essere utile vincolare la stessa al substrato mediante ancoraggi. Per contribuire alla stabilizzazione delle sponde, la briglia potrà essere conformata in modo da risultare ancorata all'interno delle sponde del vallone, risalendo leggermente lungo di esse.

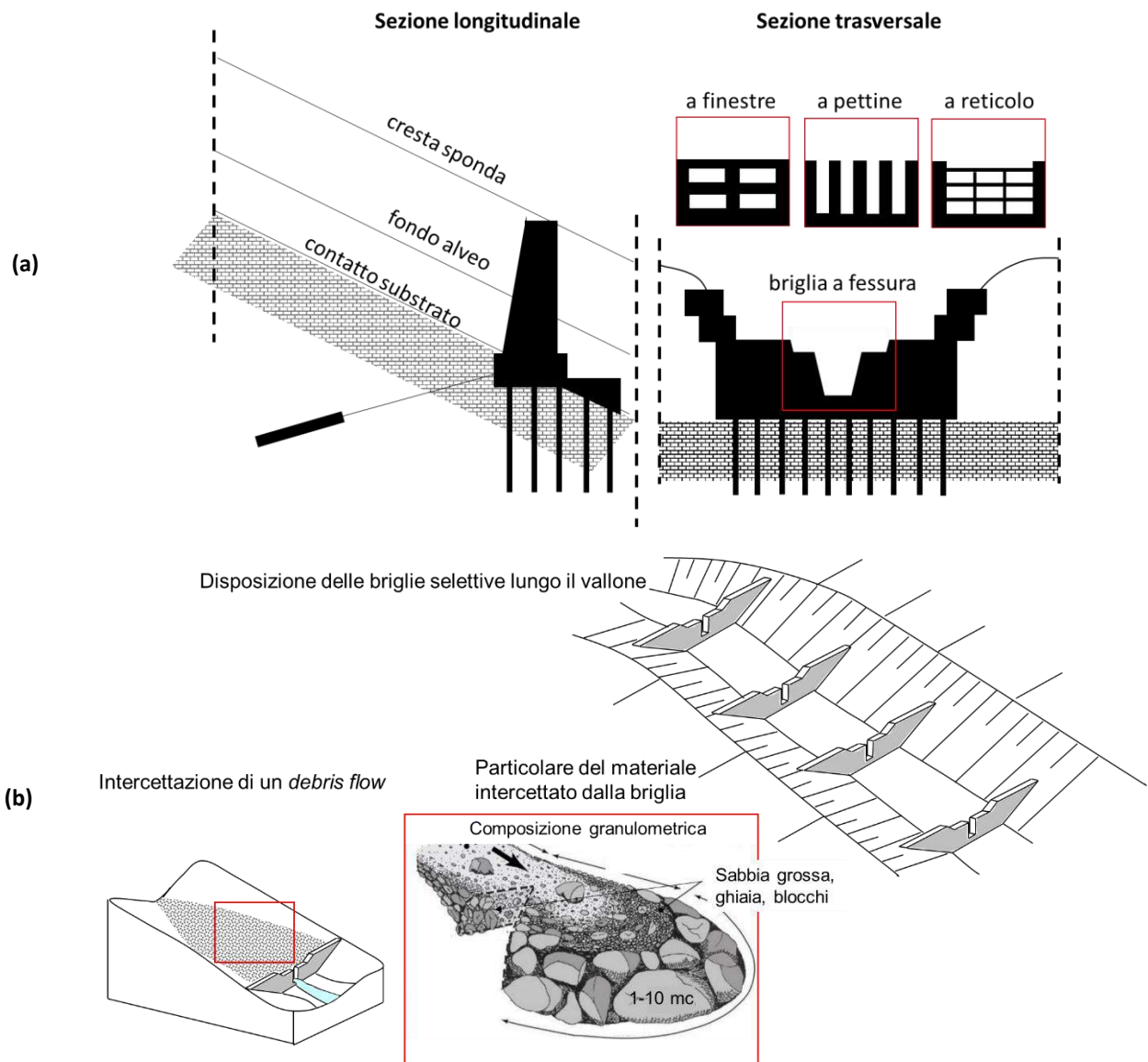


Figura 7.11 - Schema di realizzazione di briglia selettiva provvista di ancoraggi e fondata su micropali (a); esempio di disposizione in serie in alveo e meccanismo di funzionamento (b), da Bardou et al. (2003).

7.5.5 Interventi passivi – Vasche di trattenuta “a compartimenti”

Descrizione

Nel caso di alvei a notevole pendenza, ma che comunque presentino sezioni trasversali sufficientemente ampie da poter ragionevolmente pensare di immagazzinare, con adeguate strutture murarie di altezza non eccessiva (sui 7-8 m), ingenti volumi di acqua e/o di detriti, appare possibile ricorrere a *vasche di trattenuta/laminazione compartimentate*. Queste sono realizzabili con l’inserimento, nella direzione trasversale al flusso, di briglie disposte su più file parallele, a quota diversa, in modo da formare una vera e propria struttura gradonata, in grado di assorbire gli eventuali urti delle masse in movimento in arrivo dal bacino, e di evitare che, dopo l’arresto avvenuto a monte della prima briglia, il flusso detritico possa ripartire verso valle.

Aspetti progettuali e costruttivi

Ciascuno degli elementi murari che, unitamente alle sponde o agli argini laterali, vanno a costituire tale tipo di vasca, va realizzato in calcestruzzo armato e, possibilmente, fondato su pali di adeguata dimensione ed armatura spinti a sufficiente profondità, in modo da realizzare delle vere e proprie mensole sporgenti dal fondo e ammorsate nelle sponde laterali solo per evitare un eventuale aggiramento, per sifonamento, della medesima struttura.

Tutte le briglie dovranno essere dotate di adeguato stramazzo, possibilmente di forma trapezoidale, dimensionato in modo da smaltire, al di sopra della soglia, la portata detritica di progetto in arrivo da monte, al netto dei detriti già trattenuti nei vari comparti, senza che la quota a monte della soglia possa superare l’altezza totale della briglia stessa (a sua volta inferiore, di almeno 0.80 m, alla sponda o agli argini latitanti).

La prima delle briglie va calcolata tenendo presenti le azioni statiche e dinamiche esercitate dalla corrente detritica che potrebbe affluire dal bacino a monte (da valutare al netto delle volumetrie eventualmente già intercettate da altri interventi eseguiti lungo la stessa cava o le cave in essa confluenti). La struttura va munita, immediatamente a valle, di una soglia atta a resistere alle azioni erosive che potrebbero derivare dalla caduta dei flussi che sormontano la briglia.

Le briglie poste a valle della prima vanno invece calcolate tenendo conto, contemporaneamente, della spinta statica esplicata sia dall’acqua che dal detrito, senza tener conto della possibilità di formazione di un cuneo di spinta e, quindi, assumendo pari a 1 il valore del coefficiente di spinta attiva. Anche in questo caso la differenza di quota di fondo-alveo fra monte e valle può esporre le singole opere di contenimento a problemi di sifonamento; per ogni singolo caso il progettista verificherà sulla base della topografia dei luoghi gli eventuali stati limite di natura idraulica.

Laddove le forze di impatto esercitate da un *debris flow* possono ribaltare l'opera o provocare altre forme di collasso potrà essere utile vincolare la stessa al substrato mediante ancoraggi. Per contribuire alla stabilizzazione delle sponde, la briglia potrà essere conformata in modo da risultare ancorata all'interno delle sponde del vallone, risalendo leggermente lungo di esse.

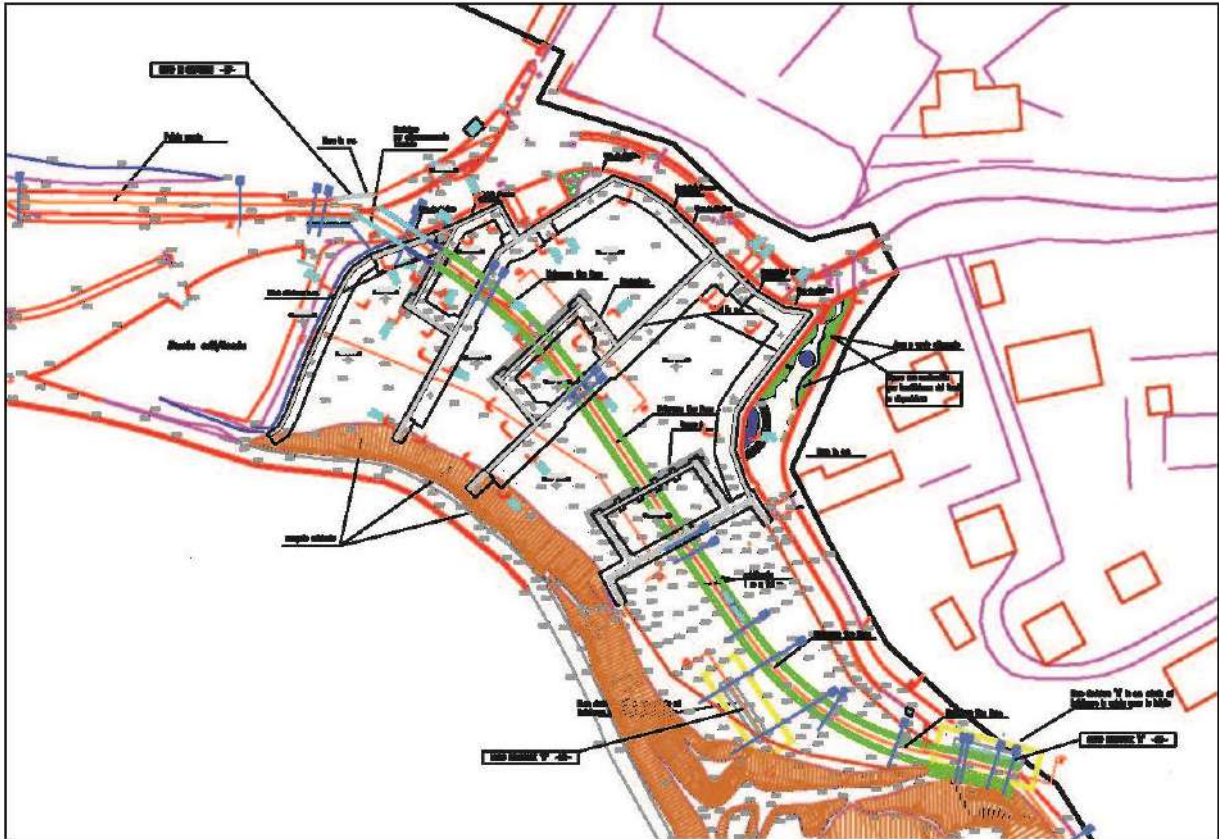


Figura 7.12a - Schema di realizzazione di una vasca di trattenuta del tipo "a compartimenti", realizzata mediante l'inserimento di briglie pseudo-parallele, fondate a diverse quote e chiusa ai lati da una sponda/argine di altezza superiore, in ogni punto, a quella delle briglie.

7.5.6 Interventi passivi – Vasche di espansione controllata, di dissipazione e di trattenuta

Descrizione

In alcuni casi, la morfologia del territorio presenta delle varici sufficientemente larghe e pianeggianti da dare origine alla possibilità di realizzare delle vasche che, nel contempo, possano essere di espansione controllata dei flussi liquidi e/o detritici, di dissipazione dell'energia posseduta da tali flussi e di trattenuta (laminazione nel caso di sola acqua, vera e propria trattenuta nel caso di detriti).

Tali vasche tendono ad assecondare la morfologie locale, allargandosi via via verso valle, in modo da indurre le portate detritiche in arrivo da monte a suddividersi su un fronte più ampio, riducendone i tiranti e le velocità, in modo da poter impattare meno violentemente sulle opere di ritenuta, consistenti in muri o arginature, eventualmente munite al piede di muretti in c.a. di idonee dimensioni ed armatura, a loro volta ben fondati nei terreni sottostanti, e protetti a monte per una larghezza sufficiente ad evitare che l'innescò di fenomeni erosivi localizzati possa portare a sottopassare l'opera di sbarramento o farla crollare.

Lo spagliamento delle portate andrà conseguito possibilmente anche sagomando le sezioni trasversali della vasca con una configurazione "a schiena d'asino", con una parte centrale più rialzata rispetto a quelle laterali, opportunamente sistemata con gabbioni laterali longitudinali e, al fondo, con materassi tipo Reno, in modo da dare origine a una canalizzazione artificiale, nell'ambito della quale far defluire le portate liquide che si intendono lasciare liberamente transitare a valle della vasca senza che quest'ultima dia luogo ad alcun effetto di laminazione.

Le portate liquide di valore superiore a quello per cui è garantito il deflusso all'interno dei gabbioni, così come i flussi detritici, tenderanno a fuoriuscire da tale canalizzazione, per cui, anche in considerazione della specifica configurazione plano-altimetrica assegnatele, la vasca andrà ad esercitare un effetto di laminazione sulle portate liquide fungendo, invece, da vasca di trattenuta rispetto ai flussi detritici. Per dissipare l'energia dei flussi detritici o, comunque, iper-concentrati in arrivo dalle zone a monte, sarà inoltre opportuno che, all'interno della vasca, siano realizzati dei veri e propri "rostri di dissipazione", il cui numero, posizionamento, forma ed altezza andranno valutati mediante specifiche simulazioni idrauliche da condurre con modelli bi-dimensionali.

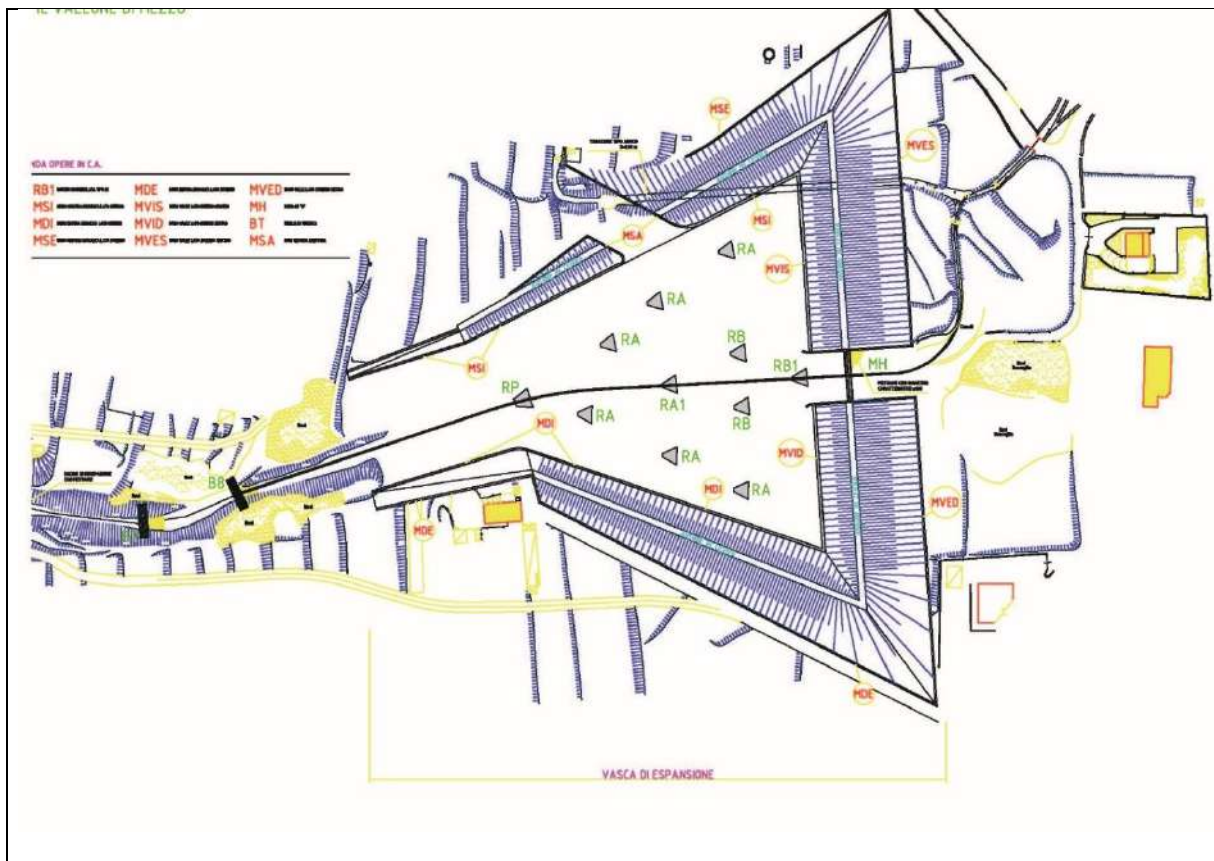


Figura 7.13a – Schema planimetrico di una vasca di espansione controllata, di dissipazione dell'energia e di laminazione/trattenuta (di laminazione delle piene/ di trattenuta dei detriti)

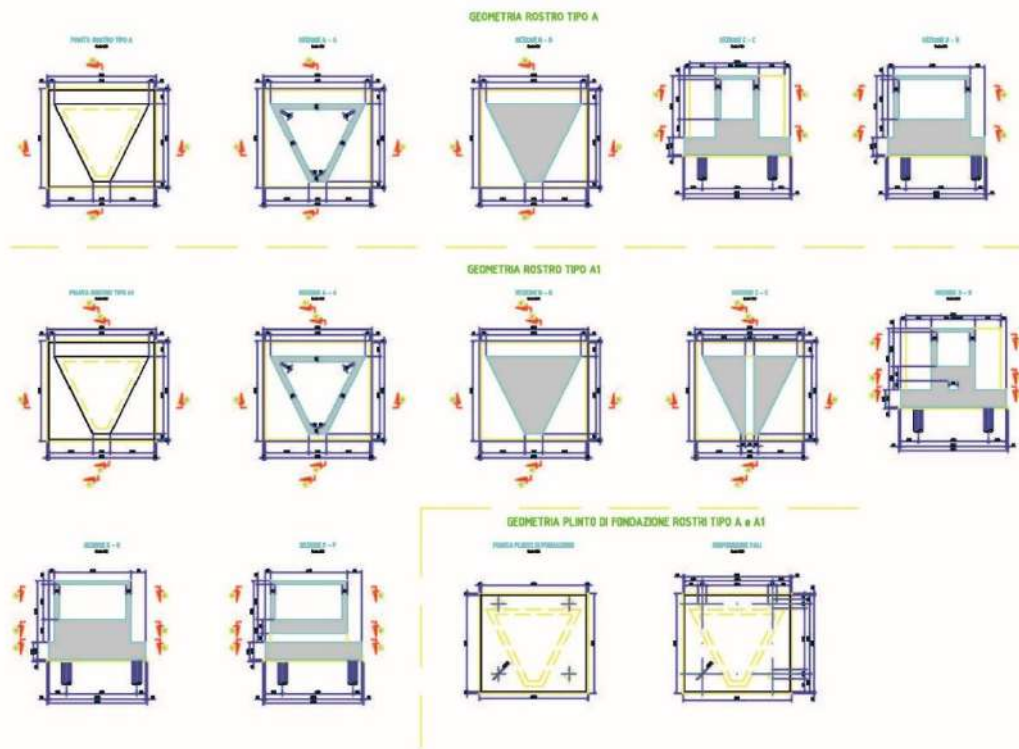


Figura 7.13b – Rostri di dissipazione da realizzare all'interno della vasca

Aspetti progettuali e costruttivi

I rostri di dissipazione andranno fondati su pali, dimensionati e verificati tenendo in debito conto le azioni statiche e dinamiche trasmesse loro dai flussi detritici in arrivo, e al piede dovranno essere opportunamente difesi da fenomeni erosivi che non solo potrebbero comportarne il dissesto per cedimento del piano di posa ma potrebbero anche indurre fenomeni di *by-pass*, parziali o totali, al di sotto del rostro.

L'argine perimetrale andrà compattato per strati successivi di spessore non superiore a 0.25 m, di volta in volta soggetti a bagnatura e cementati, l'uno all'altro, mediante appositi additivi. Per un migliore inserimento paesaggistico ed ambientale, l'argine andrà rinverdito con essenze tipiche dei luoghi, possibilmente caratterizzate da scarse richieste di acqua. In ogni caso, affinché tale rinverdimento venga garantito, si dovrà prevedere la realizzazione di un apposito impianto di irrigazione, possibilmente con acqua da conservare direttamente sul posto durante le piogge.

7.6 INTERVENTI PER INCREMENTARE L'OFFICIOSITÀ DEI TRATTI TOMBATI

Per incrementare l'officiosità dei tratti tombati, sarà necessario, innanzi tutto, che si proceda all'acquisizione di un accurato rilievo topografico plano-altimetrico di tali tratti, in modo che le successive simulazioni, condotte con riferimento a condizioni di moto vario, possano bene evidenziare quali sono i tratti che, a causa della geometria della sezione, oppure del posizionamento plano-altimetrico rispetto ai tratti di monte e di valle, possono dare origine all'entrata in pressione degli spechi. La modifica di tali tratti comporterà un miglioramento generalizzato delle condizioni di deflusso e, conseguentemente, potrà evitare che l'andata in pressione degli spechi, provocando risalite attraverso i pozzetti, possa dare origine a fenomeni di allagamento delle sedi stradali e a fenomeni di infiltrazione nei terreni circostanti, con possibili fenomeni di sifonamento e apertura di voragini sia nella sede stradale che nei fabbricati latitanti.

L'officiosità andrà migliorata anche provvedendo alla realizzazione di specifici pozzetti di ispezione e di manutenzione, posti alla distanza massima di 50 m, che oggi appaiono inesistenti o quanto meno non visibili dall'esterno, in quanto, nel corso degli anni, i relativi chiusini di accesso sono stati ricoperti dall'asfalto.

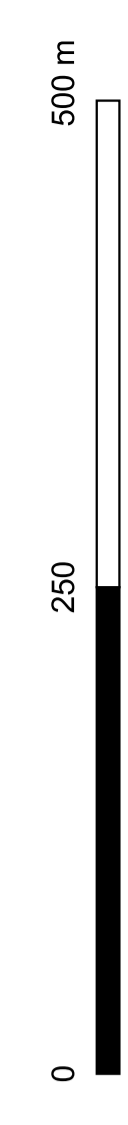
Le operazioni di manutenzione ordinaria, che comportano la discesa nei pozzetti di ispezione e la percorrenza di tratti compresi tra due pozzetti di ispezione, vanno eseguite almeno una volta ogni due anni. Nel caso di flussi iper-concentrati in arrivo dai bacini a monte, le operazioni di manutenzione straordinaria vanno eseguite nei giorni immediatamente successivi all'evento, in modo da ripristinare nel minor tempo possibile l'officiosità dei tratti tombati.

Riferimenti bibliografici

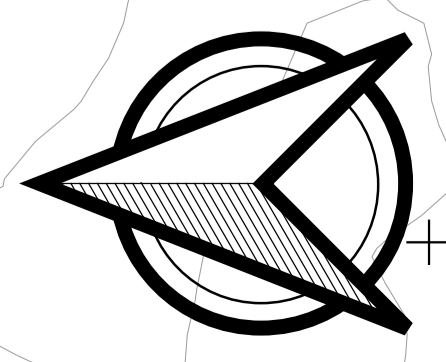
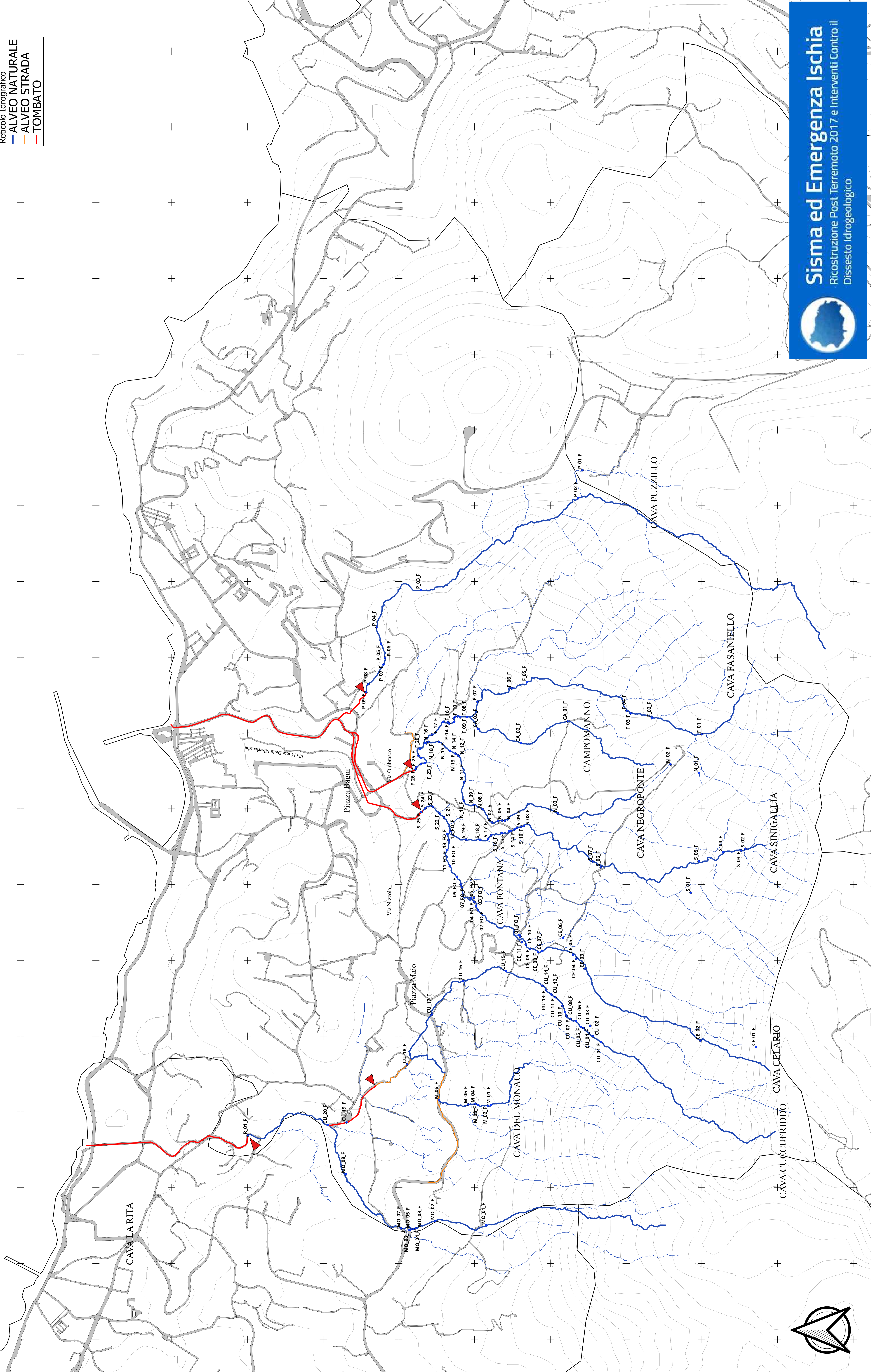
AGI-ISPRA (2022). *Progettazione degli interventi di mitigazione del rischio da frana – Linee Guida*. Associazione Geotecnica Italiana, Roma. ISBN 978-88-97517-13-9

Bardou E., Ancey C., Bonnard C., Vulliet L. (2003). *Classification of debris-flow deposits for hazard assessment in alpine areas*. Proceedings of the 3rd International Conference on debris flow hazards mitigation, pp. 799-808.

Mapa idrografica del territorio del comune di Casamicciola Terme in relazione agli eventi di frana ed alluvione del 26 novembre 2022 – Localizzazione Punti ritenuti di Interesse



LEGENDA
Reticolo Idrografico
ALVEO NATURALE
ALVEO STRADA
TOMBATO



Sisma ed Emergenza Ischia
Ricostruzione Post-Terremoto 2017 e Interventi Contro il
Dissesto Idrogeologico

8. PIANO DEGLI INTERVENTI

8.1 CONSIDERAZIONI PRELIMINARI

Gli interventi proposti sono riconducibili a due gruppi:

- *Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni*
- *Interventi di sistemazione puntuale o locale*

I primi comprendono le opere necessarie per contenere i flussi detritici provenienti dai versanti dell'Epomeo e che hanno prodotto più volte nel corso degli anni, e da ultimo il 26 novembre 2022, la dolorosa perdita di vite umane e danni notevoli ai beni presenti sul loro percorso. Si tratta, in altri termini, di opere che tendono a ridurre in modo significativo la probabilità che possano verificarsi nel futuro eventi come quelli connessi alla instabilità del versante, che, lo scorso 26 novembre, hanno colpito della zona del Celario.

In tale categoria ricadono anche le opere prevalentemente destinate alla regimazione delle acque di scorrimento superficiale. Ciò, per l'inadeguatezza del reticolo idrografico, fortemente condizionato da interventi antropici, e, in particolare, con il diffuso ricorso alle tombature. Conseguentemente, le acque possono divagare lungo il reticolo stradale con evidenti pericoli per l'incolumità delle persone che dovessero trovarsi sul loro percorso disordinato e producono allagamenti nelle aree più densamente abitate.

Gli interventi di questo primo gruppo sono oggetto dei successivi paragrafi 8.2-8.7, dove sono sinteticamente ricordate le criticità emerse in questa prima fase di analisi e puntualmente riportate nei precedenti paragrafi, in particolare nel capitolo 5; sono anche indicate le caratteristiche principali che si ritiene debbano contraddistinguere gli interventi proposti. Questi sono riconducibili alle tipologie descritte nel capitolo 7, al quale si rimanda per i dettagli. È da osservare che le indicazioni riportate in questo capitolo sono da intendersi come preliminari e, quindi, oggetto di possibili future modifiche e integrazioni. Esse, comunque, sono da ritenersi sufficientemente robuste, perché basate su un'intensa attività di studio e di analisi ampiamente descritte nei precedenti capitoli.

Nel secondo gruppo di interventi sono compresi quelli di limitata rilevanza, anche economica, che riguardano sistemazioni locali e ripristino di strutture danneggiate dagli eventi dello scorso novembre. Per tali interventi questa stesura preliminare del *Piano* si limita a riportare, al paragrafo 8.8, un elenco, così come dedotto dalle richieste pervenute da diversi Enti pubblici, rimandando a successive verifiche la valutazione della loro utilità e della loro efficacia. Tale valutazione non è stata possibile, allo stato attuale delle cose, per la mancanza di adeguate informazioni.

8.2 CAVA PUZZILLO - Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni

- Codice P01. *Ripristino della rete di drenaggio e realizzazione di una vasca di accumulo dei sedimenti nella zona di monte della cava Puzzillo*

Il progetto riguarda la sistemazione idraulica di una zona fortemente antropizzata e interessata da un accumulo di terreno di riporto che, peraltro, potrebbe essere soggetto a instabilità. Oltre alle opere di stabilizzazione del versante e di riconfigurazione del reticolo idraulico oggi alterato rispetto alla configurazione naturale, il progetto prevede anche la realizzazione di una nuova vasca a dispersione in luogo di quella preesistente, caratterizzata da dimensioni maggiori, in grado di limitare il transito, verso valle, del copioso materiale proveniente dai versanti.

L'effetto atteso è la riduzione del volume di sedimenti che affluiscono verso valle e una più efficace regimazione delle acque (vedi foto P01F e P02F, capitolo 5).

- Codice P02. *Sistemazione dell'asta fluviale della cava Puzzillo*

In questa zona sono presenti opere di canalizzazione della cava attraverso realizzata attraverso muretti laterali in gabbioni e una pavimentazione in materassi tipo Reno. La rottura, in più punti, dei gabbioni e del materasso, dovute all'azione abrasiva del trasporto solido, rende facilmente disponibile al trasporto sia il materiale contenuto nelle gabbionate sia quello che, nel frattempo, si è depositato sul fondo.

Sono quantità rilevanti che, unite al materiale proveniente dai numerosi dissesti locali che interessano i versanti acclivi, costituiscono condizioni di particolare pericolosità. Per contenere il trasporto verso valle del materiale già presente in alveo si può realizzare un sistema di soglie, appena sporgenti dall'alveo, poste a distanza tale da produrre effetti di stabilizzazione. L'intervento può essere integrato con locali sistemazioni dei versanti particolarmente erosi utilizzando reti metalliche rinverdite. La selezione dei tratti di versante in frana da proteggere dipende dalla loro pericolosità in termini di sicurezza per eventuali agglomerati urbani e infrastrutture presenti in sommità. Deve essere anche previsto un significativo alleggerimento della biomassa presente nelle zone da proteggere. La localizzazione del tratto interessato è riportata nel capitolo 5 con le foto da P04F fino a P08F. Questo tratto è interessato anche da un altro intervento. È necessario, pertanto, rendere omogenea la strategia di intervento.

- Codice P03. *Sistemazione dell'imbocco del tratto tombato sulla cava Puzzillo*

Si tratta di un intervento di grande rilevanza, che tende ad incrementare l'efficienza del tratto tombato attraverso una risagomatura dell'imbocco, purché compatibile con la capacità di convogliamento del canale, e, soprattutto, nella realizzazione, in parte in scavo, di una vasca subito

a monte. Tale vasca è destinata a contenere, sia pure parzialmente, il materiale solido trasportato, in modo da ridurre il rischio di ostruzione dell'imbocco che potrebbe produrre effetti anche disastrosi nell'area fortemente antropizzata posta subito a valle.

La vasca dovrà avere, sul lato di valle, un sistema di griglie a pettine per fermare il materiale flottante o i sedimenti trasportati di maggiore dimensione, con una distanza tra i denti verticali tale da ridurre la probabilità di occlusione. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi a tali denti siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. L'efficacia della vasca dipende dalla tempestività degli interventi di pulizia da effettuare periodicamente e, comunque, dopo ogni evento che produca un significativo trasporto di materiale. Pertanto, l'opera deve essere facilmente accessibile ai mezzi destinati alla sua manutenzione. Localizzazione foto P09F, capitolo 5.

8.3 CAVA FASANIELLO O ERVANIELLO - Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni

8.3.1 Tratto 1. Fasaniello fino al tratto tombato

- Codice F01. *Pulizia dell'alveo e ripristino opere preesistenti.*

L'intervento riguarda la pulizia dell'alveo attraverso la rimozione del materiale accumulatosi, almeno in parte, durante l'evento di novembre e il ripristino e l'eventuale consolidamento di alcune briglie preesistenti, che risultano danneggiate. Nel caso in cui le briglie non siano ripristinabili, si procederà alla realizzazione di nuove briglie accostate al paramento di valle di quelle preesistenti. Le briglie dovranno essere di tipo rigido e, ove ritenuto necessario, dotate di adeguati contrafforti. Localizzazione foto F01F, capitolo 5.

- Codice F02. *Consolidamento versante in località Cognolo*

Previa verifica dei profili di legittimità delle abitazioni soprastanti il pendio in frana, si prevede di attuare interventi di miglioramento della stabilità dei versanti. La fattibilità degli interventi e la tecnologia da utilizzare saranno valutate in base all'acquisizione di dati geotecnici tratti da indagini di campo e di laboratorio da condurre prima della fase progettuale. A seconda dei dati raccolti, gli indirizzi progettuali potranno prevedere sia opere di rinverdimento sia la realizzazione di muri tirantati. Allo stato delle conoscenze, non può essere esclusa l'ipotesi che l'intervento risulti non fattibile, per motivi tecnici o economici, e che quindi si debba procedere alla delocalizzazione delle abitazioni sovrastanti. In ogni caso, sarà comunque da prevedere la difesa del piede del pendio

dall'azione erosiva delle acque, attraverso difese di sponda rigide o, preferibilmente, flessibili. Localizzazione foto F02F, capitolo 5.

- Codice F03. *Terrazzamento della cava Fasaniello e consolidamento dei pendii a valle del salto morfologico*

Lungo il percorso della cava Fasaniello è presente un salto morfologico con un dislivello rilevante, seguito da un tratto fortemente inciso tra pareti molto acclivi e interessate da fenomeni di erosione o di franapiù o meno superficiali e conseguente ingente presenza di sedimenti in alveo. La realizzazione di un terrazzamento a gradoni idoneo a raccordare il salto morfologico con il fondo dell'alveo attuale può dare un significativo contributo alla parziale stabilizzazione dei versanti, dando origine a un consolidamento al piede dei versanti direttamente sovraincombenti sui gradoni stessi. Le opere di contenimento dei singoli terrazzi dovranno essere di tipo rigido, provviste di sistemi di drenaggio, ben ammorsate sul fondo e sui versanti laterali e, ove necessario, dotate di adeguati contrafforti. Non è, comunque, da escludere il ricorso, ove sussistano le condizioni, alle terre armate. A valle del terrazzamento dovrà essere realizzata un'opera di dissipazione dell'energia, in modo da evitare fenomeni di erosione più a valle. Il riempimento dei terrazzi non dovrà avvenire alla rinfusa ma dovrà essere realizzato attraverso un'accurata azione di costipamento, con una messa in opera selettiva dei materiali di varia pezzatura, capace anche di assicurare il drenaggio verso valle delle acque di infiltrazione. Sulla parte più alta dei versanti, non interessata direttamente dagli effetti del terrazzamento, sono da prevedere opere di rinverdimento e/o la realizzazione di opere di ingegneria naturalistica. La fattibilità dell'intervento è fortemente condizionata dalla disponibilità, nelle vicinanze, di materiale idoneo per il riempimento dei diversi terrazzi, e dalla possibilità di effettuarne agevolmente il trasporto. Localizzazione foto F05F-F06F, capitolo 5.

- Codice F04. *Area di accumulo alla confluenza tra le cave Fasaniello e Campomanno.*

A valle della confluenza tra le due *cave* c'è un'area abbastanza estesa nella quale potrebbe essere realizzata una vasca di accumulo del materiale, capace di limitare gli effetti verso valle del trasporto solido. A tal fine, si potranno utilizzare come sezioni di chiusura quelle ristrette presenti lungo l'alveo. Localizzazione foto F08F, capitolo 5.

- Codice F05. *Pulizia dell'alveo e dei versanti a valle della confluenza tra Fasaniello e Campomanno.*

In un tratto ristretto dell'alveo sono presenti accumuli litoidi e vegetali sul fondo alveo e pareti non molto alte che presentano evidenti segni di instabilità che potrebbe, nell'immediato futuro, ulteriormente incrementare i depositi in alveo. In questo caso, l'intervento prevede il disgaggio del materiale sui versanti in precarie condizioni di equilibrio e la successiva rimozione del materiale complessivamente presente in alveo. In particolare, per quanto riguarda la rimozione del materiale vegetale, si dovrà valutare la modalità più idonea, considerando diverse opzioni: combustione controllata di una parte della biomassa, utilizzazione ai sensi dell'OCD 6/2023, trasporto in luoghi di accumulo. Localizzazione foto F14F, capitolo 5.

- Codice F06. *Pulizia, ripristino e integrazione delle briglie presenti a valle della confluenza tra le cave Fasaniello e Campomanno.*

In alveo sono presenti due briglie a vista e, forse, anche altre che potrebbero essere attualmente ricoperte dai sedimenti. A causa del loro riempimento la funzione di intercettazione del trasporto solido si è praticamente esaurita, per cui hanno perso la loro funzionalità. L'intervento previsto dovrebbe riguardare la pulizia dell'alveo rimuovendo i detriti accumulati e la successiva verifica della integrità delle briglie procedendo, ove necessario, al loro consolidamento. Sulla base del numero di briglie integre rinvenuto dopo la rimozione dei sedimenti si potrà valutare la possibilità di costruire altre briglie, geometricamente similari, , fino a portare il loro numero complessivo a 5. Localizzazione foto F15F e F16F, capitolo 5.

- Codice F07. *Consolidamento versante in località Tresta*

Previa verifica dei profili di legittimità delle abitazioni soprastanti il pendio in frana, si prevede di attuare interventi di miglioramento della stabilità dei versanti. La fattibilità degli interventi e la tecnologia da utilizzare saranno valutate in base alle modellazioni geologiche e geotecniche. Allo stato delle conoscenze, non può essere esclusa l'ipotesi che l'intervento risulti non fattibile per motivi tecnici o economici e che, quindi, si debba procedere alla delocalizzazione (vedi fotoF18F, capitolo 5).

- Codice F08. *Area di deposito alla confluenza tra le cave Fasaniello e Negroponte.*

In prossimità della confluenza c'è un'ampia area di deposito, con una vasca di accumulo completamente interrata. In questa zona, è possibile realizzare una vasca di significativa estensione, stimabile in circa 2000 m², da ricavare attraverso lo scavo del materiale in alveo per una profondità di circa 4-5 m. La vasca sarà a dispersione, con uno scarico di troppo pieno. La realizzazione dovrà tenere conto dell'esigenza di ripristinare periodicamente la capacità del manufatto e, quindi, prevedere un'adeguata via di accesso. Localizzazione foto F19F, capitolo 5.

- Codice F09. *Stabilizzazione del fondo alveo nel tratto terminale della cava Fasaniello a monte della tombatura.*

Nel tratto a monte della tombatura, la *cava* presenta un andamento sinuoso e mostra rilevanti accumuli di depositi. Si tratta di grandi quantità di materiale, la cui rimozione sarebbe onerosa e sostanzialmente inefficace perché gli accumuli si riprodurrebbero in tempi relativamente brevi.

L'intervento è pertanto finalizzato a stabilizzare il materiale già presente sul fondo alveo attraverso una serie di soglie trasversali appena più alte dei depositi che si intende bloccare. La barriera di monte dovrà essere realizzata subito a valle del ponticello crollato (vedi foto F20F, capitolo 5), che trattiene notevoli quantità di materiale. Ove necessario, si procederà anche alla rimozione di una parte del materiale depositato nel tratto sommitale dei diversi accumuli. Le soglie verranno posizionate in corrispondenza dei fronti dei diversi ammassi o all'interno di questi, qualora la loro lunghezza superi i 30 m. Nei tratti privi di spessori di sedimenti significativi non sono da prevedere opere. Localizzazione foto da F20F a F23F, capitolo 5.

- Codice F10. *Sistemazione dell'imbocco del tratto tombato sulla cava Fasaniello*

Si tratta di un intervento di grande rilevanza, che tende ad incrementare l'efficienza del tratto tombato attraverso una risagomatura dell'imbocco, purché compatibile con la capacità di convogliamento del canale. Questo intervento consiste, soprattutto, nella realizzazione di una vasca destinata a contenere, sia pure parzialmente, il materiale solido, in modo da ridurre il rischio di ostruzione dell'imbocco che potrebbe produrre effetti anche disastrosi nell'area fortemente antropizzata posta subito a valle. Nella realizzazione della vasca si potrà prevedere anche la rimozione dei depositi accumulati sul fondo alveo e del rilevato in terra presente in destra idraulica.

Sul lato di valle, la vasca dovrà avere un sistema di briglie a pettine per fermare il materiale flottante o i sedimenti trasportati di maggiore dimensione, con una distanza tra i denti tale da minimizzare il rischio di ostruzione. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi a tali denti siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. L'efficacia della vasca dipenderà dalla tempestività degli interventi di pulizia da effettuare periodicamente e, comunque, dopo ogni evento che produca un significativo trasporto di materiale. Pertanto, l'opera deve essere facilmente accessibile ai mezzi destinati alla sua manutenzione. Localizzazione foto F24F, F25F, F26F, capitolo 5.

8.3.2 Tratto 2 - Campomanno fino a Fasaniello

- Codice C01. *Regimazione deflussi torrentizi e ripristino terrazzamenti a valle e a monte dell'attuale sorgente*

L'intervento interessa un breve tratto posto all'inizio della cava Campomanno che, subito a valle della sorgente, presenta un terrazzamento in dissesto che può, in caso di completa instabilizzazione, incrementare l'apporto di materiale solido. Tale terrazzamento è stato ottenuto, verosimilmente, attraverso una progressiva colmata dell'alveo naturale. L'intervento consiste nello stabilizzare le opere di sostegno che delimitano i vari terrazzi. Dovrà essere valutato su quali soggetti far ricadere gli oneri di un tale intervento e dovranno essere fissati precisi vincoli che impediscano la realizzazione, più a valle, di ulteriori terrazzi. L'intervento riguarda, inoltre, anche il ripristino del tratto immediatamente a monte dell'attuale sorgente, che è stato antropizzato, alterando il reticolo naturale. Localizzazione foto CA01F, capitolo 5.

- Codice C02. Briglia a pettine sulla cava Campomanno

La cava presenta un tratto sommitale con versanti fortemente dissestati che, qualora non si prevedano interventi di sistemazione locale, potrebbero apportare una notevole quantità di sedimenti verso valle. Per ridurre tale apporto, si potrà realizzare una briglia a pettine o similare, capace di trattenere il materiale più grossolano. La briglia dovrà avere una base a raso o, comunque, poco sporgente, e i denti verticali dovranno avere una distanza non inferiore al metro. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi a tali denti e, più in generale, all'intera struttura, siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. L'intervento prevede anche la sistemazione di alcuni tratti di versante in erosione, scelti in base al pericolo che la loro evoluzione potrebbe portare alle abitazioni e alle infrastrutture sovrastanti, tenendo conto dei volumi che potrebbero affluire in alveo. Localizzazione foto CA02F e CA03F, capitolo 5.

8.3.3 Tratto 3 - Negroponte fino al Fasaniello

- Codice N01. Pulizia dell'alveo Negroponte a monte del salto

In un lungo tratto della cava Negroponte con pendenze relativamente modeste sono presenti notevoli accumuli di materiale, principalmente di origine vegetale. È altresì presente una briglia in muratura, parzialmente crollata, e un salto costituito da un muro alto circa 6 m. L'intervento prevede: la rimozione del materiale depositato e di quello in evidente pericolo di instabilità presente sui versanti, la demolizione della briglia preesistente e la ricostruzione di un'altra briglia nella stessa posizione e di eguali dimensioni. Dovrà prevedersi anche il ripristino delle sponde parzialmente crollate e del sistema di drenaggio del muro in corrispondenza del salto. Per la rimozione del materiale vegetale valgono le considerazioni di cui all'intervento F05. Localizzazione foto N3F, N4F, N5F, capitolo 5.

- Codice N02. Sistemazione cava Negroponte dal salto fino alla confluenza con il Fasaniello

La sistemazione è finalizzata a stabilizzare il materiale in alveo e a ridurre l'apporto di materiale dalle sponde. L'intervento dovrà essere progettato in modo unitario anche se sarà da attuare, eventualmente, in fasi successive.

I principali moduli nei quali può essere articolato il progetto generale sono:

- ricostruzione, a valle del ponticello di via Campomanno, della gradonata in larga misura collassata in seguito all'evento di novembre, con muri di tipo rigido e un riempimento accurato dei terrapieni, assicurando un adeguato costipamento dei materiali e un efficace drenaggio. In specifiche situazioni da valutare opportunamente è possibile l'utilizzo delle terre armate. Questo intervento contribuisce alla stabilità dei versanti interessati da una estensiva urbanizzazione. In sede progettuale dovrà essere valutato se gli oneri di questo specifico intervento debbano ricadere, in parte o in toto, su soggetti privati. Localizzazione foto N07F, N08F, N09F, capitolo 5.
- stabilizzazione, con tecniche di rinverdimento o con reti aderenti del versante, in sinistra idraulica a valle del tratto interessato dalla gradonatura. Localizzazione foto N10F, capitolo 5.
- messa in opera di 5 o più briglie in serie, con altezza rispetto al fondo alveo nello stato attuale variabile da qualche metro in corrispondenza dei tratti più erosi (vedi localizzazione foto N12F, N14F, N15F, N16F, capitolo 5) fino a poche decine di cm in corrispondenza dei tratti dove il deposito è maggiore. In tal modo, si stabilizza il materiale deposto, si evita di incrementarne il volume, si evitano costose rimozioni e attività di trasporto di materiale, che avrebbero solo un effetto effimero. L'altezza delle briglie più emergenti andrà valutata in modo da minimizzare il volume di sedimenti che si accumuleranno alle spalle. Andrà anche valutata l'ipotesi di ripristinare le briglie esistenti o di procedere alla loro demolizione
- messa in opera di 2-3 briglie frangicolata in serie a maglie larghe per bloccare, o almeno rallentare, il materiale di maggiore pezzatura che dovesse comunque raggiungere il tratto terminale della cava a monte della confluenza. Tali briglie andrebbero collocate a distanza di 20-30 m l'una dall'altra, nel tratto dove già sorgono vecchie briglie in parte dissestate (vedi localizzazione foto N17F, N18F, capitolo 5),
- pulizia dei cigli superiori della cava, con rimozione dei massi instabili e della vegetazione in condizione di precario equilibrio (vedi esempio foto N13F, capitolo 5).

8.4 CAVA SINIGALLIA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni

- Codice S01. Riduzione del rischio da flussi detritici nel tratto di monte della cava Sinigallia

La sommità della cava è stata fortemente interessata dagli eventi dello scorso novembre. Numerose sono le masse mobilitate che in larga misura sono depositate lungo l'alveo o incombono su di esso dalle pendici. Lungo i versanti sono presenti, tra l'altro, blocchi ciclopici e una rilevante componente vegetale (vedi foto da S01F a S05F, capitolo 5). È necessario, pertanto, procedere a una bonifica del tratto sommitale, rimuovendo dall'alveo e dalle pendici il materiale più voluminoso ma, soprattutto, occorre creare una difesa passiva, realizzando una vasca di espansione nella zona pianeggiante posta subito a valle. Tale opzione richiede, però, una puntuale verifica di fattibilità, basata sull'acquisizione e l'analisi di dati stratigrafici e geotecnici al momento non disponibili e su un'adeguata modellazione geologica, geotecnica e idraulica. Qualora l'opera risultasse non fattibile, si dovrà optare per la realizzazione di rostri frangicolata, capaci almeno di ridurre l'energia dei flussi detritici. Nel caso la vasca sia fattibile, è da prevedere che sia realizzata in scavo ed eventualmente dotata di rostri al suo interno per ridurre il rischio di avulsione verso valle. L'intervento va articolato in due fasi successive:

- *Codice S01a. Indagini e studi finalizzati alla verifica di fattibilità di una vasca di espansione dei flussi detritici nel tratto di monte della cava Sinigallia*

Verifica di fattibilità della vasca di espansione sulla base di un'ampia raccolta di dati geotecnici e della loro analisi nonché di una opportuna modellazione geologica, geotecnica e idraulica.

- *Codice S01b. Intervento di riduzione del rischio da flussi detritici nel tratto di monte della cava Sinigallia*

Progettazione e realizzazione della vasca, ove fattibile, o, in alternativa, dei rostri frangicolata, nonché bonifica del tratto posto subito a monte.

- *Codice S02. Stabilizzazione alveo della cava Sinigallia*

In questa zona il deflusso naturale è stato alterato dalla presenza di un manufatto stradale (vedi foto S07F, capitolo 5). Inoltre, almeno un masso ciclopico depositato in occasione di precedenti frane obbliga il corso d'acqua a seguire un andamento meandriforme. L'evento di novembre ha modificato lo stato dei luoghi, ripristinando parzialmente l'andamento precedente del corso d'acqua, ma favorendo lo sviluppo di fenomeni di erosione al piede di un versante antropizzato. L'intervento è finalizzato a stabilizzare questo breve tratto d'alveo e a ripristinare, ove possibile, la viabilità interrotta.

- Codice S03. *Realizzazione di briglie a pettine a valle del salto naturale sulla cava Sinigallia*

A valle del salto naturale (foto S08F e S09F, capitolo 5) si dovranno realizzare due briglie a pettine, completamente sporgenti dal fondo, con denti ampiamente distanziati, in modo da evitare fenomeni di accumulo a monte. L'intervento è finalizzato a ridurre l'energia del materiale trasportato a valle del salto naturale. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi a tali denti e, più in generale, all'intera struttura, siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa

- Codice S04. *Sistemazione della cava Sinigallia dall'incrocio con la via Campomanno alla confluenza con la cava Fontana.*

Questo tratto della *cava Sinigallia* (foto da S16F a S19F, capitolo 5) è interessato dalla presenza di vecchie briglie, in larga parte collassate, che rendono facilmente disponibile, per il trasporto verso valle, una notevole quantità di sedimenti anche di grossa pezzatura. Inoltre, nella parte iniziale, un esteso franamento interessa in sx idraulica la via Campomanno, rendendola impercorribile. L'intervento prevede la sistemazione del versante in dissesto che interessa la strada; il ripristino, il consolidamento o la sostituzione delle briglie esistenti; la costruzione di un limitato numero di nuove briglie di tipo rigido; il restauro o la ricostruzione della briglia a gradoni costruita negli anni 30 (foto S19F, capitolo 5); la realizzazione di due briglie a pettine nel tratto terminale a monte della confluenza con la cava Fontana. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi ai "denti" e, più in generale, all'intera struttura, siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. Questo tratto è parzialmente interessato da un progetto in corso. È necessario assicurare il coordinamento dei due interventi.

- Codice S05. *Realizzazione di un'area di accumulo alla confluenza tra le cave Sinigallia e Fontana.*

A valle della confluenza tra le due cave c'è un'area abbastanza estesa nella quale potrebbe essere realizzata una zona di accumulo del materiale capace di limitare gli effetti, verso valle, del trasporto solido. La vasca dovrebbe essere chiusa verso valle da una briglia selettiva a maglie *molto* larghe. Foto S20F, capitolo 5.

- Codice S06. *Sistemazione del tratto terminale della cava Sinigallia a monte del tratto tombato.*

In tale tratto sono presenti due briglie molto alte (foto S21F e S22F, capitolo 5), che devono essere verificate e, ove necessario, consolidate. Subito a valle della seconda briglia dovranno essere demoliti i ruderi delle antiche *Terme Piro* (foto S22F, capitolo 5). Prima dell'imbocco del tratto tombato si dovrà realizzare una vasca destinata a contenere, sia pure parzialmente, il materiale solido, in modo da ridurre il rischio di ostruzione dell'imbocco che potrebbe produrre effetti anche disastrosi nell'area fortemente antropizzata posta subito a valle. Nella realizzazione della vasca si dovrà prevedere anche la rimozione del rilevato in terra un tempo utilizzato per l'accesso alle terme.

Sul lato di valle, la vasca dovrà avere un sistema di griglie a pettine per fermare il materiale flottante o i sedimenti trasportati di maggiore dimensione, con una distanza tra i denti tale da minimizzare il rischio di ostruzione. Comunque, a vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi ai "denti" e, più in generale, all'intera struttura, siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. L'efficacia della vasca dipenderà dalla tempestività degli interventi di pulizia da effettuare periodicamente e comunque dopo ogni evento che produca un significativo trasporto di materiale. Pertanto, l'opera deve essere facilmente accessibile ai mezzi destinati alla sua manutenzione (vedi foto S23F, S24F, S25F, capitolo 5).

8.5 CAVA CELARIO E CAVA FONTANA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni

- Codice CE01. *Rimozione dei massi in equilibrio precario nel tratto montano della cava Celario*

Nella zona nella quale si è propagato il movimento franoso che ha provocato vittime e danni, c'è un primo tratto fortemente eroso nel quale il carico di sedimenti è, attualmente poco rilevante (vedi foto CE01F e CE02F, capitolo 5), seguito, più a valle, da un tratto in cui sono presenti nell'alveo massi anche di grandi dimensioni, in equilibrio instabile, e altri massi che potrebbero facilmente distaccarsi dalle pareti e dalle zone di contorno (foto da CE03F a CE05F, capitolo 5). L'intervento previsto riguarda la preventiva opera di frantumazione e la rimozione dei detriti presenti in alveo nonché il disgaggio dalle pareti dei massi prossimi al distacco.

- Codice CE02. *Intervento di riduzione del rischio da flussi detritici in località Celario*

Nella zona di impatto, devastata dall'evento del 26 novembre, c'è un'ampia area (foto CE06F e CE07F, capitolo 5) ricoperta dai detriti e dal materiale franato da monte, nella quale appare possibile realizzare un'area di espansione abbastanza estesa. Tale area dovrebbe essere destinata a

raccogliere il materiale che dovesse in futuro mobilizzarsi nell'area a monte del Celario, ma anche ad accogliere il materiale che potrebbe provenire dalla cava Cuccufriddo, oggetto dell'intervento contrassegnato dal Codice CU02.

Quest'ultimo apporto è condizionato dalla fattibilità di realizzare, sul Cucufriddo, un vallo trasversale atto ad indirizzare il materiale intercettato verso la vasca di cui trattasi. Pertanto, i due progetti CE02 e CU02 devono essere sviluppati in modo armonico, dal momento che la soluzione tecnica adottata per l'intervento CU01 condiziona in modo significativo l'intervento CE02.

La vasca deve essere ricavata in scavo e dotata di rostri frangi-colata in grado di ridurre il rischio di avulsione verso valle; è opportuno, inoltre, realizzare, subito a monte, una o più file di barriere paramassi/paravalanga di tipo flessibile, in grado di attenuare, in caso di evento, l'impatto del flusso detritico. L'efficacia della vasca nel tempo dipenderà dalla tempestività degli interventi di pulizia, da effettuare periodicamente e, comunque, dopo ogni evento che produca un significativo trasporto di materiale. Pertanto, l'opera deve essere facilmente accessibile ai mezzi destinati alla sua manutenzione e al suo sistematico svuotamento. In ogni caso, per la rilevanza dell'opera è opportuno distinguere due fasi d'intervento:

- Codice CE02a. *Indagini e studi finalizzati alla verifica di fattibilità di una vasca di espansione dei flussi detritici in località Celario*

Verifica di fattibilità della vasca di espansione sulla base di un'ampia raccolta ed analisi di dati geotecnici, di una opportuna modellazione geologica, geotecnica, idraulica e strutturale, nonché dell'individuazione di soluzioni di fattibilità di opere integrative (o alternative), tipo barriere paramassi e rostri frangi-colata.

- Codice CE02b. *Intervento di riduzione del rischio da flussi detritici in località Celario*

Progettazione e realizzazione della vasca, ove fattibile, o, in alternativa, di altre opere di riduzione del rischio da flussi detritici.

- Codice CE03. *Inalveazione della cava a valle della località Celario fino all'incrocio con via Celario*

Subito a valle della zona indicata per l'intervento CE02 l'alveo è completamente sconvolto. Il vecchio sistema di briglie (foto CE07F e CE08F, capitolo 5) realizzato negli anni '30 del secolo scorso è stato in larga parte distrutto. Il percorso è profondamente mutato, sia a causa dell'evento che a causa dei lavori immediatamente eseguiti nella successiva fase di soccorso e di superamento della prima emergenza (foto da CE09F a CE12F, capitolo 5).

A valle dell'area designabile alla vasca, allo stato attuale non sussiste un alveo ben definito, in grado di contenere eventuali flussi, anche idrici, che dovessero attivarsi. La situazione è resa più complessa dal fatto che le numerose strade che attraversano la zona hanno pendenze molto elevate e rappresentano un percorso preferenziale per i flussi, con tutti i rischi che questa situazione può comportare. Appare perciò necessario realizzare un alveo di adeguate dimensioni, capace di contenere le portate liquide ed eventualmente solide provenienti da monte. Il nuovo alveo, in larga misura artificiale, dovrà prevedere un notevole numero di salti di fondo, dal momento che le pendenze da superare sono molto rilevanti. Nella scelta dei materiali si dovrà tener conto dell'impatto ambientale che tale opera potrebbe avere, ricorrendo a rivestimenti in pietra locale e, ove possibile, ad opere in terra armata o similari, purché non erodibili. Nel tracciamento del percorso dovrà essere altresì valutata l'eventualità che alcuni edifici possano essere dislocati. L'opera dovrà proseguire verso valle anche lungo la cava Fontana, di cui all'intervento FO01.

- Codice FO01. Inalveazione della cava a valle dell'incrocio con via Celario

L'intervento è analogo a quello indicato con CE03, con il quale è in continuità: pertanto, i due interventi dovrebbero essere unificati. Di particolare rilievo è l'attraversamento di via Celario (foto FO01F, capitolo 5) che potrebbe avvenire o sopraelevando la strada o realizzando, ove possibile, un ponte di adeguate dimensioni, garantendo, nel contempo, attraverso uno scivolo, il passaggio del deflusso in corrente veloce. Quest'ultima opzione appare non semplice, visto il potenziale trasporto solido presente. Il tratto di nuova inalveazione dovrà essere esteso per tutta la lunghezza della zona antropizzata, fino a raggiungere l'area in cui l'alveo è più largo, anche se interessato da erosione e frane superficiali (Foto da FO02F a FO06F, capitolo 5).

- Codice FO02. Realizzazione di una vasca di laminazione e di dissipazione nel tratto medio della cava Fontana

La messa in opera di una vasca di laminazione, subito a valle della nuova inalveazione, serve a evitare che tutto l'apporto solido e liquido da essa trasportato possa creare problemi alla zona urbanizzata di monte e, in ultima analisi, incrementare ulteriormente l'inadeguatezza della tombatura più a valle (vedi intervento codice S06). Inoltre, con le sponde della vasca si potrà ottenere un'azione di contenimento dell'erosione dei versanti e una loro stabilizzazione. La vasca avrà uno sviluppo prevalentemente longitudinale, con una bocca dimensionata in modo da contenere il flusso in uscita. All'interno della vasca dovranno essere previste una o due briglie a pettine con i denti sporgenti dall'alveo e ben distanziati o alcuni rostri frangi-colata opportunamente disposti. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi a tali

denti e all'intera struttura siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa.

- Codice FO03. *Sistemazione del collegamento idraulico tra la via Santa Barbara e la cava Fontana.*

La via Santa Barbara raccoglie, lungo il suo andamento sinuoso, le acque piovane in canalette di scolo laterali, per alcuni tratti anche tombate. Verso la fine della strada l'acqua raccolta viene immessa, attraverso uno scatolare che scorre sotto una traversa laterale, nella *cava Fontana* (foto FO07F e FO08F, capitolo 5). Questo collegamento appare fortemente danneggiato ed è necessario ripristinarlo. Si evidenzia che il tratto è già interessato da un progetto in itinere ed è, pertanto, necessario un coordinamento tra gli obiettivi progettuali.

- Codice FO04. *Ripristino e consolidamento delle briglie esistenti nella cava Fontana a monte dell'intersezione con la cava Sinigallia.*

Dopo l'evento del 2009 sono state realizzate alcune briglie in cemento armato che presentano evidenti segni di erosione al piede che, qualora non controllati, potrebbero comprometterne la stabilità (foto da FO09 a FO13, capitolo 5). Si rende perciò necessario un intervento di consolidamento che preveda anche un'adeguata difesa dall'azione di scalzamento al piede attraverso la realizzazione di una piccola avanbriglia o con analoghe tipologie.

8.6 CAVA CUCCUFRIDDO E CAVA LA RITA. Interventi di mitigazione del rischio da flussi detritici e da alluvioni

8.6.1 Tratto 1. Cuccufriddo-La Rita fino al tratto tombato

- Codice CU01. *Sistemazione e pulizia del tratto montano della cava Cuccufriddo*

L'intervento riguarda tutto il tratto dove è presente una serie di briglie realizzate negli anni 30 dello scorso secolo, che appaiono in discrete condizioni e hanno svolto efficacemente la loro funzione (localizzazione foto tra CU01F e CU14F, capitolo 5). A valle delle briglie, l'alveo presenta una incisione di modeste dimensioni, a riprova di un deflusso in occasione dell'evento alluvionale non è stato particolarmente rilevante. Le briglie sono gradevoli e si inseriscono perfettamente nell'ambiente; pertanto, è da evitare la loro demolizione. L'intervento riguarda la verifica puntuale del loro stato, da effettuare dopo la debita rimozione di sedimenti e materiale vegetale, e

l'eventuale ripristino della loro efficienza, con interventi non invasivi. Dovrà essere previsto lo svuotamento parziale a tergo delle briglie e la rimozione del materiale spondale direttamente incombente. Per il materiale vegetale valgono le considerazioni esposte per l'intervento F05.

- Codice CU02. *Interventi di mitigazione dell'impatto dei flussi detritici della cava Cuccufrippo.*

A valle del tratto interessato dall'intervento CU01 esistono agglomerati urbani che potrebbero essere colpiti da fenomeni dello stesso tipo di quello del 26 novembre 2022. Ne deriva la necessità impellente di realizzare un intervento di sconnessione dei flussi detritici che garantisca una significativa riduzione del livello di rischio per questi insediamenti. La mancanza di adeguate superfici non consente la realizzazione di vasche di espansione. Una possibile soluzione è la realizzazione di un vallo trasversale che convogli i flussi detritici verso la vasca Celario. Tale vallo dovrebbe avere una pendenza longitudinale almeno del 10% e un muro armato di adeguata altezza sul lato di valle. Per verificare la fattibilità, dal punto di vista tecnico, di questa ipotesi, è necessaria l'acquisizione di dati e lo sviluppo di analisi al momento non disponibili. In alternativa, si potrà realizzare un sistema di barriere paramassi disposte in più file parallele che, pur essendo meno efficace rispetto alla realizzazione del vallo, consente, comunque, di ottenere una significativa attenuazione dell'eventuale impatto con la zona immediatamente a valle. Pertanto, l'intervento andrà articolato in due fasi successive:

- Codice CU02a. *Indagini e studi finalizzati alla verifica di fattibilità di vallo trasversale per la deviazione dei flussi detritici della cava Cuccufrippo*

Verifica di fattibilità del vallo trasversale sulla base di un'ampia campagna di indagini geologiche e geotecniche e di accurati rilievi topografici.

- Codice CU02b. *Intervento di mitigazione dell'impatto dei flussi detritici della cava Cuccufrippo.*

Realizzazione del vallo, ove fattibile, o, in alternativa, delle barriere paramassi.

- Codice CU03. *Miglioramento dell'efficienza idraulica del tratto tombato alla foce della cava Cuccufrippo*

Allo stato attuale non è chiaro l'andamento, dall'imbocco fino al mare, del tratto tombato, le sue dimensioni, le pendenze assunte, gli eventuali apporti che riceve lungo il suo percorso. Tale tratto,

peraltro molto lungo, deve essere caratterizzato attraverso un rilevamento dettagliato lungo la sua intera lunghezza, anche avvalendosi di robot e, comunque, garantendo alle maestranze il massimo livello di sicurezza. In base ai risultati ottenuti sarà possibile individuare gli interventi più idonei a garantire la massima officiosità possibile. Il completamento di tale intervento è propedeutico all'intervento CU04.

- Codice CU04. Sistemazione idraulica della cava Cuccufriddo a valle fino alla tombatura

La rilevante antropizzazione lungo la *cava Cuccufriddo* nel tratto pedemontano ha prodotto un notevole disordine idraulico. In particolare, procedendo verso valle, si incontrano: un alveo strada, l'incrocio a raso con strada locale, un tratto ristretto e canalizzato, un salto morfologico, un tratto - evidentemente non modificato - in cui l'alveo si allarga notevolmente e nel quale potrebbero essere presenti alcune briglie, un tratto ristretto e canalizzato che scorre tra le case. Nella tratta successiva, dopo avere sottopassato il ponte Borbonico, la *cava* continua in un tratto naturale poco modificato, e in sequenza sono presenti: un attraversamento a raso di una strada, un tratto di alveo ristretto e non ben delimitato che scorre tra gli edifici, un tratto di alveo strada di circa 200 m, che diventa alveo tombato con afflusso dalle caditoie poste lungo la strada. L'uscita dal tratto tombato avviene con un salto, subito dopo inizia una nuova tombatura che interessa la zona delle *Antiche Terme La Rita*. Al termine c'è un tratto naturale con pareti alte circa 20 m, nonché la confluenza con la cava del Monaco, l'attraversamento di un altro ponte, la riduzione a piccolo canale che scorre al fianco della strada e l'inizio di una nuova tombatura che arriva fino a mare e oggetto dell'intervento CU03 (Localizzazione foto da CU15 a CU20, capitolo 5).

L'intervento deve affrontare in modo complessivo la funzionalità idraulica della cava Cuccufriddo, attraverso una serie di operazioni che comprendano la pulizia e la risagomatura del tratto a valle del salto morfologico, l'eliminazione delle strade alveo da restituire alla loro valenza idraulica, l'eliminazione degli attraversamenti a raso, l'allargamento delle sezioni idraulicamente inadeguate a contenere i deflussi provenienti da monte, l'eliminazione, ove fattibile, dei tratti tombati, l'eventuale delocalizzazione degli edifici che ostacolano il regolare deflusso.

Il progetto dovrà essere accompagnato da un'analisi idraulica con modellistica avanzata, basata su un'accurata ricostruzione plano-altimetrica attraverso misure anche in sito. Sia prima dell'imbocco della prima tombatura che prima dell'imbocco dell'ultimo tratto tombato che arriva fino a mare, si dovrà realizzare una vasca destinata a contenere, sia pure parzialmente, il materiale solido, in modo da ridurre il rischio di ostruzione dell'imbocco che potrebbe produrre effetti anche disastrosi nell'area antropizzata posta subito a valle. Le vasche dovranno avere, sul lato di valle, un sistema di griglie a pettine per fermare il materiale flottante o i sedimenti trasportati di maggiore dimensione, con una distanza tra i denti tale da minimizzare il rischio di ostruzione. A vantaggio di sicurezza, sarà comunque opportuno che i calcoli strutturali relativi ai "denti" e, più in generale,

all'intera struttura, siano eseguiti considerando la sezione all'interno della quale essi saranno posizionati completamente occlusa. L'efficacia delle vasche dipende dalla tempestività degli interventi di pulizia da effettuare periodicamente e comunque dopo ogni evento che produca un significativo trasporto di materiale. Pertanto esse devono essere facilmente accessibile ai mezzi destinati alla manutenzione.

8.6.2 Tratto 2. – Del Monaco fino al Cuccufriddo

- *Codice MO01. Pulizia e ripristino delle briglie nel tratto montano della cava Del Monaco*

Il tratto montano è interessato da alcune vecchie briglie, l'ultima delle quali è in figura MO01F, capitolo 5. Queste briglie appaiono in parte dissestate ed è quindi necessario provvedere alla loro riparazione e alla contestuale pulizia rimuovendo il materiale più ingombrante.

- *Codice MO02. Sistemazione idraulica della cava Del Monaco fino alla confluenza con la cava La Rita*

Interventi antropici non oculati hanno modificato in modo rilevante il percorso naturale della cava con effetti che incrementano il livello di pericolosità della zona di valle. In particolare a valle del sistema di briglie di cui al punto precedente, si succedono (vedi foto da MO01F a MO08F, capitolo 5): un tratto di alveo strada a servizio di abitazioni poste sul ciglio delle sponde, un tratto di alveo naturale poco modificato, un edificio realizzato in corrispondenza dell'alveo e che intercetta i deflussi e li devia attraverso un pozzetto con caditoia che immette in un tombino che attraversa via Montecito, un tratto di alveo strada oppure tombato, un tratto naturale, con diversi insediamenti sulle sponde, che porta alla confluenza con il La Rita. L'intervento prevede la sistemazione dell'intero tratto, l'eliminazione dei tratti di alveo strada che devono essere restituiti alla loro funzione, la delocalizzazione degli edifici che ostacolano il regolare deflusso e impediscono la sistemazione dell'intero tratto.

- *Codice MO03. Briglie aperte nel tratto della cava Del Monaco subito a monte della confluenza con la cava La Rita*

In questo tratto (vedi foto MO08, capitolo 5) andranno realizzate 4-5 briglie a pettine per ridurre l'apporto di materiale lapideo o vegetale di maggiori dimensioni, riducendo così, il rischio di ostruzione del tratto tombato che interessa la cava La Rita nel tratto terminale

- *Codice MO04. Sistemazione dei fossi minori presenti nel bacino della cava La Rita-Cuccufriddo-Del Monaco*

Sui versanti del Monte Epomeo, nel bacino della cava La Rita, sono presenti alcuni fossi minori che in alcuni casi presentano evidenti segni di dissesto. La cava Montecito è l'esempio forse più evidente. L'intervento prevede una puntuale ricognizione dello stato di dissesto, attuale e potenziale, di detti fossi e la realizzazione ove necessario di opere di sistemazione, consistenti, preferibilmente, in briglie di piccola dimensione, destinate a ridurre i fenomeni di erosione e di possibile scalzamento al piede dei versanti

8.7 INTERVENTI A SCALA COMUNALE

In aggiunta agli interventi elencati per le varie cave che solcano il bacino imbrifero di Casamicciola Terme, se ne possono individuare altri che interessano l'intero territorio comunale e che, quindi, devono essere realizzati con una logica unitaria.

- *Codice IC01. Cartografia di base*

La carta topografica in scala 1: 1000 è un documento essenziale da utilizzare nelle diverse fasi di pianificazione e di progettazione degli interventi. Quella disponibile è a scala minore e non consente di cogliere in modo chiaro tutte le modifiche intervenute nel territorio. Peraltro, le carte esistenti non risultano aggiornate perché non tengono conto delle modifiche apportate dagli eventi del novembre 2022. La carta dovrà essere realizzata in base a precise specifiche tecniche e attraverso una sistematica verifica di campo. L'intervento prevede anche l'estensione della copertura con ortofoto e DTM agli interi bacini delle cave Puzzillo e Del Monaco, che allo stato risultano scoperte. Si dovranno, inoltre, effettuare rilievi aereo-fotografici stereoscopici in scala 1:10.000 estesi a tutta l'Isola, indispensabili per sviluppare analisi di foto-interpretative in realtà geomorfologicamente complesse quali quelle ischitana. Sarà così possibile sviluppare confronti multi-temporali anche di situazioni connesse al costruito. Questo intervento è prioritario e propedeutico rispetto ai successivi.

- *Codice IC02. Sistemazione agronomico-forestale del tratto di cornice sommitale*

Come ampiamente descritto nel capitolo 5, nel tratto sommitale del Monte Epomeo emergono evidenti segni di destabilizzazione delle aree boscate, che risentono dell'assenza di un'adeguata gestione e conseguente interruzione dei tagli nel corso degli ultimi decenni. I numerosi alberi già caduti o che potrebbero cadere nell'immediato futuro a causa del loro precario ancoraggio nel suolo costituiscono un fattore di rischio non trascurabile dal momento che, con il loro sradicamento e accumulo in alveo, riducono in tanti tratti la già limitata officiosità degli impluvi o contribuiscono, in modo rilevante, all'ostruzione delle strettoie naturali e artificiali. L'intervento prevede la redazione di un piano di gestione del patrimonio boschivo, la predisposizione di un programma di tagli quinquennale e la sua attuazione secondo gli approcci descritti nel paragrafo 7.2.

- *Codice IC03. Interventi di mitigazione del rischio da caduta di blocchi dai costoni delle zone sommitali*

In corrispondenza delle fasce sommitali della zona montana sono presenti costoni lapidei con andamento subverticale, di altezza variabile, caratterizzati dalla presenza di famiglie di discontinuità che isolano blocchi di dimensioni variabili in condizione di equilibrio precario. Attese le superfici esposte, dell'ordine dei 20.000 m², e la logistica delle aree di intervento, non è possibile ipotizzare un intervento di consolidamento diffuso di tipo attivo, che potrà essere limitato ad areali di estensione contenuta e caratterizzati da maggiori criticità. Alcune zone sono già comprese negli interventi di sistemazione che riguardano la parte sommitale delle cave principali, ma ci sono vasti settori di versanti planari dai quali possono discendere a valle massi anche ciclopici. Un esempio particolarmente rilevante è dato dall'area denominata "Caduchi", dalla quale i massi potrebbero precipitare direttamente sulle zone urbanizzate. È necessario sviluppare un progetto unitario che, partendo dall'analisi di tutte le potenziali sorgenti, identifichi, anche attraverso l'uso di modelli del tipo di quelli riportati nel capitolo 4, le zone più pericolose nelle quali intervenire prioritariamente. Per le tecnologie da utilizzare si rimanda al paragrafo 7.3.1.

- Codice IC04. *Regimazione del deflusso superficiale a monte del centro abitato*

Le ripide pendici dell'Epomeo sono attraversate da numerose strade e sentieri che intersecano in più punti il reticolo idrografico montano e spesso ne modificano il percorso o ne interrompono la continuità. Pertanto, in occasione di eventi meteorici intensi, accade che l'acqua non più incanalata segua la pendenza delle strade che sono nella gran parte dei casi molto acclivi. Ne consegue la concentrazione di deflussi superficiali nelle zone topograficamente più basse, dalle quali si riversano sul pendio, creando fenomeni di erosione localizzata oppure, seguendo l'andamento delle strade, raggiungono il centro abitato. È un problema molto diffuso, che contribuisce ad aumentare il livello di pericolosità di gran parte del territorio comunale. L'intervento riguarda l'individuazione di tutti i nodi costituiti dai punti di intersezione tra reticolo idrografico e vie di comunicazione, la ricostruzione del reticolo naturale, attraverso la creazione di tombini o di eventuali ponticelli, il recupero dei tratti iniziali delle cave diventate talora sede di insediamenti di varia tipologia, la ricostruzione dei percorsi delle acque di ruscellamento lungo le ripide strade che attraversano l'area, la canalizzazione di tali acque verso recapiti sufficienti dal punto di vista idraulico.

- Codice IC05. *Interventi per la riduzione del rischio delle frazioni alle pendici dell'Epomeo*

Alcuni agglomerati urbani si sono nel tempo insediati alle pendici dell'Epomeo, in aree che non sono direttamente attraversate dalle cave e che quindi non sono state considerate negli interventi identificati per ciascuna di esse. Tuttavia non può escludersi che per qualcuno di questi insediamenti possano sussistere condizioni di rischio determinate principalmente dalla loro posizione, che può esporli ai fenomeni di crollo o di erosione dei versanti più vicini, sottostanti o sovraincombenti. L'intervento prevede l'analisi dell'effettiva situazione di rischio di ciascuno di questi insediamenti e l'individuazione delle più idonee soluzioni volte alla mitigazione, ivi inclusa l'ipotesi di delocalizzazione.

8.8 INTERVENTI DI SISTEMAZIONE PUNTUALE O LOCALE

In questo paragrafo sono riportati:

- in appendice 1 gli interventi del Commissario Delegato di cui agli elenchi B e C indicati nel comma 4 dell'art. 1 dell'OCDPC 476/2017. Gli interventi riguardano tutti i comuni dell'isola d'Ischia. Per ciascuno di essi sono riportati il codice, il titolo dell'intervento, il Comune, le coordinate, ove possibile, necessarie per la localizzazione, l'importo previsto, la fonte di finanziamento, lo stato di attuazione;
- in appendice 2 gli interventi oggetto del Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione ex art. 5-ter della Legge 9/2023 e in particolare quelli di cui alla lettera b) dell'art. 25 del Codice di protezione civile, inclusi nel Primo piano di interventi ex OCDPC 948/2022. Questo elenco comprende gli interventi di cui alle lettere a) e b) art. 25, comma 2 del D.Lgs 1/2018 proposti da parte dei soggetti attuatori - Regione Campania, Città Metropolitana di Napoli, Comune di Casamicciola Terme, Comune di Lacco Ameno, Comune di Forio, Comune di Ischia, Comune di Barano, Comune di Serrara Fontana, Azienda Multiservizi Casamicciola Srl (AMCA) e S.M.A. Campania SpA - individuati con Ordinanza n.1 del Commissario delegato. La tabella riporta solo gli interventi di cui alla lettera b) per i quali indica il Comune di riferimento, il titolo dell'intervento e il relativo importo previsto.

Nel paragrafo 5.7 alcuni di questi interventi sono richiamati con qualche ulteriore dettaglio. Si tratta nel complesso di un gran numero di interventi volti, quasi tutti, a risolvere problemi di carattere puntuale. Alcuni di essi tuttavia presentano una valenza più generale e affrontano problemi complessi di sistemazione in alveo o sui versanti. Per quanto riguarda Casamicciola Terme alcuni di essi sono relativi a zone interessate da una o più delle sistemazioni elencate e sommariamente descritte nei paragrafi precedenti. Si dovrà, quindi, procedere ad armonizzare in una visione unitaria gli interventi riguardanti la medesima cava, così da ottimizzare l'uso delle risorse che sono e si renderanno disponibili

Più in generale per gli interventi più rilevanti non ancora attivati, anche di carattere puntuale potrà rendersi necessario un supplemento di istruttoria che consenta di valutare il livello di priorità dell'intervento richiesto e ad acquisire tutte le informazioni utili per approfondire la conoscenza dello stato di fatto e per valutare i benefici che l'intervento potrebbe determinare. L'obiettivo è quello di costruire anche per gli altri Comuni dell'isola un quadro di riferimento complessivo che consenta di evidenziare le situazioni più critiche e di costruire una strategia generale di intervento.

9. QUADRO DI SINTESI DEGLI INTERVENTI E STIMA ECONOMICA

Il piano degli interventi è il frutto di un approccio olistico includente discipline apparentemente distanti tra di loro quali la geologia, la geofisica, l'agricola, l'idraulica, l'idrologia, la geotecnica, l'architettura, l'urbanistica e l'ingegneria strutturale. La confluenza del piano degli interventi, ai sensi del decreto legge Ischia 186/2022 convertito in Legge 9 del 27 gennaio 2023, all'interno del piano stralcio dell'autorità di bacino prima, entro il termine di Giugno 2023, e del piano della ricostruzione poi che la regione Campania deve adottare, determinerà il contemperamento delle scelte tecnico scientifiche derivanti dalle discipline sopra indicate con quelle giuridico economiche al fine di individuare soluzioni sostenibili sotto il profilo ambientale, sociale, economico e procedurale. Come ribadito nel capitolo sette, il successo e la convenienza dell'adozione di una o più strategie di intervento dipende dalla possibilità di integrazione efficace degli interventi stessi grazie all'analitica dimostrazione del loro dimensionamento mediante adeguate quantità e qualità di indagini e studi sui fattori predisponenti (le proprietà geometriche e fisico-meccaniche), preparatori (le condizioni in sito e le relative possibili variazioni stagionali) e d'innescio (le azioni idro-meteoriche e sismiche) degli eventi catastrofici. L'efficacia della progettazione andrà valutata tramite il confronto tra analisi prestazionali del sistema oggetto di intervento da effettuare in condizioni ante-operam e post-operam in ordine alle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, in condizioni sia statiche che sismiche.

La struttura Commissariale ha demandato al soggetto attuatore SMA la realizzazione di un piano di prove ed indagini, finalizzate ad individuare in modo specifico gli spessori dei ricoprimenti, la profondità del substrato, la distribuzione granulometrica di un campione rappresentativo, le caratteristiche di resistenza meccanica dei terreni, grazie alla realizzazione di 100 fiorettature, 50 pozzetti esplorativi, 1000 metri di prospezioni sismiche (orientativamente in una numerosità legata a stendimenti di circa 30x30 m) posizionate lungo gli alvei e ad essi trasversali in ragione delle possibilità di accesso e della logistica, 20 prove di

laboratorio, su campioni prelevati in zone opportunamente individuate, consistenti in analisi granulometriche (su tutti) e prove di taglio diretto con misura della resistenza residua (sui campioni indisturbati). Gli esiti del piano prove e indagini consentiranno di calibrare ulteriormente i modelli presentati nel capitolo 4 basati sulle conoscenze ad oggi già disponibili o che in ogni caso sono state implementate nei tre mesi di redazione del presente piano. La distribuzione spaziale delle prove verrà individuata dal gruppo di lavoro, con il contributo di ciascun membro nell'ambito delle proprie competenze, in modo da colmare il gap di conoscenza ad oggi ritenuto ancora non soddisfacente. Nelle prossime settimane SMA porterà a termine il rilievo geometrico georeferenziato delle briglie, delle sponde e delle eventuali soglie, sommerse da detriti e fango come ampiamente documentato nel capitolo 5, per tutti gli alvei di Casamicciola ed in parte di Lacco Ameno. Infine, per il completamento del quadro conoscitivo, SMA produrrà un rilievo topografico dei tratti tombati dei due comuni. Resta inteso che i progettisti dovranno implementare ulteriormente le prove in termini qualitativi e quantitativi per un adeguato dimensionamento delle opere.

Come sancito dall'articolo 15 del DPR 207 del 2010, allegato del codice degli appalti, *“la progettazione ha come fine fondamentale la realizzazione di un intervento di qualità e tecnicamente valido, nel rispetto del miglior rapporto fra i benefici e i costi globali di costruzione, manutenzione e gestione. La progettazione è informata a principi di sostenibilità ambientale nel rispetto, tra l'altro, della minimizzazione dell'impegno di risorse materiali non rinnovabili e di massimo riutilizzo delle risorse naturali impegnate dall'intervento e della massima manutenibilità, miglioramento del rendimento energetico, durabilità dei materiali e dei componenti, sostituibilità degli elementi, compatibilità tecnica ed ambientale dei materiali ed agevole controllabilità delle prestazioni dell'intervento nel tempo sul progetto”*. In tal senso le soluzioni previste nel piano degli interventi sono state individuate in modo da soddisfare gli obiettivi più performanti in termini di mitigazione del rischio idraulico ed idrogeologico e, più in generale, di salvaguardia della vita umana, demandando al progettista le valutazioni sito specifiche finalizzate ad adottare la soluzione più idonea, ai sensi dell'articolo 15 sopra richiamato, tra le alternative progettuali, ovvero *“quella che presenta il miglior rapporto tra costi e benefici per la collettività, in relazione alle specifiche esigenze da soddisfare e prestazioni da fornire”*. I progettisti degli interventi dovranno altresì porre particolare cura

circa la cantierabilità delle opere, soprattutto nelle zone più impervie di monte, e sugli aspetti manutentivi che il nuovo Codice degli Appalti ne evidenzia la decisa e sostanziale importanza. Il progettista dovrà porre particolare cura nella scelta degli strumenti più idonei al monitoraggio delle opere in modo da affinare un sistema efficace di early warning. I contratti dei progettisti dovranno prevedere modalità, tempi e costi della calibrazione dei parametri una volta che i dispositivi saranno collaudati. Le fasi di sviluppo progettuali, come previsto dalle Norme Tecniche delle Costruzioni e dalla relativa Circolare del 2019, dovranno considerare i risultati dei test di prova per pali di fondazione e per i sistemi di ancoraggio (prove di pull out) in modo da calibrare adeguatamente il progetto esecutivo. In particolare, al termine della stesura del progetto di fattibilità tecnica ed economica il progettista dovrà prevedere i test di prova su un numero adeguato di pali o ancoraggi per meglio definire il progetto esecutivo.

In ottica di circolarità e sostenibilità ambientale i progettisti dovranno privilegiare le scelte connesse al riuso del materiale lapideo, tufo verde nelle sue varie sfumature cromatiche, derivante dai disaggi o dal trasporto dell'evento del 26 novembre, ad esempio per il rivestimento di opere in c.c.a. oppure per la realizzazione delle gabbionate. L'azione prevista dall'ordinanza 6 del Commissario Delegato si pone giustappunto nell'ottica di garantire un riuso dei legnami e delle pietre da parte di privati cittadini. Ai fini della compatibilità paesaggistica delle opere di difesa idraulica ed idrogeologica occorre precisare che la realizzazione di briglie, soglie e muri di sostegno e contenimento è prevista in c.c.a. (calcestruzzo cementizio armato) perché la richiesta di resistenza per le opere di difesa in concomitanza dei fenomeni critici che si possono attivare, come è stato dimostrato dall'evento del 26 novembre e come si evince dai grafici delle curve di possibilità climatica del capitolo 3, non è assolutamente compatibile con opere in muratura portante. Certamente il tufo isolano dovrà essere utilizzato come rivestimento, con disposizione regolare degli elementi e non ad opus incertum, delle porzioni a vista delle strutture in c.c.a..

L'intensità degli eventi meteorici futuri è attestata da lavori internazionali così come ribadito dall'IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) nel "Sixth Assessment Report". Al fine di tenere in seria considerazione gli effetti dei cambiamenti climatici sulle

opere previste nel piano, il Commissario Delegato ha di recente firmato un accordo con la BEI per arricchire di ulteriori contributi scientifici l'analisi qui presentata grazie allo studio degli effetti indotti dai cambiamenti climatici su piccola scala delle intensità degli eventi meteorici sull'isola di Ischia. Il lavoro che la BEI sta iniziando a trarre sarà il frutto delle attività di un gruppo di esperti di livello internazionale in merito alla messa a punto di modelli di previsione su scala spazio-temporale molto ridotta, calibrati sull'orografia e le caratteristiche micro climatiche del sistema idrosfera e atmosfera dell'isola. Il modello idrologico che ne deriverà potrà essere utilizzato dal progettista per il calcolo delle portate critiche come previsto dalle NTC2018.

Nell'ambito delle analisi benefici/costi, come più volte ribadito nel capitolo 8, il progettista dovrà sempre valutare il doppio scenario, con e senza delocalizzazione di edifici ed infrastrutture nei casi in cui la loro sicurezza dovesse essere compromessa. Non è escluso che la gravosità degli interventi di mitigazione sia spesso eccessivamente onerosa se confrontata con il costo delle delocalizzazioni. Lo sforzo dovrà tendere verso il contemperamento dei pubblici interessi con quelli dei privati.

La valutazione economica che si riporta nella tabella successiva è stata redatta per ciascun intervento e tiene conto di parametri derivati da interventi simili includendo le maggiorazioni tipiche dell'isola di Ischia che secondo il prezzo della Regione Campania 2023 sono dell'ordine del 15%. Le stime parametriche includono la formazione delle vie di accesso ai cantieri, le occupazioni temporanee delle aree interessate dalle opere di cantierizzazione e la messa in pristino delle stesse, e più in generale la gravosità delle condizioni per una corretta gestione del cantiere. In particolare, per gli interventi più a monte sono state considerate le maggiorazioni legate al trasporto in elicottero delle materie prime e delle risorse umane. Quanto al trasporto dei materiali detritici presenti negli alvei verso destinazioni altre, che non siano quelle di cantiere, sono state prese come riferimento parametrico le risultanze dello studio sul riuso che ha prodotto, in fase di revisioni sulla base delle indicazioni della struttura commissariale, il soggetto attuatore SMA. I costi parametrici tengono conto altresì in larga misura delle maggiorazioni relative alle lavorazioni in quota e alle lavorazioni negli spazi confinati.

9.1 TABELLA DI SINTESI

ALVEO	CODICE	DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	IMPORTO €
Puzzillo	P01	Sistemazione del reticolo idraulico e vasca di espansione di circa 1000 mc	3.000.000
Puzzillo	P02	Intervento con 10 soglie; Sistemi soil nailing con reti aderenti per i pendii maggiormente acclivi, rinverdimento incluso. Intervento di rinforzo lungo circa 200 metri circa di fondo alveo e altezza di pendii fino a 20 metri comprensivo di pulizia biomassa e disgaggi.	3.000.000+ 2.000.000 + 2.000.000 = 7.000.000
Puzzillo	P03	Vasca con griglie a pettine sul lato di valle	1.000.000
		Totale interventi Pozzillo	11.000.000 €
Fasaniello	F01	Intervento di rinforzo di circa 250 metri lungo l'asse longitudinale del fondo alveo; asportazione di circa 2000 mc di materiale, installazione di griglie.	5.000.000
Fasaniello	F02	Intervento di rinforzo corticale con estensione di circa 100 metri di lunghezza e circa 50 metri di sviluppo di pendio, pulizia biomassa ed eventuali disgaggi	2.000.000
Fasaniello	F03	Intervento di realizzazione briglie su circa 200 metri di alveo	3.000.000
Fasaniello	F04	Realizzazione vasca di accumulo	1.000.000
Fasaniello	F05	Intervento di disgaggio e trasporto della biomassa	1.000.000
Fasaniello	F06	Pulizia alveo e realizzazione briglie; ripristino briglie esistenti qualora possibile	3.000.000
Fasaniello	F07	Interventi di consolidamento di circa 4000 mq di pendio	1.000.000
Fasaniello	F08	Realizzazione vasca di accumulo	1.000.000
Fasaniello	F09	Realizzazione barriera e soglie	3.000.000
Fasaniello	F10	Pulizia alveo, rimozione materiale ed interventi di stabilizzazione pendii	2.000.000
		Totale interventi Fasaniello	22.000.000 €
Campomanno	C01	Ripristino terrazzamenti e regimentazione acque con briglie	2.000.000
Campomanno	C02	Realizzazione di briglia a pettine e interventi corticali	1.000.000
		Totale interventi Campomanno	3.000.000 €
Negroponte	N01	Rifacimento briglia, rimozione materiale e sistemazioni	2.000.000
Negroponte	N02	Realizzazione gradonata, briglie, stabilizzazione versanti e pulizia biomassa con eventuali disgaggi	6.000.000
		Totale interventi Negroponte	8.000.000 €

ALVEO	CODICE	DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	IMPORTO €
Sinigallia	S01	Vasca di espansione di circa 5000 mc, pulizia biomassa ed eventuali disaggi	6.000.000
Sinigallia	S02	Stabilizzazione alveo e ripristino viabilità	2.000.000
Sinigallia	S03	Realizzazione briglie a pettine	1.000.000
Sinigallia	S04	Realizzazione briglie, recupero briglie esistenti e briglia a gradoni	7.000.000
Sinigallia	S05	Vasca di espansione con briglia selettiva	1.000.000
Sinigallia	S06	Realizzazione vasca espansione con briglia selettiva e recupero briglie esistenti	2.000.000
		Totale interventi Sinigallia	19.000.000 €
Celario/Fontana	CE01	Rimozione dei massi in equilibrio precario nel tratto montano della cava Celario. Già finanziato negli interventi del soggetto attuatore SMA	-
Celario/Fontana	CE02a/ CE02b	Intervento di riduzione del rischio da flussi detritici in località Celario	9.000.000
Celario/Fontana	CE03	Inalveazione della cava a valle della località Celario fino all'incrocio con via Celario	4.000.000
Celario/Fontana	FO01	Inalveazione della cava a valle dell'incrocio con via Celario	3.000.000
Celario/Fontana	FO02	Realizzazione di una vasca di laminazione e di dissipazione nel tratto medio della cava Fontana	4.000.000
Celario/Fontana	FO03	Sistemazione del collegamento idraulico tra la via Santa Barbara e la cava Fontana.	2.000.000
Celario/Fontana	FO04	Ripristino e consolidamento delle briglie esistenti nella cava Fontana a monte dell'intersezione con la cava Sinigallia.	4.000.000
		Totale interventi Cava Celario e Fontana	26.000.000 €
Cuccufriddo	CU01	Sistemazione e pulizia del tratto montano della cava Cuccufriddo	1.000.000
Cuccufriddo	CU02	Interventi di mitigazione dell'impatto dei flussi detritici della cava Cuccufriddo.	4.000.000
Cuccufriddo	CU03	Miglioramento dell'efficienza idraulica del tratto tombato alla foce della cava Cuccufriddo	2.000.000
Cuccufriddo	CU04	Sistemazione idraulica della cava Cuccufriddo a valle fino alla tombatura	2.000.000
		Totale interventi Cava Cuccufriddo	9.000.000 €
Monaco	MO01	Pulizia e ripristino delle briglie nel tratto montano della cava Del Monaco	2.000.000

ALVEO	CODICE	DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	IMPORTO €
Monaco	MO02	Sistemazione idraulica della cava Del Monaco fino alla confluenza con la cava La Rita	4.000.000
Monaco	MO03	Briglie aperte nel tratto della cava Del Monaco subito a monte della confluenza con la cava La Rita	5.000.000
Monaco	MO04	Sistemazione dei fossi minori presenti nel bacino della cava La Rita-Cuccufreddo-Del Monaco	2.000.000
		Totale interventi Cava del Monaco	13.000.000 €

INTERVENTI A SCALA COMUNALE			
	CODICE	DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	IMPORTO €
	IC01	Cartografia di base	100.000
	IC02	Sistemazione agronomico-forestale del tratto di cornice sommitale	1.000.000
	IC03	Interventi di mitigazione del rischio da caduta di blocchi dai costoni delle zone sommitali	2.000.000
	IC04	Regimazione del deflusso superficiale a monte del centro abitato	2.000.000
	IC05	Interventi per la riduzione del rischio delle frazioni alle pendici dell'Epomeo	2.000.000
		Totale interventi su scala comunale	7.100.000 €

ULTERIORI INTERVENTI LETT. D COMMA 2 ART. 25 DEL D.LGS 1 2018			
CODICE	COMUNE	DESCRIZIONE SINTETICA DEGLI INTERVENTI	IMPORTO €
CD-CT-2-003	Casamicciola Terme	Completamento dell'intervento di consolidamento di versante sovrastante l'Alveo Negroponte, per un fronte di circa mt 70,00 ed un'altezza media di mt 17,00.	517.064,91
CD-CT-2-004	Casamicciola Terme	Completamento dell'intervento di consolidamento versante a monte ed a valle Il traversa Santa Barbara, per un fronte di circa mt 300 ed un'altezza di mt 30,00	786.522,56
CD-CT-2-006	Casamicciola Terme	Completamento dell'intervento di consolidamento costone al di sopra della via Eddomade-Casa Siano per una lunghezza di circa mt ed un'altezza di circa mt 40,00	68.530,12 €
CD-CT-2-007	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento del costone sottostante la strada Viale Paradisiello e soprastante la strada Rampe Paradisiello, per una lunghezza di circa mt 80,00 ed un'altezza di mt 40,00	94.805,82

CD-CT-2-008	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento costone sottostante la strada via Selva Pera, per una lunghezza di circa mt 50,00 ed un'altezza di circa	174.055,07
CD-CT-2-010	Casamicciola Terme	Completamento consolidamento via Vicinale Castanito località Piccola Sentinella	496.967,77
CD-CT-2-019	Casamicciola Terme	Completamento risistemazione marciapiedi e parapetti via Santa Barbara e parcheggio Celario e risistemazione canalone di captazione delle acque meteoriche	1.400.000,00
CD-CT-2-020	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'alveo Senigallia	729.065,64
CD-CT-2-021	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'alveo Cava Fontana – Vallone Selva	653.048,01
CD-CT-2-022	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica degli alvei Negroponte (foce), Fasaniello o Ervaniello	896.699,15
CD-CT-2-023	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'Alveo Pozzillo o Cava Baino	707.107,40
CD-CT-1-029	Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza: consolidamento delle scarpate laterali del torrente cuccufriddo incrocio con via Arenale e via Montecito, nonché messa in sicurezza delle strade coinvolte - Primi interventi di messa in sicurezza	400.000,00
CD-CT-2-029	Casamicciola Terme	Completamento : consolidamento delle scarpate laterali del torrente cuccufriddo incrocio con via Arenale e via Montecito, nonché messa in sicurezza delle strade coinvolte	1.222.423,39
CD-CT-2-101	Casamicciola Terme	consolidamento delle scarpate laterali dell'alveo la Rita e cava del Monaco	2.500.000,00
CD-CT-2-102	Casamicciola Terme	intervento di messa in sicurezza del cotone a ridosso abitazioni su via Tommaso Morgera	500.000,00
CD-CT-2-103	Casamicciola Terme	intervento di messa in sicurezza del cotone su via Dott. Mennella incombente sulle abitazioni Piazza Marina	500.000,00
CD-CT-2-039	Casamicciola Terme	Completamento intervento di consolidamento costone sovrastante via Mortito	112.426,19
CD-CT-2-104	Casamicciola Terme	Opere di completamento alla portualità turistica presso il porto di Casamicciola Terme	3.000.000,00
ULTERIORI INTERVENTI LETT. D COMMA 2 ART. 25 DEL D.LGS 1 2018			14.758.716,03

Totale interventi arrotondato	133.000.000 €

La stima complessiva degli interventi per il comune di Casamicciola è di **€ 133.000.000,00**.

Come evidenziato nel capitolo 8, gli interventi di mitigazione del rischio idraulico e da frana per gli altri 5 comuni dell'isola di Ischia, Lacco Ameno, Forio, Serrara Fontana, Barano e Ischia, sono qui di seguito elencati e ammontano a circa di **€ 70.000.000,00**. La struttura commissariale ha recepito tali interventi senza avere avuto modo, almeno per questa prima fase del piano degli interventi, di sviluppare una valutazione scientifica di merito per verificarne in dettaglio l'efficacia. La Legge 9/2023 prevede che il primo piano stralcio dell'Autorità di Bacino riguarderà il territorio del comune di Casamicciola così come il piano di ricostruzione riguarderà le aree danneggiate dei tre comuni di Casamicciola, Lacco Ameno e Forio. Invero, durante l'adozione del piano stralcio dell'Autorità di Bacino per il comune di Casamicciola e nelle successive fasi di adozione del piano di ricostruzione, la struttura commissariale provvederà a sviluppare ulteriori approfondimenti scientifici in merito agli interventi di mitigazione del rischio da frana ed idraulico per le aree del sisma 2017, ovvero per la porzione del comune di Lacco Ameno e di Forio coinvolti dal sisma e non interessati dagli interventi di questa versione.

9.2 TABELLA CON INTERVENTI ALTRI COMUNI

CODICE	Comune	DESCRIZIONE	IMPORTO
CD-LA-2-004	Lacco Ameno	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del Costone incombente su via nuova Montevico	2.509.852,66 €
CD-LA-2-005	Lacco Ameno	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del costone orientale di Montevico	3.665.910,96 €
CD-LA-2-006	LACCO AMENO	Completamento delle opere di messa in sicurezza e consolidamento del costone settentrionale di Montevico	1.075.800,00 €
CD-LA-2-007	Lacco Ameno	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del costone retrostante la tribuna del campo sportivo comunale	1.324.100,00 €

CD-LA-2-008	Lacco Ameno	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del costone meridionale al campo sportivo comunale	492.500,00 €
CD-LA-2-015	Lacco Ameno	Completamento dell'intervento di messa in sicurezza e consolidamento del costone incombente sulla spiaggia di Varuliello	885.000,00 €
CD-BI-2-011	Barano d'Ischia	Lavori per la messa in sicurezza dei costoni latitanti la strada pubblica di Via Schiappone (fase 2)	700.000,00 €
CD-BI-2-012	Barano d'Ischia	I STRALCIO FUNZIONALE - Lavori di somma urgenza per la messa in sicurezza dei costoni spiaggia dei Maronti	2.000.000,00 €
CD-BI-2-013	Barano d'Ischia	Completamento dei lavori di Somma urgenza per il ripristino della funzionalità idraulica dell'Alveo Cava Zaffarano	2.705.000,00 €
CD-FO-2-008	Forio	CONSOLIDAMENTO VERSANTI INCOMBENTI SULLA LOCALITA' CORBARO	3.500.000,00 €
CD-FO-2-012	Forio	SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA ALVEO PUNTA CHIARITO SOTTOSTANTE ALL'AREA ARCHEOLOGICA	2.542.400,00 €
CD-FO-2-013	Forio	MESSA IN SICUREZZA COSTONE E STRADA SOVRASTANTE - stralcio funzionale 1	12.000.000,00 €
CD-IS-2-005	ISCHIA	Realizzazione di muro di contenimento con fondazione in cls	848.000,00 €
CD-IS-2-007	ISCHIA	I STRALCIO FUNZIONALE - Verifica della stabilità del costone, indagini e rilievi. lavori di decespugliamento e taglio arbusti. Opere di mitigazione del rischio idrogeologico mediante: -sistemazione degli impluvi naturali con realizzazione di briglie, fascinate e viminate; -realizzazione di paracolte posizionate a varie quote nel rispetto della morfologia del versante; -sistemazione di camminamenti e ripristino dei terrazzamenti ove presenti, mediante rifacimento dei muri di contenimento "a secco"; -canalizzazione per l'allontanamento delle acque di ruscellamento superficiali che si raccolgono al piede del costone; -protezione dei bordi e dei solchi creati con la frana del maggio 2006, mediante applicazione di reti e biostuoie con integrazione della vegetazione esistente; -realizzazione di bacino in terra armata per la raccolta di eventuali colate	7.000.000,00 €
CD-IS-2-008	ISCHIA	Verifica della stabilità del costone e lavori di decespugliamento e taglio arbusti e intervento di contenimento del costone mediante geostuoia e rete armata a doppia torsione ancorata	1.700.000,00 €
CD-IS-2-009	ISCHIA	Lavori di manutenzione straordinaria alvei presenti sul territorio comunale: alvei ubicati presso TRAVERSA VIA ARENELLA / VIA TIRABELLA	960.000,00 €
CD-IS-2-011	ISCHIA	Lavori di manutenzione straordinaria alvei presenti sul territorio comunale: alveo ubicato presso VIA CRETAIO	2.220.000,00 €
CD-IS-2-012	ISCHIA	Lavori di manutenzione straordinaria alvei presenti sul territorio comunale: alveo ubicato presso ZONA PIANO LIGUORI (VIA CARAUCIO)	1.650.000,00 €
CD-IS-2-013	ISCHIA	Lavori di manutenzione straordinaria alvei presenti sul territorio comunale: alveo ubicato presso CAVONE VIA CAMPAGNANO - SPIAGGIA CARTAROMANA	2.540.000,00 €

CD-SF-2-001	Serrara Fontana	Opere di contenimento del costone con applicazioni di reti paramassi con ancoraggi con profondità media, compresa applicazione di geostuoia ed utilizzo di elicottero per collocazione delle reti in sommità al costone.	1.105.000,00 €
CD-SF-2-002	Serrara Fontana	Realizzazioni di pareti di contenimento spondale in cls armato e rivestimento murario con pietre locali; applicazione di reti paramassi con relativa geostuoia per successivo inverdimento, lungo tutto il tratto e nelle due diramazioni .	2.430.000,00 €
CD-SF-2-003	Serrara Fontana	Realizzazione di tratti di muri di contenimento spondali, realizzazione di micropali a consolidamento di tratti viari e di costoni, installazione di reti paramassi.	3.500.000,00 €
CD-SF-2-004	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo	2.000.000,00 €
CD-SF-2-005	Serrara Fontana	Realizzazione di muri di contenimento alla base dei costoni e sovrastante applicazione di rete paramassi con geostuoia sulla parte superiore fino alla sommità del crinale.	1.510.000,00 €
CD-SF-2-006	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo	300.000,00 €
CD-SF-2-007	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo	800.000,00 €
CD-SF-2-008	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo.	700.000,00 €
CD-SF-2-009	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo.	1.500.000,00 €
CD-SF-2-010	Serrara Fontana	Lavori di manutenzione straordinaria, opere di regimentazione delle acque, completo ripristino della funzionalità idraulica dell'alveo.	2.500.000,00 €
CD-SF-2-011	Serrara Fontana	Realizzazione di muretti spondali, installazione di reti paramassi con chiodature profonde e non, applicazione di geostuoia per successivo inverdimento. Sottostante l'abitato di via lesca.	2.500.000,00 €
CD-SF-2-012	Serrara Fontana	Realizzazione di reti paramassi con geostuoia per successivo rinverdimento, con realizzazione di parte dei muretti spondali alla base per evitare fenomeni di scavo per ruscellamento.	450.000,00 €



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

Al Commissario Straordinario per la
Ricostruzione nei territori dell'isola d'Ischia
interessati dal sisma del 21 agosto 2017

OGGETTO: Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione ex art. 5-ter della Legge 9/2023.

Relazione inerente agli interventi lettera b) art. 25 del Codice di protezione civile inclusi nel Primo piano interventi ex OCDPC 948/2022

L'art. 5-ter (Piano commissariale di interventi urgenti per la sicurezza e la ricostruzione) del Decreto-Legge 3 dicembre 2022, n. 186 convertito, con modificazioni, dalla legge 9 del 27 gennaio 2023, al fine di garantire, nell'isola di Ischia, il necessario coordinamento tra gli interventi urgenti di messa in sicurezza idrogeologica del territorio e di ripristino delle infrastrutture e degli edifici pubblici, prevede che il Commissario straordinario di cui all'articolo 17 del decreto-legge 28 settembre 2018, n. 109, convertito, con modificazioni, dalla legge 16 novembre 2018, n. 130, approva, con ordinanza, un piano di interventi urgenti riguardanti le aree e gli edifici colpiti dall'evento franoso del 26 novembre 2022 nel comune di Casamicciola Terme, utilizzando a tale scopo anche gli esiti delle indagini e gli studi prodotti in attuazione di quanto previsto dall'articolo 1 dell'ordinanza del Capo del Dipartimento della protezione civile n. 951 dell'11 dicembre 2022, pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 293 del 16 dicembre 2022.

La presente nota è redatta quale contributo al Commissario straordinario per la ricostruzione nei territori dell'isola d'Ischia interessati dal sisma del 21 agosto 2017, ai fini della redazione del piano previsto dalla legge n.9/2023. Essa descrive i contenuti del primo piano di interventi urgenti redatto dal Commissario delegato e riporta tutti gli interventi di cui alle lettere a) e b) dell'articolo 25 comma 2 del D.Lgs n.1/2018, già eseguiti o in corso di esecuzione, la cui analisi è un necessario punto di partenza per strutturare la programmazione degli ulteriori interventi di cui alle lettere d), e) ed f) componenti il piano ex art. 5-ter della Legge 9/2023.



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

In attuazione di quanto disposto con OCDPC n. 948 del 30 novembre 2022 recante “Primi interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nel territorio dell'isola di Ischia (NA), a partire dal giorno 26 novembre 2022”, il Commissario Delegato ha predisposto un primo piano degli interventi urgenti definitivamente approvato dal Capo del Dipartimento della protezione civile in data 3 marzo 2023, per un importo pari a € 56.167.678,00.

Tale Piano è composto da diverse voci di spesa riguardanti:

1. Interventi di somma urgenza di cui alle lettere a) e b) art. 25, comma 2 del D.Lgs 1/2018 già approvati nel Primo Piano degli Interventi Urgenti e Ulteriori Interventi di cui alle lettere a) e b) art. 25, comma 2;
2. Interventi di cui alla lettera a) art. 25, comma 2;
3. Assistenza alberghiera e CAS art.2 OCDPC n. 948 (fino al 31 maggio 2023 - I semestre);
4. Supporto Centri di Competenza art.1 comma 3 OCDPC n.951/22;
5. Lavoro straordinario artt.3 e 5 OCDPC 951/22 (primi 60 gg);
6. Prosecuzione oneri prestazioni lavoro straordinario (ulteriori 120 gg);
7. Spese Organizzazioni di Volontariato (art.7 OCDPC 948/22);
8. Gestione Rifiuti art.5 OCDPC n. 948/22;
9. Misure rafforzamento capacità operativa comune di Casamicciola Terme;
10. Contratti n.5 unità (art.6 comma 1 OCDPC n. 951/22);
11. Spese di missione (art.6 comma 2 OCDPC n. 951/22);
12. Realizzazione del Presidio Territoriale (art.1 OCDPC n. 954/22);
13. Supporto specialistico per redazione Piano Protezione Civile (art.2 OCDPC n.954/22);
14. Nomina del Vice-commissario (art.8 OCDPC n.951/22);
15. Supporto individuazione interventi lettera d) art. 25, comma 2 del D.Lgs 1/2018;
16. Attività tecniche per il rilievo del danno;
17. Ulteriori professionalità tecniche ed amministrative (art.5 comma 4 OCDPC n.951) e indennità per Dirigenti e/o Titolari di P.O (art.3 comma 2 della OCDPC n.951/22);



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

18. Spese di missione al personale utilizzato per l'Emergenza (art.5 comma 3 OCDPC n.951/22);
19. Prime spese trasporto marittimo;
20. Spese funerarie (art.9 OCDPC n. 948/22);
21. Spese al personale del corpo dei VVF utilizzato per l'Emergenza.

La prima voce di spesa su indicata (1. interventi di cui alle lettere a) e b) art. 25, comma 2 del D.Lgs 1/2018), contiene tutti gli interventi di somma urgenza proposti da parte dei soggetti attuatori - *Regione Campania, Città Metropolitana di Napoli, Comune di Casamicciola Terme, Comune di Lacco Ameno, Comune di Forio, Comune di Ischia, Comune di Barano, Comune di Serrara Fontana, Azienda Multiservizi Casamicciola Srl (AMCA) e S.M.A. Campania SpA* - nominati con Ordinanza n.1 del Commissario delegato, volti, utilizzando la nomenclatura dell'art.25 comma 2 del D.Lgs n.1/2018:

- a) al soccorso ed all'assistenza alla popolazione interessata dagli eventi, ivi comprese le misure di cui all'articolo 2 dell'ordinanza stessa, oltre alla rimozione delle situazioni di pericolo per la pubblica e privata incolumità;
- b) al ripristino della funzionalità dei servizi pubblici e delle infrastrutture di reti strategiche, alle attività di gestione dei rifiuti, delle macerie, del materiale vegetale, alluvionale delle terre e rocce da scavo prodotti dagli eventi, nonché alla realizzazione delle misure volte a garantire la continuità amministrativa nel territorio interessato, anche mediante interventi di natura temporanea.

Essi sono stati in un primo momento individuati in un numero pari a 185, per un importo complessivo stimato pari ad € 46.654.174,94 così tipologicamente suddiviso:

- rimozione, trasporto e deposito del materiale franato per un importo di €14.238.079,13;
- disaggancio massi pericolanti e rimozione di materiale in prossimità delle strade per un importo di €3.367.102,10;
- ripristino della viabilità e messa in sicurezza costoni per un importo di €16.768.178,58;
- disostruzione e pulizia degli alvei per il deflusso delle acque per un importo di €8.121.815,13;
- il ripristino degli impianti di illuminazione di pubbliche vie e della funzionalità dei



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

sottoservizi per un importo di €2.987.000,00.

La complessità sottesa all'attuazione di diverse operazioni di messa in sicurezza, correlata alla necessità di dare urgente e immediato avvio ai lavori, ha richiesto la suddivisione degli interventi in due fasi:

- una Fase 1 - Interventi di immediata esecuzione interamente coperti finanziariamente dal primo piano di interventi composto da:
 - interventi di somma urgenza indicati dai Soggetti attuatori di cui alle lettere a) e b) dell'art. 25 comma 2 del decreto legislativo n.1/2018;
 - interventi di maggiore complessità di cui alla lett. b) del medesimo decreto legislativo che rivestono carattere di somma urgenza ma che necessitano di una realizzazione per step successivi. In questa fase sarà realizzato completamente il primo step comprensivo dei servizi tecnici necessari alla sua esecuzione e lo studio di fattibilità per la realizzazione dell'intro intervento.
- una Fase 2 – Interventi di somma urgenza di maggiore complessità per i quali è stato eseguito, nella fase precedente, una parte dell'intervento e le attività necessarie di progettazione. Tale fase, costituita da 63 interventi, è stata stimata in via presuntiva circa cento milioni di euro.

Sia l'elenco degli interventi di Fase 1 (185 interventi) sia quello di Fase 2 (63 interventi) sono stati inviati al Dipartimento di Protezione civile al fine di dare completezza al quadro conoscitivo raggiunto e permettere una pianificazione di eventuali stanziamenti di spesa ulteriori rispetto ai primi cinquantasei milioni di euro.

Nei mesi intercorsi dall'approvazione del primo piano degli interventi al DPC, la cosiddetta Fase 1 e, in misura superiore, la Fase 2, sono state ulteriormente approfondite tenendo conto delle necessità segnalate dai soggetti attuatori e di ulteriori approfondimenti che hanno determinato una migliore suddivisione degli interventi rientranti tra quelli della lett. b) dell'articolo 25 comma 2 del DLgs 1/2018, specificatamente rientranti nella sfera attuativa del Commissario Delegato ex OCDPC 948/2022, da quelli rientranti tra quelli della lett. d) afferenti, invece, alle competenze del Commissario Straordinario.



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

Il criterio alla luce del quale sono stati rianalizzati gli interventi elencati nella Fase 1 e nella Fase 2 su descritte, al netto dei necessari interventi di pulizia, disgaggio dei massi e rimozione dei residui vegetali e lapidei trasportati a valle il 26 novembre 2022 e i giorni immediatamente successivi, ha tenuto conto del ripristino delle condizioni pre-evento:

- sono rientrati nella casistica di cui alla lett. b), pertanto, gli interventi su strade e relativi accessori viari, su manufatti quali sottoservizi, muri di sostegno e sistemi di ritegno già presenti alla data del 26 novembre 2022, inerenti riparazione del danno e ripristino e rifacimento, anche completo, dei manufatti su indicati, compreso, ove necessario, tutti gli adeguamenti normativi utili a consentire la loro rifunzionalizzazione. Sono, inoltre, previsti gli interventi messa in sicurezza corticale di alcuni versanti;
- sono rientrati nella casistica di cui alla lett. d) tutti gli interventi di implementazione e adeguamento dei sistemi fognari, di riduzione di rischio residuo sugli alvei e di consolidamento dei costoni.

Nel dettaglio, gli interventi previsti di cui alla lett. b) dell'articolo 25 comma 2 del D.Lgs 1/2018, riguardano:

Comune di Casamicciola Terme:

- la rimozione, il trasporto e lo smaltimento dei fanghi riversati sulle strade a seguito dell'evento del 26 novembre 2022 e in particolare Piazzale dell'Ancora; Via Pio Monte della Misericordia, Piazza Bagni, Via Santa Barbara;
- intervento di rimozione di massi pericolanti e disgaggio in località Celario;
- il rifacimento dell'impianto di pubblica illuminazione, notevolmente danneggiato per effetto dell'evento franoso, in particolare nell'area sottostante il piazzale del Celario;
- il ripristino delle condizioni ante evento alluvionale nel tratto viario tra Piazza Bagni e Piazzale Anna de Felice (ex piazzale Ancora) mediante il ripristino della fontana decorativa, del rifacimento delle aiuole, dei marciapiedi, del muro di contenimento del parcheggio di Piazza Bagni, dei parapetti, delle ringhiere e degli arredi urbani divelti;
- intervento di messa in sicurezza della ex SS270 – Isola Verde (via Tommaso Morgera), che durante gli eventi metereologici del 26 novembre 2022, è stata interessata dalla frana



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

della scarpata lato mare al km 26+100 e Casa Cantoniera. Tale strada, nell'ambito del sistema di arterie stradali ad anello che garantisce la connessione tra i Comuni dell'Isola d'Ischia, rappresenta il tratto viario di più agevole e rapida percorribilità per il collegamento tra il Comune di Casamicciola Terme e quelli limitrofi di Lacco Ameno, Forio e Ischia, assumendo altresì particolare rilevanza strategica in quanto principale arteria per il raggiungimento dell'unico presidio ospedaliero presente sull'Isola, ubicato nel Comune di Lacco Ameno.

L'intervento prescelto è quello della stabilizzazione del versante mediante l'utilizzo di geocompositi quali geostuoie rinforzate o materassi in rete metallica, ben ancorati al pendio attraverso veri e propri ancoraggi che saranno presenti anche nella zona di testata ove oltre ad una cordolatura, saranno predisposti anche adeguati recapiti delle acque di circolazione superficiale;

- sono previsti interventi di pulizia, di disaggio di massi instabili e di rimozione detriti propedeutici al successivo intervento di consolidamento e di ripristino della funzionalità idraulica e la stabilizzazione corticale lungo diversi alvei distribuiti sul territorio comunale e nello specifico:
 - Versante a valle di Via Campomanno sovrastante l'Alveo Negroponte;
 - Versante a monte e a valle della II traversa Santa Barbara;
 - Alveo Senigallia;
 - Alveo Cava Fontana – Vallone Selva;
 - Alveo Cava Fasaniello o Ervaniello;
 - Alveo Pozzillo o Cava Baino;
 - Costone sulla Via Eddomade;
 - Costone tra via Rampe Paradisiello e Viale Paradisiello;
 - Costone sulla via Selva Pera;
 - Costone località Valle del Cotto;
 - Via Vicinale Castanito località Piccola Sentinella altezza Terme Pio Monte della Misericordia;
 - Costone sovrastante via Monte della Misericordia;



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

- Costone sovrastante via Mortito;
 - Consolidamento di Via Vicinale Castanito località Piccola Sentinella altezza Terme Pio Monte della Misericordia;
 - Consolidamento di costone sovrastante via Monte della Misericordia;
 - Consolidamento di costone sovrastante via Mortito;
- un ulteriore macro-categoria è quella relativa al consolidamento dei muri di contenimento, essenziali ai fini del ripristino delle infrastrutture di reti strategiche, gli interventi previsti riguardano:
 - Consolidamento di muro di contenimento lungo Corso Vittorio Emanuele tra il civico n. 68 e n. 74;
 - Consolidamento di muro di contenimento sulla strada corso Vittorio Emanuele per una lunghezza di circa 50,00 metri;
 - Intervento di ricostruzione muro di contenimento alla strada via Celario;
 - Intervento muro di contenimento sulla strada via Epomeo in prossimità dell'Alveo Torrente Cuccufriddo;
 - Consolidamento di muro di contenimento e recinzione Corso Vittorio Emanuele;
 - sono inoltre previsti interventi di ripristino e/o implementazione degli impianti fognari finalizzati alla regimentazione delle acque meteoriche lungo vari tratti stradali del comune di Casamicciola (Via Roma, piazza dott. Verde, Via Sassolo, Via Castanito, via dott. Morgera, via De Rivaz, via Eddomande, via Marina, Piazza Marina, via Mortito, via Santa Barbara e parcheggio Celario).
 - ulteriori interventi riguardano infine la risistemazione dei marciapiedi e dei parapetti su via Santa Barbara e parcheggio Celario e la bonifica del Bosco della Maddalena.

Comune di Barano

- messa in sicurezza provvisoria della SP155, SP143 tratto via Duca degli Abruzzi e via Cretaio; via G. Mazzella, Via Casabona, Via Vicinale Cretaio, Via Angelo Migliaccio, Via Rosata;



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

- lavori di trasporto a discarica con relativi oneri di smaltimento di fango ostruente il parcheggio al Testaccio;
- interventi di ripristino e consolidamento dei muri di sostegno su via Giorgio Corafà; in Via Giuseppe Garibaldi, via Pendio del Gelso, , via Chiummano via Schiappone, per la quale successivamente dovrà essere previsto un intervento di messa in sicurezza dei costoni latitanti;
- pulizia di reti paramassi preesistenti nei pressi della spiaggia dei Maronti, per la quale successivamente dovrebbe essere previsto un intervento di messa in sicurezza dei costoni prospicienti;
- lavori volti alla mitigazione del rischio presso i canali Spigadosso, Cava Pallarito, i costoni prospicienti via Cufa, P.le Cretaio, via Chiummano, via La vecchia Pallarito, i costoni dei Cavoni, presso l'Alveo Cava Zaffarano.

Comune di Forio

- rimozione dei materiali franati sui terrazzamenti e sistemazione idrogeologica del reticolo idrografico - in località cava Scialicco, via cava Campo, via Corbaro, via Fumerie, via Pennanova;
- riempimento cavità sotterranea e ripristino sede stradale in via T. Cigliano;
- ripristino officiosità idraulica mediante la ricostruzione della sezione danneggiata, la, disostruzione e pulizia canale deflusso acque in località Pietre Rosse;
- opere difesa provvisoria in attesa di intervento definitivo presso località soccorso - Cava dell'Isola, località Sorgeto, località Punta Chiarito, località Corbaro, il bacino Piellero - Cava Campo, località Pennanova;
- rifacimento muro di contenimento in via Montecorvo, in via Spadara, via vicinale Baiola;
- Primi interventi di messa in sicurezza dei versanti Montenuovo e Chignole incombenti sull'abitato Monterone e localita' Passaventoin attesa di intervento definitivo dei costoni.

Comune di Ischia



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

- impianti di sollevamento acque meteoriche di Via De Rivaz, Via F. Buonocore, Via Pontano: primi interventi di riqualificazione e potenziamento;
- disostruzione e pulizia del canale deflusso acque in via De Rivaz, in Zona Mandra-Spiaggia dei Pescatori, Piazzale delle Alghe Ischia Ponte, Via Delle Vigne, Zona Campagnano - Loc. Pignatiello, Via Ca' Tavola e traverse, via Arenella, via Piano Liguori, via Cossa, in Via G.B. Vico e Trav. Via G.B. Vico e in Zona Campagnano - Via Torre;
- messa in sicurezza con opere provvisionali e ripristino muro di contenimento della strada in via Montagnone, in via Vecchia Campagnano;
- lavori di decespugliamento e taglio arbusti e intervento di contenimento in via Cossa, in via Nuova Cartaromana, in via Serbatoio, sentiero e strada denominata "Malupass", località Torre di Mezzo, via Cà Tavola e Traverse; località Piano Liguori, Monte Vezzi e traverse;
- protezione dei bordi e dei solchi creatisi con la frana del maggio 2006, mediante applicazione di reti e biostuoie con integrazione della vegetazione esistente;
- lavori di pulizia e manutenzione straordinaria dell'alveo denominato Rio Corbore (in parte tombato), alveo ubicato presso Via Cretaio, alveo ubicato presso zona Piano Liguori (Via Caraucio), presso Cavone via Campagnano - spiaggia Cartaromana e presso traversa via Arenella / via Tirabella, presso via Bosco dei conti - Nuova dei conti, presso traversa Montagnone, presso via delle Vigne e denominato cavone del Panzese e presso via pendio del Lapillo.

Comune di Lacco Ameno

- ripristino della guaina di impermeabilizzazione di alcuni edifici, che ospitano funzioni strategiche, danneggiata dalle forti piogge e dal vento;
- in corrispondenza di smottamenti di alcune scarpate prospicienti le strade, sono state effettuate opere di pulizia e accantonamento del materiale che ostruiva la viabilità, opere di transennamento per garantire la pubblica e privata incolumità e primi disgaggi in vari



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

tratti del territorio comunale, in corrispondenza della SP512 in località MonteVico e della SP 509;

- ripristino del muro crollato alle spalle degli spogliatoi del campo sportivo con la pulizia della scarpata retrostante gli spogliatoi e gli spalti e la sostituzione del serbatoio dell'acqua danneggiato;
- primi interventi di messa in sicurezza di alcuni costoni presenti sul territorio comunale, per i quali successivamente dovrà essere previsto (come richiesto anche dal Comune ha richiesto) un intervento di stabilizzazione definitivo, e nello specifico:
 - Costone incumbente su via nuova Montevico;
 - Costone orientale e settentrionale di Montevico;
 - Costone retrostante la tribuna del campo sportivo comunale;
 - Costone meridionale al campo sportivo comunale;
 - Costone incumbente su via Casamonte;
 - Costone incumbente su via FunderaCostone incumbente su via Provinciale Lacco fango;
 - Costone incumbente sulla spiaggia di Varuliello.
- messa in sicurezza e ripristino di alcuni muri di contenimento in corrispondenza di:
 - Vico I Torre e Vico II Torre
 - Via Prov.le Lacco Fango
 - Via Rosario

Comune di Serrara Fontana:

- in corrispondenza di smottamenti di alcune scarpate prospicienti le strade sono state effettuate opere di pulizia e accantonamento del materiale che ostruiva la viabilità, opere di transennamento per garantire la pubblica e privata incolumità e primi disgaggi in vari tratti del territorio comunale, Ex SS270 – Isola Verde, SP 202, SP478, SP112
- lavori di messa in sicurezza del costone di via Falanga e di quello prospiciente la EX SS270 Isola Verde – altezza Km 11 + 400 - (Via Gennaro Iacono)



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

- disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio e trasporto a discarica dei materiali nelle aree di seguito indicate, per le quali successivamente dovranno essere realizzate opere di contenimento del costone con applicazione di reti paramassi ancorate e relativa geo stuoia:
 - costoni dal monte della Torre di Sant'Angelo posto a ridosso di proprietà private sgomberate ed in adiacenza dell'area portuale;
 - costoni latistanti la via comunale via Pendio Oscuro. Trasporto a discarica dei materiali;
 - costoni latistanti la via comunale Casale;
 - costoni latistanti la via comunale via Martofa;
 - costoni latistanti la via comunale via Sant'Angelo;
 - costoni latistanti la via comunale via vecchia Epomeo.
- asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione dei detriti dal letto dell'Alveo Martofa Cuotto, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Trasporto a discarica dei materiali per i seguenti alvei, per i quali successivamente dovranno essere realizzati opere volte al ripristino della funzionalità idraulica:
 - Alveo Martofa Cuotto;
 - Alveo Cava Ruffano;
 - Alveo Fondolillo;
 - Alveo di Caravana Succhivo;
 - Alveo Cavapontina;
 - Alveo località Ciglio;
 - Alveo Cava Santa;
- opere di sistemazione idraulica al fine di evitare erosione al piede del costone su cui poggiano vari fabbricati in bilico e oggetto di sgombero in corrispondenza dell'Alveo Casale per il quale successivamente dovranno essere realizzate opere volte al ripristino della funzionalità idraulica.



Presidenza del Consiglio dei Ministri

Commissario Delegato per gli eccezionali eventi meteorologici verificatisi nei territori dell'Isola di Ischia il 26 novembre 2022 – ex OCDPC 948/2022

Gli interventi su descritti sono riportati, in dettaglio, nell'Allegato 1 alla presente nota nel quale sono indicati anche gli importi stanziati per ciascun intervento.

Appare opportuno precisare, che le valutazioni su riportate saranno oggetto di progressivo approfondimento in ragione dell'avanzamento delle operazioni di pulizia, disgaggio massi e rimozione dei detriti fangosi e, soprattutto, degli ulteriori approfondimenti progettuali che sono in fase di espletamento.

Il dirigente della struttura del Commissario
delegato ex OCDPC 948/2022

Ing. Antonio Longo



ANTONIO LONGO
24.04.2023 19:41:40
GMT+00:00

Comune Richiedente	Tipologia intervento e sintetica descrizione tecnica	INTERVENTO LETT. B
Barano d'Ischia	Lavori di rimozione di materiale franato - Rimozione del materiale franato con un mezzo meccanico e rimozione del masso roccioso previa frantumazione dello stesso in sito	1.220,00 €
Barano d'Ischia	SP 155, messa in sicurezza provvisoria	3.000,00 €
Barano d'Ischia	Fornitura di transennamento con elementi delimitanti ed eventualmente, contenitivi, a protezione di smottamenti prospicienti strade pubbliche	5.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori di Rimozione inerti	40.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori di Rimozione albero caduto con mezzi meccanici	3.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori di trasporto a discarica con relativi oneri di smaltimento di fango ostruente il parcheggio al Testaccio	3.000,00 €
Barano d'Ischia	Sistemazione del materiale franato e distaccato	50.000,00 €
Barano d'Ischia	Mitigazione del rischio consistente in interventi di decespugliamento, taglio arbusti ed eventuale sistemazione/realizzazione opere di contenimento dei fronti prospicienti strada carrabile	200.000,00 €
Barano d'Ischia	mitigazione del rischio consistente in interventi localizzati di messa in sicurezza di fronti rocciosi prospicienti strada carrabile	30.000,00 €
Barano d'Ischia	mitigazione del rischio con lavori di sistemazione di una porzione dei muri latitanti la strada pubblica via Giorgio Corafà	60.000,00 €
Barano d'Ischia	rinforzo del paramento murario a contenimento del terrazzamento	120.000,00 €
Barano d'Ischia	Mitigazione del rischio consistente in interventi di decespugliamento, taglio arbusti ed eventuale sistemazione/realizzazione opere di contenimento dei fronti prospicienti strada carrabile	180.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori per la messa in sicurezza dei costoni latitanti la strada pubblica di Via Schiappone (ripristino muri preesistenti) fase 1	80.000,00 €
Barano d'Ischia	Pulizia delle rete paramassi preesistenti -	800.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti all'mitigazione del rischio presso l'Alveo Cava Zaffarano-Prima pulizia di un tratto	320.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso il canale Spigadosso	456.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso presso Cava Pallarito	70.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso i costoni prospicienti la Pubblica via Cufa	100.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso presso i costoni prospicienti la strada Pubblica P.Le Cretaio	100.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso presso i costoni prospicienti la Via Chiummano	170.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso presso i costoni dei cavoni	200.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori volti alla mitigazione del rischio presso presso i costoni prospicienti la Via Vecchia Pallarito	70.000,00 €
Barano d'Ischia	SP143, messa in sicurezza provvisoria	5.000,00 €
Barano d'Ischia	sistemazione / realizzazione opere di contenimento,	140.000,00 €
Barano d'Ischia	Rimozioni materiali detritico, rifacimento parapetti, sistemazione opere di contenimento, ecc, ecc.	200.000,00 €
Barano d'Ischia	sistemazione / realizzazione opere di contenimento,	200.000,00 €
Barano d'Ischia	Lavori per la messa in sicurezza dei muri latitanti la strada pubblica via Pendio del Gelso	250.000,00 €
Casamicciola Terme	Assistenza operatori	200.000,00 €
Casamicciola Terme	Strade Comunali	224.811,37 €
Casamicciola Terme	Delimitazione della sede viaria, 1°disgaggio della scarpata al km 26+000 relativa alla frana in direz Lacco	200.000,00 €
Casamicciola Terme	Diversi interventi di pulizia della sede rotabile, con pulizia nel tratto della Casa cantoniera, 1°disgaggio della scarpata al km 26+000 relativa alla frana in direz Lacco	85.000,00 €
Casamicciola Terme	Ex SS 270 Isola Verde altezza km 28+800., rimozione rete, taglio arbusti, disgaggio parti di costone, rimozione materiale accumulato/detriti nel tempo e in occasione degli ultimi eventi, oltre pulizia di una parte della scarpata. Con uno sviluppo lineare per m.150 circa	30.000,00 €
Casamicciola Terme	Sp 123 Circumv.ne in Casamicciola	15.000,00 €
Casamicciola Terme	Ulteriori interventi, espletati e in corso, di rimozione e trasporto ai siti di stoccaggio provvisorio delle strade e spazi pubblici e privati dal fango e dai detriti a seguito della frana del ed interventi provvisionali di messa in sicurezza 26/11/2022, dell'art.25 comma 2, lett. a e b D.L. n.1 del 2 gennaio 2018	3.275.188,63 €
Casamicciola Terme	Ulteriori interventi, espletati e in corso, di rimozione e trasporto ai siti di stoccaggio provvisorio delle strade e spazi pubblici e privati dal fango e dai detriti a seguito della frana del ed interventi provvisionali di messa in sicurezza 26/11/2022, dell'art.25 comma 2, lett. a e b D.L. n.1 del 2 gennaio 2018	2.000.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza per il rifacimento impianto di pubblica illuminazione con sostituzione delle linee di alimentazione invase dai fanghi, dai pali danneggiati, dei corpi illuminanti, dei quadri elettrici in via SS270, piazzale Ancora, via Monte della Misericordia, via Guglielmo Sanfelice, corso Vittorio Emanuele, Piazza Bagni, via Ombrasco, corso Garibaldi, via Nizzola, piazzetta Nizzola, Il traversa Santa Barbara - art.25 comma 2, lett. b D.L. n.1 del 2 gennaio 2018	2.500.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento di versante sovrastante l'Alveo Negroponte, per un fronte di circa mt 70,00 ed un'altezza media di mt 17,00. - Primi interventi di messa in sicurezza	458.793,97 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento versante a monte ed a valle Il traversa Santa Barbara, per un fronte di circa mt 300 ed un'altezza di mt 30,00 -Primi interventi di messa in sicurezza	1.523.173,35 €
Casamicciola Terme	Ripristino condizioni ante eventi alluvionali tratto viario Piazza Bagni- Via Monte della Misericordia- Piazzale Anna de Felice (Piazzale Ancora) -Ripristino fontana decorativa, rifacimento aiuole, marciapiedi, muri di cinta, parapetti, ringhiere ed arredi urbani divelti	1.970.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento costone al di sopra della via Eddomade-Casa Siano per una lunghezza di circa mt ed un'altezza di circa mt 40,00 -Primi interventi di messa in sicurezza	159.903,62 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento del costone sottostante la strada Viale Paradisiello e soprastante la strada Rampe Paradisiello, per una lunghezza di circa mt 80,00 ed un'altezza di mt 40,00 - Primi interventi	221.213,58 €

Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento costone sottostante la strada via Selva Pera, per una lunghezza di circa mt 50,00 ed un'altezza di circa - Primi interventi di messa in sicurezza	626.545,75 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento costone località Valle del Cotto per una lunghezza di circa mt 50,00 ed un'altezza di circa mt 20,00 -Primi interventi di messa in sicurezza	561.152,73 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento via Vicinale Castanito località Piccola Sentinella	116.267,77 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento costone sovrastante via Monte della Misericordia per una lunghezza di circa mt 30,00 ed un'altezza media di circa mt. 10,00 -Primi interventi di messa in sicurezza	699.743,16 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza già previsto un primo intervento dal Genio Civile di Napoli, vedi nota prot. 14384 del 21/12/2022, che prevede la realizzazione una barriera paramassi per un importo complessivo stimato di € 105.850,00 - Via Mortito	2.140.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento di consolidamento muro di contenimento e recinzione Corso Vittorio Emanuele altezza Terme Pio Monte della Misericordia -Primi interventi di messa in sicurezza	164.181,01 €
Casamicciola Terme	Intervento di rifacimento muro di contenimento, con sovrastante parapetto in muratura, della strada C.so Vittorio Emanuele, altezza Hotel Nausica, per una lunghezza di circa mt. 50,00 ed un'altezza di circa mt. 2,50	850.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento di ricostruzione muro di contenimento sovrastante Corso Vittorio Emanuele tra il civico 68 e 74 per una lunghezza di circa m. 15,00 ed un'altezza di circa m. 3,00 - Primi interventi di messa in sicurezza	191.710,00 €
Casamicciola Terme	Intervento di ricostruzione muro di contenimento alla strada via Celario (oltre frana)	350.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento di ricostruzione muro di contenimento con sovrastante parapetto alla strada via Epomeo nel tratto in prossimità dell'Alveo Torrente Cuccufreddo, per una lunghezza di circa mt 40,00 ed un'altezza media di circa mt 3,00	850.000,00 €
Casamicciola Terme	Realizzazione impianto fognario con rifacimento pavimentazione e sede stradale e rifacimento muri di contenimento sulla strada via Terme la Rita -	816.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di risistemazione marciapiedi e parapetti via Santa Barbara e parcheggio Celario e risistemazione canalone di captazione delle acque meteoriche - Incluso gli oneri per la progettazione finalizzata al completamento dell'opera urgente di cui alla fase 2 del piano	150.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'alveo Senigallia -Primi interventi di messa in sicurezza	264.805,83 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'alveo Cava Fontana – Vallone Selva - Primi interventi di messa in sicurezza	258.048,71 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica degli alvei Negroponte (foce), Fasaniello o Ervaniello - Primi interventi di messa in sicurezza	309.706,59 €
Casamicciola Terme	Intervento di consolidamento e ripristino funzionalità idraulica dell'Alveo Pozzillo o Cava Baino	262.853,99 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza ripristino ed implementazione impianto fognario per regimentazione acque meteoriche Via Roma, Piazza dott. Verde, Via Sassolo, Via Castanito, via dott. Morgera, Via De Rivaz -	1.380.000,00 €
Casamicciola Terme	Implementazione impianto fognario per regimentazione acque a monte della scarpata di via Eddomade. Intervento in via vicinale castanito, via Eddomade via principessa margherita piazza marina -	1.568.000,00 €
Casamicciola Terme	Implementazione impianto fognario per regimentazione acque ss270 e piazza marina - Primi interventi di messa in sicurezza	200.000,00 €
Casamicciola Terme	Adeguamento impianto fognario per regimentazione acque di via Mortito - captazione acque da Monte Tabor -	720.000,00 €
Casamicciola Terme	Bonifica Pineta del Bosco della Maddalena da piante pericolanti	80.000,00 €
Casamicciola Terme	Interventi di ricostruzione muri e sistemazione scarpate lungo via Nizzola ed implementazione impianto di smaltimento delle acque	2.800.000,00 €
Casamicciola Terme	Disgaggio massi pericolanti e rimozione materiali località Celario	1.796.452,10 €
Casamicciola Terme	Interventi vari di messa in sicurezza Sede Comunale Provvisoria Piazza Marina (rifacimento impermeabilizzazione manto di copertura, pulizia ecc)	20.000,00 €
Casamicciola Terme	Interventi vari di messa in sicurezza Plessi Scolastici La Rita e De Gasperi (rifacimento impermeabilizzazione manto di copertura, pulizia ecc)	15.000,00 €
Casamicciola Terme	Rifacimento segnaletica stradale orizzontale e verticale	180.000,00 €
Casamicciola Terme	fornitura e/o noleggio segnaletica stradale provvisoria e di emergenza (transenne, coni, semafori mobili, torrefaro, segnaletica luminosa ecc.)	150.000,00 €
Casamicciola Terme	intervento di messa in sicurezza ex SS270-C.so Luigi Manzi con rifacimento dei sottoservizi danneggiati	180.000,00 €
Casamicciola Terme	intervento di messa in sicurezza del costone sulla ex SS270 (tratto Casa Cantoniera - Eliporto)	1.500.000,00 €
Casamicciola Terme	Intervento da attuare nell'immediatezza di consolidamento costone sovrastante via Mortito -Primi interventi di messa in sicurezza	985.478,51 €
Casamicciola Terme	Rimozione materiale con trasporto ai siti di deposito temporaneo individuati sull'isola	8.854.390,50 €
Casamicciola Terme	Rimozioni materiali detritico, rifacimento marciapiedi, parapetti, sistemazione opere di contenimento, ecc, ecc. (via Vittorio Emanuele)	1.000.000,00 €
Casamicciola Terme	pulizia, dissabbiamento e ripristino del tratto terminale dell'alveo tombato "Pio Monte della Misericordia"	300.000,00 €
Casamicciola Terme	pulizia e dissabbiamento della centrale denominata "Rittmann" ubicata alle spalle dell'attuale sede comunale.	10.000,00 €
Casamicciola Terme	Interventi a cui SA rinunciano (da CD-CT-1-019)	116.701,77 €
Forio	RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI, PULIZIA SEDE STRADALE E SMALTIMENTO DEGLI STESSI	20.544,80 €
Forio	RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI, PULIZIA SEDE STRADALE E SMALTIMENTO DEGLI STESSI	12.200,00 €
Forio	RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI PULIZIA SEDE STRADALE E SMALTIMENTO DEGLI STESSI	1.220,00 €
Forio	RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI, PULIZIA SEDE STRADALE E SMALTIMENTO DEGLI STESSI	1.830,00 €
Forio	INTERDIZIONE SEDE STRADALE CON IDONEE DELIMITAZIONI	6.100,00 €

Forio	CUCI E SCUCI DELLA MURATURA ESISTENTE	7.200,00 €
Forio	RIPRISTINO OFFICIOSITA' IDRAULICA E RICOSTRUZIONE SEZIONE CANALE	3.660,00 €
Forio	RIEMPIMENTO CAVITA' SOTTERRANEA E RIPRISTINO SEDE STRADALE	4.500,00 €
Forio	RIFACIMENTO MURO DI CONTENIMENTO	25.000,00 €
Forio	RILIEVO DEI DISSESTI FRANOSI CON GEOREFERENZIAZIONE, RAPPORTO DESCRITTIVO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO SULLE TENDENZE EVOLUTIVE GENERALI	10.000,00 €
Forio	RIFACIMENTO MURO DI CONTENIMENTO	30.000,00 €
Forio	RIFACIMENTO MURO DI CONTENIMENTO	23.000,00 €
Forio	REALIZZAZIONE BRIGLIE A FESSURA, CONSOLIDAMENTO CORTICALE COSTONI	185.000,00 €
Forio	DISGAGGIO PARETI-RIMOZIONE MATERIALI BARRIERE PARADEBRIS- BRIGLIE A FESSURA	185.000,00 €
Forio	Fase 1 RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI SUI TERRAZZAMENTI	125.000,00 €
Forio	PRIME OPERE RIPRISTINO CONTINUITA' IDRAULICA	175.000,00 €
Forio	REALIZZAZIONE BRIGLIE A FESSURA, CONSOLIDAMENTO CORTICALE COSTONI -Primi interventi di messa in sicurezza	192.000,00 €
Forio	RIMOZIONE DEI MATERIALI FRANATI SUI TERRAZZAMENTI E SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL RETICOLO IROGRAFICO - primi interventi di messa in sicurezza	136.000,00 €
Forio	DISGAGGIO PARETI-RIMOZIONE MATERIALI BARRIERE PARADEBRIS- BRIGLIE A FESSURA - Primi interventi di messa in sicurezza	156.000,00 €
Forio	MESSA IN SICUREZZA DEI VERSANTI MONTENUOVO E CHIGNOLE INCOMBENTI SULL'ABITATO MONTERONE - Primi interventi di messa in sicurezza	200.000,00 €
Forio	SISTEMAZIONE IDROGEOLOGICA DEL RETICOLO IDROGRAFICO AFFERENTE IL BACINO PIELLERO -CAVA CAMPO - primi interventi di messa in sicurezza	172.000,00 €
Forio	MESSA IN SICUREZZA E SISTEMAZIONE VERSANTE LOCALITA' PASSAVENTO -Primi interventi di messa in sicurezza	72.000,00 €
Forio	RIPRISTINO DIFESE SPONDALI - Primi interventi di messa in sicurezza	116.000,00 €
Forio	OPERE DIFESA PROVVISORIALE IN ATTESA INTERVENTO DEFINITIVO - stralcio funzionale 1	200.000,00 €
Forio	OPERE DIFESA PROVVISORIALE IN ATTESA INTERVENTO DEFINITIVO - stralcio funzionale 2	200.000,00 €
Forio	RIFACIMENTO MURO DI CONTENIMENTO	250.000,00 €
ISCHIA	Disostruzione e Pulizia Canale deflusso acque	653,92 €
ISCHIA	Pulizia e rimozione sabbia	1.659,20 €
ISCHIA	Pulizia e rimozione sabbia	829,60 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	1.061,40 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	1.415,20 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	2.049,60 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	1.238,30 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	884,50 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	652,70 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	2.732,80 €
ISCHIA	Rimozione materiale per ripristino viabilità	1.146,80 €
ISCHIA	Estensione contratto manutenzione ed assistenza impianti di sollevamento per smaltimento acque meteoriche in scadenza il 31.12.2022	12.505,00 €
ISCHIA	Messa in sicurezza con opere provvisorie e ripristino muro di contenimento della strada	36.038,80 €
ISCHIA	Lavori di decespugliamento e taglio arbusti e intervento di contenimento del terrapieno mediante geostuoia e rete armata a doppia torsione ancorata	115.900,00 €
ISCHIA	Lavori di decespugliamento e taglio arbusti e realizzazione di muro di contenimento in pietrame con fondazione in cls	55.000,00 €
ISCHIA	rifacimento muro di contenimento in muratura locale	49.000,00 €
ISCHIA	Lavori di decespugliamento e taglio arbusti e progettazione per la realizzazione di muro di contenimento con fondazione in cls - I lotto	169.600,00 €
ISCHIA	Impianti di sollevamento acque meteoriche di Via De Rivaz, Via F. Buonocore, Via Pontano: primi interventi di riqualificazione e potenziamento	618.000,00 €
ISCHIA	Primi interventi di messa in sicurezza presso il versante di Monte Vezi	296.000,00 €
ISCHIA	Lavori di decespugliamento e taglio arbusti e primi interventi di regimentazione idraulica per il costone prospiciente il sentiero denominato "Malupass"	106.000,00 €
ISCHIA	Primi interventi di pulizia degli alvei siti nel territorio del Comune di Ischia: alvei ubicati presso TRAVERSA VIA ARENELLA / VIA TIRABELLA	240.000,00 €
ISCHIA	Lavori di pulizia e manutenzione straordinaria dell'alveo denominato RIO CORBORE (in parte tombato)	300.000,00 €
ISCHIA	Primi interventi di pulizia degli alvei siti nel territorio del Comune di Ischia e Progettazione di intervento di manutenzione straordinaria: alveo ubicato presso VIA CRETAIO	400.000,00 €
ISCHIA	Primi interventi di pulizia degli alvei siti nel territorio del Comune di Ischia e Progettazione di intervento di manutenzione straordinaria: alveo ubicato presso ZONA PIANO LIGUORI (VIA CARAUCIO)	350.000,00 €
ISCHIA	Primi interventi di pulizia degli alvei siti nel territorio del Comune di Ischia e Progettazione di intervento di manutenzione straordinaria: alveo ubicato presso CAVONE VIA CAMPAGNANO - SPIAGGIA CARTAROMANA	460.000,00 €
ISCHIA	Lavori di pulizia e manutenzione straordinaria alvei presenti sul territorio comunale: alveo ubicato presso VIA BOSCO DEI CONTI - NUOVA DEI CONTI	244.400,00 €
ISCHIA	Lavori di pulizia e manutenzione straordinaria dell'alveo ubicato presso TRAVERSA MONTAGNONE	70.000,00 €
ISCHIA	Lavori di pulizia e manutenzione straordinaria dell'alveo ubicato presso VIA DELLE VIGNE e denominato CAVONE DEL PANZESE	250.000,00 €
ISCHIA	Lavori di pulizia e manutenzione straordinaria dell'alveo ubicato presso VIA PENDIO DEL LAPILLO	200.000,00 €
ISCHIA	manutenzione straordinaria immobile in locazione Guardia di Finanza - Tenenza di Ischia a seguito degli interventi	100.000,00 €
Ischia	Lavori di decespugliamento e taglio arbusti e realizzazione muro di sostegno del terrapieno in muratura di cemento	31.000,00 €

Ischia	Lavori di decespugliamento, taglio arbusti e realizzazione muri di contenimento in pietrame con fondazione in cemento armato	60.000,00 €
Ischia	Lavori di pulizia della vegetazione e disgaggio masse instabili, messa in sicurezza del versante mediante posa in opera di geo-stuoia e rete armata a doppia torsione ancorata con barre auto-perforanti e realizzazione muretto di scarpa alla base del costone	300.000,00 €
Ischia	Lavori di decespugliamento e taglio degli arbusti sulle scarpate, risarcitura e ripristino delle murature esistenti dissestate, realizzazione di muro di contenimento della scarpata sul lato sinistro e realizzazione di rete e funi in acciaio di contenimento e relativo muretto in calcestruzzo a protezione sul lato destro	120.000,00 €
Ischia	Lavori di decespugliamento e taglio degli arbusti sulla scarpata, realizzazione muro di contenimento in calcestruzzo e ripristino della sede stradale	40.000,00 €
Lacco Ameno	Demolizione della guaina esistente danneggiata dalle forti piogge e dal vento e posa in opera di nuova guaina	44.000,00 €
Lacco Ameno	Demolizione della pavimentazione esistente danneggiata dalle forti piogge e dal vento e posa in opera di nuova guaina	63.215,50 €
Lacco Ameno	Opere di pulizia e accantonamento del materiale che ostruisce la viabilità e opere di transennamento per garantire la pubblica e privata incolumità	32.000,00 €
Lacco Ameno	Sp 512 Monte Vico, vari tratti lungo la Sp, delimitazione provvisoria, disgaggio e prime rimozioni di materiale a tergio del muro stradale	30.000,00 €
Lacco Ameno	Sp 509 Circumv.ne di Lacco Ameno, parcheggio Mezzavia	1.000,00 €
Lacco Ameno	Ripristino del muro crollato alle spalle degli spogliatoi del campo sportivo con la pulizia della scarpata retrostante gli spogliatoi e gli spalti e sostituzione del serbatoio dell'acqua danneggiato	260.000,00 €
Lacco Ameno	Ispezioni puntuali del costone, disgaggio manuale di volumi pericolanti, pulizia superficiale di materiale friabile, taglio sistematico della vegetazione arbustiva sul costone roccioso parzialmente crollato	10.650,00 €
Lacco Ameno	Pulizia e trasporto del materiale riversato sulla pubblica strada	12.500,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del Costone incombente su via nuova Monteviso - Primi interventi	251.625,73 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone orientale di Monteviso - Primi interventi di messa in sicurezza	229.500,00 €
LACCO AMENO	Opere di messa in sicurezza e consolidamento del costone settentrionale di Monteviso -Primi interventi di messa in sicurezza	109.700,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone retrostante la tribuna del campo sportivo comunale - Primi interventi	148.500,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone meridionale al campo sportivo comunale -Primi interventi	50.300,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone incombente su via Casamonte	440.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento delle mura di contenimento di vico I Torre	25.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento delle mura di contenimento di vico II Torre	35.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone incombente su via Fundera	200.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento delle mura di contenimento e costone incombente su via Prov .Lacco Fango	305.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento delle mura di contenimento su via Rosario	45.000,00 €
Lacco Ameno	Messa in sicurezza e consolidamento del costone incombente sulla spiaggia di Varuliello - Primi interventi	101.700,00 €
Lacco Ameno	Progettazione della messa in sicurezza e consolidamento del costone di Monteviso lato baia di San Montano	194.500,00 €
Lacco Ameno	sistemazione / realizzazione opere di contenimento,	300.000,00 €
Serrara Fontana	Ex SS 270 - Isola verde, vari tratti sommano ml 100, rimozione materiali e delimitazioni (tra Serrara Fontana e Barano d'Ischia)	6.000,00 €
Serrara Fontana	Movimentazione terreno smottato sulle strade per il ripristino della circolazione.	7.320,00 €
Serrara Fontana	Ripristino tratto di strada crollato	5.310,51 €
Serrara Fontana	Sp 202, nei pressi del cimitero di Serrara Fontana, diversi interventi di pulizia della sede viaria comprese griglie	2.000,00 €
Serrara Fontana	SP478, disgaggio e prime rimozioni di materiale a tergio della scarpata e delimitazione provvisoria	8.000,00 €
Serrara Fontana	Sp 112, rimozione rete, rimozione materiale accumulato/detriti nel tempo e in occasione degli ultimi eventi, oltre alla pulizia di una parte della scarpata.	4.000,00 €
Serrara Fontana	Sp 112, disgaggio e rimozione materiale detritico, oltre alla pulizia della porzione di scarpata interessata.	3.000,00 €
Serrara Fontana	Ex SS 270 Isola Verde altezza km 9+850 , delimitazione	2.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, dal monte della Torre di Sant'Angelo posto a ridosso di proprietà private sgomberate ed in adiacenza dell'area portuale. Demolizioni in situ di massi di notevole dimensione (retrostante "Hotel Conte") Traspoto a scarica dei materiali.	560.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, latistanti la via comunale via Pendio Oscuro. Trasporto a scarica dei materiali.	350.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, latistanti la via comunale Casale. Trasporto a scarica dei materiali.	250.000,00 €
Serrara Fontana	Intervento di rimozione detriti da vasca e pozzetti realizzati dal Genio Civile per regimentare le acque. Opere di sistemazione idraulica al fine di evitare erosione al piede del costone su cui poggiano vari fabbricati in bilico e oggetto di sgombero.	500.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, latistanti la via comunale via Martofa. Traspoto a scarica dei materiali.	100.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione dei detriti dal letto dell'Alveo Martofa Cuotto, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Traspoto a scarica dei materiali.	150.000,00 €

Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione terreno dall'alveo di Cava Ruffano, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Trasporto a discarica dei materiali.	200.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione detriti Alveo Fondolillo con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Trasporto a discarica dei materiali.	200.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione detriti dall'Alveo di Carovana con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali. Trasporto a discarica dei materiali.	200.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) e distruzione dell'Alveo Cavapontina, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali	700.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, latitanti la via comunale via Sant'Angelo. Trasporto a discarica dei materiali.	200.000,00 €
Serrara Fontana	Disgaggio di parti del costone e della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio, latitanti la via comunale via Martofa. Trasporto a discarica dei materiali.	100.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione dei detriti dal letto dell'Alveo, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Trasporto a discarica dei materiali.	200.000,00 €
Serrara Fontana	Asportazione della vegetazione (alberi, arbusti ecc) instabili ed in precario equilibrio ai lati delle sponde dei canali, rimozione dei detriti dal letto dell'Alveo, con mezzi meccanici di piccola dimensione ed in taluni tratti con attrezzi manuali Trasporto a discarica dei materiali.	350.000,00 €
Serrara Fontana	Attrezzature per realizzare recinzione, interdizioni ecc.	12.500,00 €
Serrara Fontana	sistemazione / realizzazione opere di contenimento, rafforzamento corticale	400.000,00 €
Serrara Fontana	Lavori di messa in sicurezza costone via Falanga	500.000,00 €
tutti i Comuni di ischia	Ex SS 270 - Isola verde, + SP ricadenti sull'isola d'Ischia	20.000,00 €



Napoli,

*Presidenza
del Consiglio dei Ministri*

IL COMMISSARIO DELEGATO
OCDPC n. 948 DEL 30 NOVEMBRE 2022

Al Commissario Delegato

On. Avv. Giovanni Legnini

SEDE

Prot. N.°
Risposta al Foglio del
N.°

Oggetto: Stato degli interventi per il dissesto idrogeologico dell'isola d'Ischia antecedenti agli eventi del 26 novembre 2022_Resoconto ricognizione.

Con la presente nota si relaziona in merito alla ricognizione condotta presso gli enti interessati dell'isola d'Ischia, relativa agli interventi di varia entità sul dissesto idrogeologico, realizzati, in corso o solo programmati, antecedenti agli eventi catastrofici del 26 novembre u.s..

Si premette che l'esito della "ricerca" è da intendersi sicuramente parziale e in aggiornamento, soprattutto per gli interventi più remoti, considerata la scarsa memoria storica documentale e le difficoltà organizzative dei comuni in particolare nei momenti emergenziali, ma anche da parte degli altri enti interessati.

L'elencazione che segue, non sempre omogenea in termini di dati riportati, per motivi essenzialmente riconducibili alla fonte informativa, è comunque fortemente indicativa della annosa necessità di intervenire a seguito di eventi calamitosi su un territorio palesemente fragile, prevedendo talvolta la necessità di importanti opere di mitigazione del rischio.

Si è partiti da quanto riconducibile al sisma del 21 agosto 2017, riferendo degli interventi di competenza del Commissario Straordinario, sia in prosecuzione ovvero a completamento di quanto avviato dal Commissario Delegato ex OCDPC 476/2017, sia in attuazione di quanto disposto dal D.L. 109/2018 e ss.mm.ii.. Per quest'ultima fattispecie, si evidenzia, come risulta agli atti, che la programmazione di competenza definitiva e complessiva degli interventi sul dissesto idrogeologico, di cui all'art. 26, comma 2, lettera d) del d.lgs n. 109, è stata rinviata alla definizione della pianificazione di cui all'art.24bis, successivamente introdotto a modifica della norma citata, di competenza della Regione Campania.

Interventi di somma urgenza e urgenza post-sisma 2017

Di seguito si riportano sinteticamente gli interventi riconducibili a opere di consolidamento e regimazione di alvei, già avviati dal Commissario Delegato, in parte completati dal Commissario Straordinario, come previsti agli elenchi B e C dell'OCDPC 476/2017, per un importo complessivo di € 1.239.420,45:

- Intervento cod. 01/SU/11 – *“Lavori di somma urgenza per interventi di ripristino e messa in sicurezza di Via Epomeo, Via Gran Sentinella e Via Iasolino volto alla riapertura dei tratti viari interessati per consentire l’accesso ai nuclei abitati”*, previsto nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo di € 488.040,00, il quale è stato attuato e ultimato;
- Intervento cod. 03/SU/03 – *“Altri interventi (regimazione alveo, messa in sicurezza sede stradale), realizzato presso l’Alveo Cava Scialicco nel comune di Lacco Ameno”*, previsto nel comune di Lacco Ameno per un importo complessivo di € 15.753,54, il quale è stato attuato e ultimato;
- Intervento cod. 01/U/07 – *“Consolidamento terrapieno su cui insiste edificio scolastico Manzoni anche a protezione abitazioni sottostanti”*, previsto nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo pari a € 247.006,00, ad oggi non avviato. Nella stessa area, in quelle limitrofe e/o con le stesse problematiche, nell’Ordinanza Speciale n. 1 del 11/04/2023, è stato inserito l’intervento *“Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista, plesso scolastico Manzoni, e plesso scolastico Sanseverino”*;
- Intervento cod. 01/U/08 – *“Messa in sicurezza Cava Pozzillo a protezione abitazioni”*, prevista nel comune di Casamicciola Terme, per un importo complessivo previsto è pari a € 94.376,91, per il quale intervento è stata riconosciuta l’anticipazione del 10% allo scopo di realizzare lo studio idraulico, con il fine di valutare un eventuale integrazione del contributo;
- Intervento cod. 05/U/04_10 – *“Sisma 21/08/2017 - SP431 Borbonica rifacimento muro di sostegno crollato e SP149 Rosario Fango messa in sicurezza muro di sottoscarpa lesionato. SP431 Borbonica Messa in sicurezza parapetto murario e opere di contenimento, da realizzarsi nel comune di Lacco Ameno”*, soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli, non avviato, il cui importo complessivo dell’intervento previsto è pari a € 394.244,00.

Interventi primo piano stralcio Commissario Straordinario DI 109/2017 e Ordinanze Speciali

Per quanto concerne gli interventi relativi all'art. 26, comma 2, lett. a), del D.L. 109/2017, il Commissario straordinario, già con Ordinanza n. 14 del 29 ottobre 2020 e in seguito con le Ordinanze Speciali del 11 aprile 2023, ha previsto l'attuazione di interventi di consolidamento per un importo complessivo di € 5.356.336,92, ed in particolare:

- Intervento cod. OP/LA/03 – *“Lavori di consolidamento, ripristino e manutenzione straordinaria alle strutture cimiteriali ed al limitrofo costone danneggiati dal sisma del 21.08.2017”*, la cui progettazione risulta conclusa e per il quale risulta in fase conclusiva l'indizione di gara per lavori previsti nel comune di Lacco Ameno, il cui importo complessivo decretato risulta pari a € 1.619.260,70, rimodulato con Ordinanza Speciale n.2 ad € 1.973.669,81 (cod. OS/LA/5b);
- Intervento cod. OP/LA/04 – *“Messa in sicurezza del sentiero naturalistico della collina di Montevico nel comune di Lacco Ameno”*, l'intervento risulta in affidamento dell'attività progettuale da parte del soggetto attuatore, il cui importo complessivo previsto è pari ad € 217.076,22;
- Intervento cod. OP/CM/01 – *“Lavori di ricostruzione del muro di contenimento posto a confine con la ex S.S. 270 (Isola verde) KM 25+700 in Casamicciola Terme (NA) (ex 05/U/05)”*, da avviare da parte del soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli per un importo presunto dell'intervento pari a € 3.520.000,00;
- Intervento cod. OS/CT/03 – *“Consolidamento del versante sito in località Piccola Sentinella di interazione geologico-tecnica con l'area su cui è ubicato l'edificio scolastico Ibsen”* per un importo di € 1.968.118,40;
- Intervento cod. OS/CT/07 – *“Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista, plesso scolastico Manzoni, e plesso scolastico Sanseverino”* per un importo di € 5.239.280,00;

Interventi precedenti segnalati dai Comuni dell'isola di Ischia e Città Metropolitana

A seguito dell'evento del 26 novembre 2022, in attuazione dell'art. 1 comma 3 lett. b) e c) dell'OCDPC 948, con note prot. nn. 304U/CD/Ischia e 10U/CD/Ischia, rispettivamente del 30/12/2022 e del 02/01/2023, il Commissario ha invitato gli enti a comunicare l'elenco degli interventi riconducibili alle problematiche idrogeologiche dell'isola d'Ischia da finanziare e/o già finanziati, a valere su altre risorse.

Il comune di Casamicciola Terme (con nota prot. n. 3002/2023 del 27/02/2023 e acquisita al prot. n. 641/CD/Ischia in pari data), il comune di Ischia (con nota prot. n. 740/2023 del 05/01/2023 e acquisita al prot. n. 47/CD/Ischia in pari data), il comune di Lacco Ameno (con nota prot. n. 2428/2023 del 28/02/2023 e acquisita prot. n. 660E/CD/Ischia in pari data), il comune di Barano (con nota prot. n. 142/2023 del 05/01/2023 e acquisita al prot. n. 48/CD/Ischia in pari data) e il comune di Forio (con nota prot. n. 8622/2023 del 28/02/2023, acquisita al prot. n. 661/CD/Ischia in pari data), hanno comunicato gli interventi di cui sono soggetti attuatori e le cui fonti di finanziato non sono riferibili a quelli ricompresi all'OCDPC 476/2017 o D.L. 109/2018.

(Gli interventi di cui è soggetto attuatore Città Metropolitana di Napoli sono stati desunti dal programma triennale delle opere pubbliche dell'Ente di cui non è disponibile la fonte di finanziamento).

Detti finanziamenti, ammontanti a complessivi € 30.231.575,05, risultano provenienti dalla Presidenza del Consiglio, da fondi Ministeriali, da fondi Regione Campania e Città Metropolitana di Napoli.

Gli enti riferiscono che necessitano ulteriori fondi, per un importo stimato complessivo di circa € 4.300.000,00, per dare avvio e/o completamento delle opere. Mentre il Comune di Ischia segnala ulteriori interventi per un importo complessivo di circa € 1.100.000,00 ma non ancora finanziati.

Di seguito si riporta un dettaglio degli interventi finanziati con indicazione dello stato del finanziamento concesso e dell'avanzamento dell'intervento suddiviso per soggetto attuatore:

Comune di Casamicciola Terme

- Intervento di “*Bonifica e consolidamento dei versanti a monte del centro abitato del Comune di Casamicciola Terme (NA)*”, intervento suddiviso in 2 lotti per un importo complessivo di € 1.316.207,61, il primo lotto risulta progettato, per entrambi i lotti la fonte di finanziamento è

della Presidenza del Consiglio (Servizio per le procedure di utilizzazione dell'otto per mille dell'IRPEF e per gli interventi straordinari sul territorio) e riguardano unicamente la fase di progettazione;

- *Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località ex cava Baino (Cretaio) – cava Pozzillo*, l'importo complessivo previsto dell'intervento ammonta a € 821.837,61, l'intervento risulta avviato sotto riserva di legge e risulta interamente finanziato con fondi del Ministero dell'Interno;
- *“Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Piccola Sentinella – via vicinale Castanito”*, l'importo complessivo dell'intervento ammonta a € 702.297,59 ed è finanziato con fondi ministeriali del marzo 2021, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;
- *“Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Paradisiello”*, l'importo complessivo dell'intervento ammonta a € 971.262,63 ed è finanziato con fondi ministeriali del marzo 2021, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;
- *“Interventi di sistemazione idrogeologica nel Comune di Casamicciola Terme riportato al n. 18 della delibera CIPE del 20 dicembre 2012”*, l'importo complessivo dell'intervento ammonta a € 3.100.000,00 ed è finanziato con fondi assegnati alla Regione Campania, risultano attualmente affidati i servizi di progettazione;

Comune di Ischia

- *“Lavori urgenti per la realizzazione della rete fognaria di via Arenella in località pilastri del comune di Ischia (NA)”*, l'importo complessivo finanziato dell'intervento ammonta a € 2.300.000,00 ed è finanziato dalla Regione Campania, per l'intervento necessitano ulteriori fondi per circa € 600.000,00. Allo stato attuale risulta in corso la progettazione esecutiva;
- *“Lavori urgenti per la sistemazione idrogeologica di via Tirabella in località Pilastri”*, l'importo complessivo dell'intervento ammonta a € 2.700.000,00 ed è finanziato dalla Regione Campania, per l'intervento necessitano ulteriori fondi per circa € 600.000,00. Allo stato attuale risulta in avvio la fase espropriativa;
- Interventi di *“Sistemazione idrogeologica (if11) nel Comune di Ischia - bordo settentrionale dell'alto morfologico denominato “Torone” - I e II Lotto”*, l'importo complessivo degli interventi ammonta a € 4.071.519,00, in cui il I lotto, per un importo di € 1.500.000,00, è

finanziato con accordo di programma del 12 novembre 2010 tra Regione Campania e Ministero dell’Ambiente e della tutela del territorio e del mare, mentre il II lotto, finanziato dalla stessa fonte per un importo dell’intervento € 2.571.519,00, necessita di ulteriori fondi per circa € 700.000,00. Per entrambi risulta in corso la progettazione;

- Intervento di *“Mitigazione del rischio idrogeologico mediante opere di sostegno, interventi di disaggio e rete paramassi sul costone e cunetta in pietrame per la raccolta delle acque superficiali - località piano liguori nel Comune di Ischia”*, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 1.463.616,00 ed è finanziato con fondi del Ministero dell’Ambiente, sono necessari ulteriori fondi per circa € 1.000.000,00, attualmente risultano avviati i servizi di progettazione;
- *“Lavori di Regimentazione delle acque nella zona di via Campagnano “Strada vicinale di Carta Romana””*, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 180.760,00 ed è finanziato con fondi della Regione Campania, per l’avvio dei lavori e adeguamento della progettazione risultano necessari ulteriori fondi per circa 2.000.000,00;
- *“Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico in “località Cartaromana” nel Comune di Ischia (NA)”*, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 687.666,46 ed è finanziato dal Ministero dell’Interno con fondi PNRR, sono in corso attività preliminari d’esecuzione;
- *“Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico soprastante la spiaggia di Cartaromana”*, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 842.499,00 ed è finanziato dal Ministero dell’Interno con fondi PNRR, sono in corso attività preliminari d’esecuzione;
- *“Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico sottostante la chiesa di s. Anna e ripristino della stradina di collegamento con la Torre di Michelangelo”*, l’importo complessivo dell’intervento ammonta a € 969.833,96 ed è finanziato dal Ministero dell’Interno con fondi PNRR, risulta attualmente in fase di scelta il contraente per l’avvio dei lavori;
- *“Interventi di Mitigazione rischio idrogeologico mediante realizzazione di un muro di sostegno in c.a., tiranti d'ancoraggio, interventi di disaggio e rete paramassi sul costone, trincea drenante e cunette in pietrame per la raccolta delle acque superficiali - località via la Quercia”*

Intervento privo di finanziamento

Comune di Lacco Ameno

- “*Interventi e messa in sicurezza del territorio comunale a rischio idrogeologico*”, finanziamento della sola progettazione da parte ministeriale per un importo di € 39.200,00;

Comune di Barano

- “*Lavori di messa in sicurezza dei costoni latitanti l'alveo località Olmitello*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 1.050.000,00, finanziamento Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze, l'intervento risulta ultimato;
- “*Lavori di messa in sicurezza dei costoni di Olmitello*”, per un importo finanziato complessivo dell'intervento di € 850.000,00, finanziamento Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze, l'intervento risulta ultimato;
- “*Intervento di somma urgenza presso la località Fasano - via Fondolillo*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 150.000,00, finanziamento Direzione Generale della Giunta Regionale della Campania, l'intervento risulta ultimato;
- “*Lavori di Messa in sicurezza dell'alveo di Olmitello*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 850.000,00, finanziamento Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze, i lavori sono attualmente in corso di esecuzione;
- “*Messa in sicurezza dei costoni latitanti la sede viaria località Schiappone e risanamento del muro di contenimento località pineta di Fiaiano*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 695.396,95, finanziato dal Fondo istituito dall'articolo 1, comma 277, della legge 27 dicembre 2017, n.205 i lavori sono attualmente in corso di esecuzione;
- “*Sistemazione idraulico-forestale delle sponde- costoni del torrente cava dell'Acquara-Olmitello*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 579.116,72 con Decreto Dirigenziale n.535 del 22/09/2022 a valere sulle risorse del POR Campania FESR 2014-2020 – Asse Obiettivo Specifico 5.1 – Azione 5.1.1, per l'intervento risulta in fase di espletamento gara di affidamento lavori;
- Intervento di “*Ripristino della officiosità idraulica dell'alveo Cava Rosato-Cosso del Vatoliere per scongiurare l'alluvionamento dell'area urbana e la viabilità principale ex SP 270*”, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 70.000,00, ex OCDPC 622/2019, piano degli interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi

metereologici del mese di novembre 2019 che hanno colpito il territorio della Regione Campania, per l'intervento risulta in fase di espletamento gara di affidamento lavori;

- *“Sistemazione dell'alveo cava Nocelle e ricostruzione della sponda destra adiacente la Via Casabona in località Terone-Casabona”*, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 200.000,00, ex OCDPC 622/2019, piano degli interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi metereologici del mese di novembre 2019 che hanno colpito il territorio della Regione Campania, l'intervento risulta in fase di espletamento l'affidamento della D.L.;
- *“Messa in sicurezza dei costoni latitanti l'ex-alveo Cava Cappella località Buonopane”*, per un importo complessivo finanziato dell'intervento di € 940.059,64, da Legge 30 dicembre 2018, n. 145, comma 139, dell'art. 1, l'intervento risulta in fase di consegna dei lavori;

Comune di Forio

- *“Rischio idrogeologico Basso Cappella”*, per un importo complessivo dell'intervento di € 759.987,00 e finanziato con fondi del Ministero dell'Interno, i lavori sono in corso di realizzazione;
- *“Rischio idrogeologico Scogli degli innamorati”*, per un importo complessivo dell'intervento di € 740.000,00 e finanziato con fondi del Ministero dell'Interno, i lavori sono in corso di realizzazione;
- *“Rischio idrogeologico Carano”*, per un importo complessivo dell'intervento pari a € 1.000.000,00 e finanziato con fondi del Ministero dell'Interno, lavori in corso di realizzazione;
- *“Rischio idrogeologico tratto di costa fra spiaggia San Francesco e località Fortino”*, per un importo complessivo dell'intervento di € 62.610,61 e finanziato con fondi del Ministero dell'Interno, i lavori sono in fase di affidamento;
- *“Rischio idrogeologico tratto di costa fra promontorio del soccorso e località Citara”*, per un importo complessivo dell'intervento di € 375.937,97 e finanziato con fondi del Ministero dell'Interno, attualmente sono stati affidati i servizi di progettazione;

Città Metropolitana di Napoli

- *“Intervento a protezione del costone e della strada comunale in località Fasano-Fondolillo nel comune di Barano d’Ischia”*, per un importo dell’intervento finanziato di € 940.059,64 al netto di cassa e Iva, in fase affidamento dei servizi di progettazione;
- *“Lavori di manutenzione idraulica e sistemazione del bacino dell’Alveo La Rita nei comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno”*, importo complessivo finanziato dell’intervento di € 1.741.766,30, la progettazione è stata espletata e i lavori sono stati recentemente avviati;
- Intervento di *“Protezione del tratto di costa sottostante il Terminal bus in località Cava Grado nel Comune di Serrara Fontana”*, importo intervento pari ad € 2.000.000,00, non si conosce lo stato dell’intervento;

Regione Campania RENDIS (int. ex ARCADIS)

- Intervento di sistemazione Cava Senigallia, importo intervento finanziato € 180.000,00, fonte finanziamento Regione Campania, intervento non avviato;
- Intervento località Spinesante – San Francesco, importo intervento finanziato € 3.500.000,00, fonte finanziamento fondi CIPE per un importo di € 3.270.000,00 e fondi POR Regione Campania per un importo di 230.000,00, intervento concluso e collaudato.

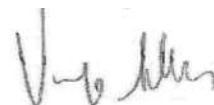
Commissario di governo per il contrasto del dissesto idrogeologico in Regione Campania, ex (art. 10, c. 1, Legge n.116/2014 e ss.mm.ii.):

- *“Intervento di ripristino, salvaguardia e riqualificazione del litorale dei Maronti nell’isola d’Ischia”*, per un importo complessivo di € 1.256.037, 54, finanziamento fondi delibera CIPE n. 3 del 6 novembre 2009, finanziato con fondi assegnati alla Regione Campania dal Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare, intervento concluso e collaudato.

In allegato:

- Tabella di sintesi;
- Planimetrie con ubicazione degli interventi.

Il Dirigente
(Dott. Geol. Vincenzo Albanese)



Stato degli interventi per il dissesto idrogeologico dell'isola d'Ischia antecedenti agli eventi del 26 novembre 2022

Interventi Commissario Delegato - elenchi B e C dell'OCDPC 476/2017							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
-	01/SU/11	Lavori di somma urgenza per interventi di ripristino e messa in sicurezza di Via Epomeo, Via Gran Sentinella e Via Iasolino volto alla riapertura dei tratti viari interessati per consentire l'accesso ai nuclei abitati	Casamicciola Terme		€ 488.040,00	elenco B - OCDPC 476/2017	Intervento ultimato
-	03/SU/03	Altri interventi (regimazione alveo, messa in sicurezza sede stradale), realizzato presso l'Alveo Cava Scialicco nel comune di Lacco Ameno	Lacco Ameno		€ 15.753,54	elenco B - OCDPC 476/2017	Intervento ultimato
-	01/U/07 ora int. OS/CT/07	Consolidamento terrapieno su cui insiste edificio scolastico Manzoni anche a protezione abitazioni sottostanti", ora assorbito da "Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista (Napoleon), Plesso Scolastico Manzoni e Plesso Scolastico Sanseverino"	Casamicciola Terme		€ 247.006,00	elenco C - OCDPC 476/2017, ora Ord. Speciale n.1 decreto-legge n. 109 del 28 settembre 2018	Intervento da avviare
-	01/U/08	Messa in sicurezza Cava Pozzillo a protezione abitazioni	Casamicciola Terme		€ 94.376,91	elenco C - OCDPC 476/2017	riconosciuto anticipo 10%
-	05/U/04_10	Sisma 21/08/2017 - SP431 Borbonica rifacimento muro di sostegno crollato e SP149 Rosario Fango messa in sicurezza muro di sottoscarpa lesionato. SP431 Borbonica Messa in sicurezza parapetto murario e opere di contenimento, da realizzarsi nel comune di Lacco Ameno	Lacco Ameno		€ 394.244,00	elenco C - OCDPC 476/2017	Intervento da avviare
Interventi art. 26, comma 2, lett a), del D.L. 109/2017							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
-	ex. OP/LA/03 OS/LA/5b	Lavori di consolidamento, ripristino e manutenzione straordinaria alle strutture cimiteriali ed al limitrofo costone danneggiati dal sisma del 21.08.2017	Lacco Ameno	Lat. 4512550,00 m N Long. 405851,00 m E	€ 1.973.669,81	ex. Ord. 14/2020 - D.L. 109/2017; Ord. Speciale n. 2 decreto-legge n. 109 del 28 settembre 2018	progettazione conclusa, fase conclusiva indizione gara
-	OP/LA/04	Messa in sicurezza del sentiero naturalistico della collina di Montevico nel comune di Lacco Ameno	Lacco Ameno	Lat. 4512538,00 m N Long. 405910,00 m E	€ 217.076,22	Ord. 14/2020 - D.L. 109/2017	affidata la progettazione
-	OP/CM/01	Lavori di ricostruzione del muro di contenimento posto a confine con la ex S.S. 270 (Isola verde) KM 25+700 in Casamicciola Terme (NA) (ex 05/U/05)	Casamicciola Terme	Lat. 4511651,00 m N Long. 407065,00 m E	€ 3.520.000,00	Ord. 14/2020 - D.L. 109/2017	Intervento da avviare

Interventi Ordinanze Speciali - decreto-legge n. 109 del 28 settembre 2018						
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	Stato d'attuazione
-	OS/CT/03	Consolidamento del versante sito in località Piccola Sentinella di interazione geologico-tecnica con le aree su cui è ubicato l'edificio scolastico Ibsen	Casamicciola Terme	Lat. 4511118,00 m N Long. 407595,00 m E	€ 1.968.118,40	Intervento da avviare
-	OS/CT/07	Consolidamento del versante denominato collinetta Paradisiello di interazione geologico-tecnica con le aree di sedime degli interventi Palazzo Bellavista (Napoleon), Plesso Scolastico Manzoni e Plesso Scolastico Sanseverino	Casamicciola Terme	Lat. 4511216,93 m N Long. 407802,38 m E	€ 5.239.280,00	Intervento da avviare
Interventi riconducibili a valere su altre risorse						
Comune di Casamicciola Terme						
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	Stato d'attuazione
-	DI/CT/01	Bonifica e consolidamento dei versanti a monte del centro abitato del Comune di Casamicciola Terme (NA) - I° Lotto	Casamicciola Terme	Lat. 4510163,69 m N Long. 407602,17 m E	€ 498.495,58	progettazione conclusa
-	DI/CT/02	Bonifica e consolidamento dei versanti a monte del centro abitato del Comune di Casamicciola Terme (NA) - II° Lotto	Casamicciola Terme	Lat. 4510137,35 m N Long. 407646,82 m E	€ 817.712,03	Intervento da progettare
-	DI/CT/03	Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località ex cava Baino (Cretaio) – cava Pozzillo	Casamicciola Terme	Lat. 4511185,22 m N Long. 407330,15 m E	€ 821.837,61	avviato sotto riserva di legge
-	DI/CT/04	Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Piccola Sentinella – via vicinale Castanito	Casamicciola Terme	Lat. 4511260,14 m N Long. 407920,56 m E	€ 702.297,59	affidati i servizi di progettazione
-	DI/CT/05	Intervento per la mitigazione del rischio e del dissesto idrogeologico – località Paradisiello	Casamicciola Terme	Lat. 4510629,81 m N Long. 409422,21 m E	€ 971.262,63	affidati i servizi di progettazione
-	DI/CT/06	Interventi di sistemazione idrogeologica nel Comune di Casamicciola Terme riportato al n. 18 della delibera CIPE del 20 dicembre 2012	Casamicciola Terme	Lat. 4510552,04 m N Long. 408520,73 m E	€ 3.100.000,00	affidati i servizi di progettazione
Comune di Ischia						
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	Stato d'attuazione
1	DI/IS/01	Lavori urgenti per la realizzazione della rete fognaria di via Arenella in località pilastri del comune di Ischia (NA)	Ischia	Lat. 4507703,05 m N Long. 410993,15 m E	€ 2.300.000,00	in corso progettazione esecutiva
2	DI/IS/02	Lavori urgenti per la sistemazione idrogeologica di via Tirabella in località Pilastri	Ischia	Lat. 4507706,34 m N Long. 410645,40 m E	€ 2.700.000,00	avviata fase espropriativa

3	DI/IS/03	Sistemazione idrogeologica (ifl1) nel Comune di Ischia - bordo settentrionale dell'alto morfologico denominato "Torone" - I e II Lotto	Ischia	Lat. 4507928,57 m N Long. 411602,80 m E	€ 4.071.519,00	accordo di programma del 12 novembre 2010 tra Regione Campania e Ministero dell'Ambiente e della tutela del territorio e del mare	risulta in corso la progettazione
4	DI/IS/04	Mitigazione del rischio idrogeologico mediante opere di sostegno, interventi di disaggio e rete paramassi sul costone e cunetta in pietra per la raccolta delle acque superficiali - località piano liguori nel Comune di Ischia	Ischia	Lat. 4508628,10 m N Long. 412081,02 m E	€ 1.463.616,00	Ministero dell'Ambiente	avviati i servizi di progettazione
5	DI/IS/05	Lavori di Regimentazione delle acque nella zona di via Campagnano "Strada vicinale di Carta Romana	Ischia	Lat. 4508795,38 m N Long. 411987,97 m E	€ 180.760,00	Regione Campania	progettazione conclusa
6	DI/IS/06	Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico in "località Cartaromana" nel Comune di Ischia (NA)	Ischia	Lat. 4508556,54 m N Long. 412124,18 m E	€ 687.666,46	Ministero dell'Interno con fondi PNRR	in corso attività preliminari d'esecuzione
7	DI/IS/07	Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico soprastante la spiaggia di Cartaromana	Ischia	Lat. 4508628,10 m N Long. 412081,02 m E	€ 842.499,00	Ministero dell'Interno con fondi PNRR	in corso attività preliminari d'esecuzione
8	DI/IS/08	Interventi di messa in sicurezza del costone a rischio idrogeologico sottostante la chiesa di s. Anna e ripristino della stradina di collegamento con la Torre di Michelangelo	Ischia	Lat. 4509150,71 m N Long. 412107,49 m E	€ 969.833,96	Ministero dell'Interno con fondi PNRR	in fase di scelta il contraente per l'avvio dei lavori
9	DI/IS/09	Interventi di Mitigazione rischio idrogeologico mediante realizzazione di un muro di sostegno in c.a., tiranti d'ancoraggio, interventi di disaggio e rete paramassi sul costone, trincea drenante e cunette in pietra per la raccolta delle acque superficiali - località via la Quercia	Ischia	Lat. 4510569,05 m N Long. 409658,54 m E		non finanziato	
Comune di Lacco Ameno							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
10	DI/LA/01	Interventi e messa in sicurezza del territorio comunale a rischio idrogeologico	Lacco Ameno	Lat. 4512493,65 m N Long. 405887,26 m E	€ 39.200,00	Ministero dell'Interno	progettazione avviata
Comune di Barano							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
11	DI/BA/01	Lavori di messa in sicurezza dei costoni latitanti l'alveo località Olmitello	Barano	Lat. 4506614,29 m N Long. 407726,37 m E	€ 1.050.000,00	Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze	Intervento ultimato
12	DI/BA/02	Lavori di messa in sicurezza dei costoni di Olmitello	Barano	Lat. 4506741,49 m N Long. 407664,92 m E	€ 850.000,00	Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze	Intervento ultimato
13	DI/BA/03	Intervento di somma urgenza presso la località Fasano - via Fondolillo	Barano	Lat. 4506213,52 m N Long. 407145,88 m E	€ 150.000,00	Direzione Generale della Giunta Regionale della Campania	Intervento ultimato

14	DI/BA/04	Lavori di Messa in sicurezza dell'alveo di Olmitello	Barano	Lat. 4506374,08 m N Long. 407699,20 m E	€ 850.000,00	Ministero dell'Interno di concerto con il Ministero dell'Economia delle Finanze	Intervento attualmente in corso di esecuzione
15	DI/BA/05	Messa in sicurezza dei costoni latitanti la sede viaria località Schiappone e risanamento del muro di contenimento località pineta di Fiaiano	Barano	Lat. 4507314,33 m N Long. 410217,20 m E	€ 695.396,95	Fondo istituito dall'articolo 1, comma 277, della legge 27 dicembre 2017, n. 205	Intervento attualmente in corso di esecuzione
16	DI/BA/06	Sistemazione idraulico-forestale delle sponde-costoni del torrente cava dell'Acquara-Olmitello	Barano	Lat. 4506289,43 m N Long. 407686,65 m E	€ 579.116,72	Decreto Dirigenziale n.535 del 22/09/2022 a valere sulle risorse del POR Campania FESR 2014-2020 – Asse Obiettivo Specifico 5.1 – Azione 5.1.1	fase di espletamento gara di affidamento lavori
17	DI/BA/07	Ripristino della officiosità idraulica dell'alveo Cava Rosato-Cosso del Vatoliere per scongiurare l'alluvionamento dell'area urbana e la viabilità principale ex SP 270	Barano	Lat. 4507244,98 m N Long. 409276,49 m E	€ 70.000,00	ex OCDPC 622/2019, piano degli interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici del mese di novembre 2019 che hanno colpito il territorio della Regione Campania	intervento risulta in fase di espletamento gara di affidamento lavori
18	DI/BA/08	Sistemazione dell'alveo cava Nocelle e ricostruzione della sponda destra adiacente la Via Casabona in località Terone-Casabona	Barano	Lat. 4507543,61 m N Long. 409495,33 m E	€ 200.000,00	ex OCDPC 622/2019, piano degli interventi urgenti di protezione civile in conseguenza degli eccezionali eventi meteorologici del mese di novembre 2019 che hanno colpito il territorio della Regione Campania	Intervento risulta in fase di espletamento di l'affidamento della D.L.
19	DI/BA/09	Messa in sicurezza dei costoni latitanti l'ex-alveo Cava Cappella località Buonopane	Barano	Lat. 4507642,24 m N Long. 408195,10 m E	€ 940.059,64	da Legge 30 dicembre 2018, n. 145, comma 139, dell'art. 1	Intervento risulta in fase di consegna dei lavori
Comune di Forio							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione UTM	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
20	DI/FO/01	Rischio idrogeologico Basso Cappella	Forio	Lat. 4509965,478 m N Long. 403316,605 m E	€ 759.987,00	Ministero dell'Interno	I lavori sono in corso di realizzazione
21	DI/FO/02	Rischio idrogeologico Scogli degli innamorati	Forio	Lat. 4509615,416 m N Long. 403298,653 m E	€ 740.000,00	Ministero dell'Interno	I lavori sono in corso di realizzazione
22	DI/FO/03	Rischio idrogeologico Carano	Forio	Lat. 4509337,161 m N Long. 403558,956 m E	€ 1.000.000,00	Ministero dell'Interno	I lavori sono in corso di realizzazione
23	DI/FO/04	Rischio idrogeologico tratto di costa fra spiaggia San Francesco e località Fortino	Forio	Lat. 4511491,392 m N Long. 404357,817 m E	€ 62.610,61	Ministero dell'Interno	I lavori in fase di affidamento
24	DI/FO/05	Rischio idrogeologico tratto di costa fra promontorio del soccorso e località Citara	Forio	Lat. 4509014,026 m N Long. 403684,619 m E	€ 375.937,97	Ministero dell'Interno	Affidati i servizi di progettazione

Città Metropolitana							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
25	DI/CM/01	Intervento a protezione del costone e della strada comunale in località Fasano-Fondolillo nel comune di Barano d'Ischia	Barano (MARONTI)	Lat. 4506208,81 m N Long. 407154,46 m E	€ 940.059,64	Città Metropolitana	In fase affidamento dei servizi di progettazione
26	DI/CM/02	Lavori di manutenzione idraulica e sistemazione del bacino dell'Alveo La Rita nei comuni di Casamicciola Terme e Lacco Ameno	Casamicciola Terme - Lacco Ameno	Lat. 4510756,00 m N Long. 406869,00 m E	€ 1.741.766,30	Città Metropolitana	progettazione è stata espletata e i lavori sono stati avviati
27	DI/CM/03	Protezione del tratto di costa sottostante il Terminal bus in località Cava Grado nel Comune di Serrara Fontana	Serrara Fontana	Lat. 4506109,00 m N Long. 406112,00 m E	€ 2.000.000,00	Città Metropolitana	non si conosce lo stato dell'intervento
Regione Campania RENDIS (ex ARCADIS)							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
28	DI/RC/01	Intervento di sistemazione Cava Senigallia	Casamicciola Terme	Lat. 4510304,00 m N Long. 407675,00 m E	€ 180.000,00	Regione Campania	Intervento non avviato
29	DI/RC/02	Intervento località Spinesante - San Francesco	Forio	Lat. 4510828,00 m N Long. 404208,00 m E	€ 3.500.000,00	CIPE - Regione Campania	Intervento concluso e collaudato
Commissario di governo per il contrasto del dissesto idrogeologico in Regione Campania, ex (art. 10, c. 1, Legge n. 116/2004 e ss.mm.ii.)							
n. Progressivo	Cod. Int. n.	Titolo intervento	Comune	Localizzazione	Importo	fonte di finanziamento	Stato d'attuazione
30	DI/CC/01	Intervento di ripristino, salvaguardia e riqualificazione del litorale dei Maronti nell'isola d'Ischia	Barano	Lat. 4506225,56 m N Long. 407254,02 m E	€ 1.256.037,54	finanziato con fondi assegnati alla Regione Campania dal Ministero dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare	Intervento concluso e collaudato