



STUDIO DEL CONOIDE DEL TORRENTE VALLE
ROVA AI SENSI DELL'ALLEGATO 2
DELLA D.G.R. IX/2616 DEL 30/11/2011

COMMITTENTI:
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI GAZZANIGA

RELAZIONE GENERALE



Figura 26 – Mappa dei tiranti

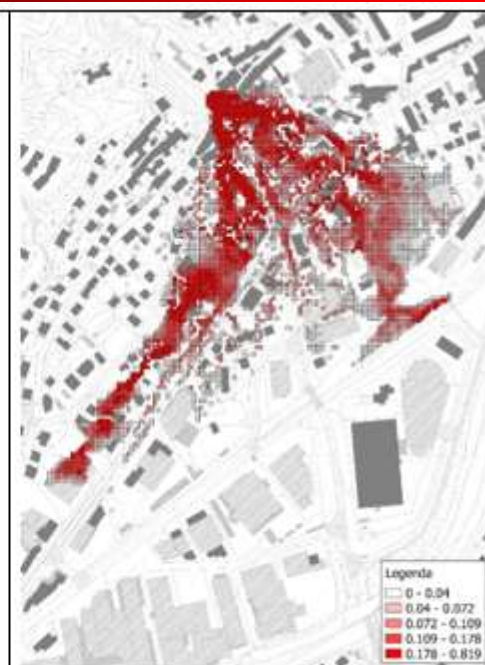


Figura 27 – Mappa della velocità

Ottobre 2024

dott. geol. Alessandro Chiodelli

Adottato con
DELIBERAZIONE DEL CONSIGLIO COMUNALE
N° 24 del 30/07/2025
Approvato con
DELIBERAZIONE DEL CONSIGLIO COMUNALE
N° 2 del 12/01/2026



INDICE

1. PREMESSA GENERALE.....	4
2. RIFERIMENTI METODOLOGICI	6
3. ANALISI STORICA.....	11
4. INQUADRAMENTO GENERALE.....	23
4.1 Inquadramento geografico	23
4.2 Inquadramento geologico	24
4.3 Inquadramento geomorfologico.....	30
4.4 Uso del suolo	35
5. CARATTERISTICHE DELL'AREA DI CONOIDE	37
6. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO	40
7. VALORI DI MAGNITUDO CONSIDERATI	42
8. DESCRIZIONE DEL MODELLO E CRITERIO DI ANALISI.....	44
9. PERICOLOSITA' DERIVATA DA MODELLO IDRAULICO	48
10. PERICOLOSITA' SU BASE GEOMORFOLOGICA.....	50
11. VALUTAZIONE DEL RISCHIO	53
12. ZONAZIONE DEL CONOIDE	55
12.1 Zonazione del conoide secondo la legenda PAI.....	55
12.2 Fattibilità geologica per le azioni di Piano	56
12.3 Norme per l'utilizzo delle aree a rischio	59



Tavole

N° Tavola	Titolo
1	Corografia del bacino
2	Carta di inquadramento geologico
3	Carta di inquadramento geomorfologico
4	Profilo dell'alveo
5	Area di conoide
6	Pericolosità da modellazione
7	Carta della pericolosità finale
8	Elementi a rischio
9	Rischio
10	Carta PAI-PGRA
11	Carta della Fattibilità geologica



1. PREMESSA GENERALE

Con Determinazione n. 156 del 04/05/2023 il Responsabile del Settore V.2 Servizi Tecnici – Edilizia, Urbanistica ed Affidamento Contratti del Comune di Gazzaniga, ha affidato allo scrivente la “*REDAZIONE DELLO STUDIO DI PERICOLOSITÀ E RISCHIO LOCALI, LUNGO LE AREE ALLAGABILI DEL FIUME SERIO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI GAZZANIGA - CIG Z153B029EA*”.

Il Comune di Gazzaniga, che ha concluso positivamente la verifica di compatibilità con l'aggiornamento del quadro del dissesto di cui all'Elaborato 2 del PAI, applica le norme di cui all'art. 9 delle N.d.A. del PAI nelle aree perimetrale individuate nella “Carta del dissesto con legenda uniformata PAI”¹.

Come previsto dalla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011, (Parte 2 – Raccordo con gli strumenti di pianificazione sovraordinata), i Comuni che vogliono proporre ulteriori aggiornamenti all'Elaborato 2 del PAI, devono predisporre studi di dettaglio condotti secondo le metodologie di cui agli allegati 2, 3 e 4 della D.G.R. medesima, comprendenti la carta di fattibilità con le relative norme di uso del suolo e la nuova perimetrazione con legenda uniformata a quella del PAI per gli ambiti oggetto di modifica.

In fase di aggiornamento del Piano di Governo del Territorio è emersa la necessità di effettuare uno studio di dettaglio, finalizzato alla ripermimetrazione dell'area di conoide del T. Valle Roja, in quanto area intensamente urbanizzata e priva di uno studio di approfondimento della pericolosità e del rischio, secondo i criteri della D.G.R. IX/2616/2011.

In ottemperanza alla D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011, l'Amministrazione Comunale di Gazzaniga propone, con il presente documento, l'aggiornamento della perimetrazione dell'area di conoide del Torrente Valle Roja, effettuata sulla base di studi di dettaglio, condotti secondo gli standard metodologici descritti nella Allegato 2, Par. 2.2.4 “*La zonazione della pericolosità generata da colate di detrito e trasporto in massa lungo le conoidi alpine*”.

Una volta definita la pericolosità degli ambiti oggetto di approfondimento, viene assegnata la relativa classe di fattibilità geologica, seguendo le indicazioni riportate nella Tabella 2 della D.G.R. n. IX/2616/2011 e redatte le *Norme Geologiche di Piano*.

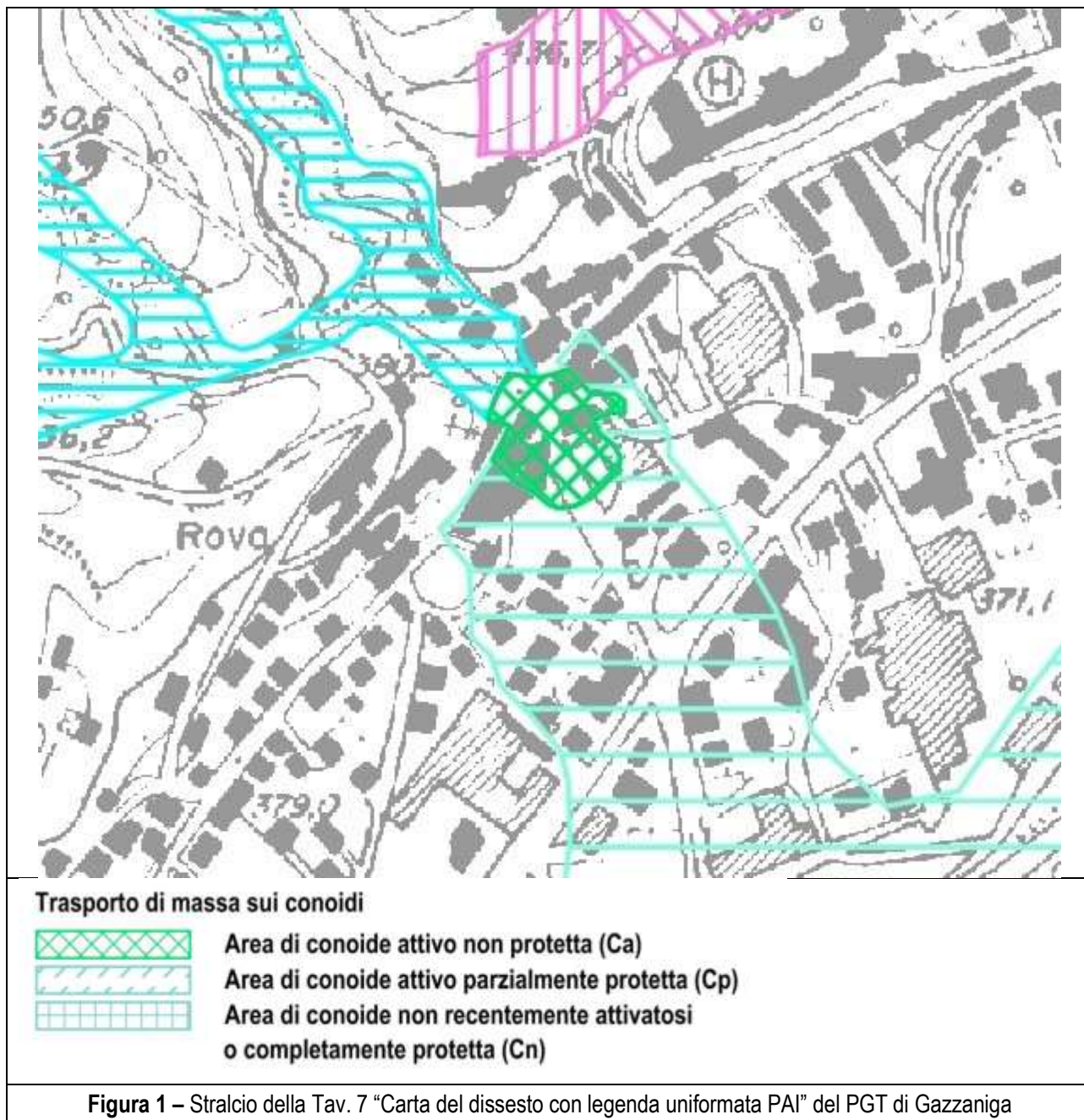
Le risultanze, una volta ottenuta l'approvazione regionale, verranno recepite nella Componente Geologica del P.G.T. e le *Norme Geologiche di Piano* integrate nel Piano delle Regole, secondo i criteri procedurali previsti dalla D.G.R. XI/6314 del 26 aprile 2022 “*Modifiche ai criteri e indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57 della L.R. 11*”.

¹ La componente geologica del PGT di Gazzaniga è stata ritenuta conforme ai contenuti della verifica di compatibilità di cui all'art.18 delle NdA del PAI con parere tecnico della Regione Lombardia n. Z1.2012.0005825 del 01/03/2012



marzo 2005, n. 12 approvati con D.G.R. 2616/2011 e integrati con D.G.R. 6738/2017".

La carta del dissesto, vigente, del conoide della Valle Rova è proposta in **Figura 1**.





2. RIFERIMENTI METODOLOGICI

La metodologia di studio adottata è definita dall'Allegato 2 della D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 *"Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n. 12', approvati con D.G.R. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con D.G.R. 28 maggio 2008, n. 8/7374"*.

La procedura è da utilizzarsi per le conoidi alpine interessate da trasporto solido e/o in massa (bed load, debris flood, debris flow, debris torrent) o per colate detritiche tipo debris flow e debris avalanche, che possono innescarsi sui versanti anche in assenza di un edificio di conoide ben sviluppato sul fondovalle.

I criteri regionali sono derivati dai seguenti lavori: A.V. (1996), Aulitzky (1982), Kellerhals & Church (1990), Ceriani et al. (1998).

La procedura di zonazione dovrà essere preceduta da un'analisi storica, che permetta di avere un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che interessano la conoide dando indicazioni sulla frequenza degli eventi, le variazioni delle caratteristiche dell'alveo e sull'incidenza antropica sulla conoide.

Le analisi storiche comprendono:

- eventi alluvionali sulla conoide;
- localizzazione di aree e manufatti danneggiati, con interviste in loco;
- cartografie esistenti;
- divagazione dell'alveo in epoca storica;
- foto aeree riprese in tempi diversi.

Nell'analisi di eventi storici è utile cercare informazioni dettagliate anche di eventi intensi, ma non estremi, che non hanno provocato gravi danni alle infrastrutture e/o alla popolazione, ma che possono fornire indicazioni su settori che potrebbero rivelarsi punti critici, come ad esempio zone di sovralluvionamento, ponti o attraversamenti che hanno creato sbarramenti temporanei.

A questa fase preliminare segue la caratterizzazione geomorfologica ed idraulica delle conoidi, utilizzando anche l'apposita scheda conoidi (Allegato 7 della DGR IX/2616/2011), attraverso i seguenti punti:

- a) Analisi geologica e geomorfologica del bacino (da dati esistenti);
- b) Analisi idrologica (da dati esistenti);
- c) Individuazione e descrizione dei punti critici sulla conoide (sezioni ristrette, attraversamenti, curve, ecc);
- d) Valutazione del grado di incisione del canale principale nei vari settori della conoide;
- e) Delimitazione dei settori con diversa influenza sul deflusso delle portate solido-liquide (restringimenti, diminuzione della pendenza, curve);
- f) Individuazione delle zone che possono modificare, catturare o deviare il deflusso (paleoalvei, viabilità e attraversamenti di fondo alveo, bacini naturali di espansione, ecc.);
- g) Censimento e valutazione in termini di efficacia e di efficienza delle opere idrauliche nel bacino e sulla conoide;



- h) Censimento degli attraversamenti (ponti e passerelle) e valutazione della loro influenza sul deflusso;
- i) Stima dei volumi massimi rimobilizzabili nel bacino (magnitudo);

Particolare attenzione andrà posta all'effetto sulla pericolosità delle opere di sistemazione idraulica e degli attraversamenti, come ad esempio:

1. Argini o scogliere realizzate nella zona di pertinenza fluviale (individuazione delle sponde naturali recenti) con notevole riduzione di quest'ultima
2. Restringimento dell'alveo per cause antropiche nel settore mediano e distale della conoide
3. Briglie poste poco a valle di attraversamenti con forte innalzamento del fondo d'alveo (sovralluvionamento) in prossimità della struttura
4. Impossibilità che eventuali deflussi fuori alveo possano rientrare nel medesimo (ad esempio arginatura del settore medio-distale della conoide)
5. Piste di accesso all'alveo, a bassa pendenza, in direzione opposta alla corrente, che possono diventare direzioni preferenziali di esondazione
6. Vasche di accumulo poste in zone a bassa pendenza, con presenza di opere di attraversamento all'entrata della vasca, di cui valutare l'eventuale capacità di stoccaggio
7. Opere idrauliche (briglie e soglie) e/o ponti realizzati in prossimità dell'apice che possono determinare una deviazione del flusso o un pericoloso effetto diga.

Una grandezza di importante valutazione è il volume massimo di materiale detritico (magnitudo), rimobilizzabile durante un evento di trasporto in massa o misto su una conoide. I valori di magnitudo per i singoli bacini sono messi a disposizione da Regione Lombardia. Nel caso si ritenga che i valori forniti da Regione Lombardia non siano adeguati, è possibile rideterminare la magnitudo con i metodi di seguito citati, spiegando chiaramente le motivazioni per cui si è proceduto a tale scelta. Se i valori di magnitudo per l'area di studio non sono compresi nel database di Regione Lombardia, la magnitudo può essere valutata in due modi:

- I. direttamente pedonando con dettaglio le aste principali del bacino e le zone di testata e stimando i volumi di materiale presenti (metodo di SCHEURINGER, 1988);
- II. indirettamente mediante metodi empirici riportati nella letteratura tecnica (Tabella 1), integrati con i dati storici e con le osservazioni effettuate nei bacini in esame (riattivazione di grandi frane, erosioni di sponda e/o di fondo, presenza di sbarramenti idroelettrici e di opere di difesa idraulica).

Nel caso in cui l'incertezza dei dati non permettesse la definizione di un valore accurato della magnitudo, può essere comunque utile indicare un campo di valori secondo le formule sotto riportate:

Bottino, Crivellari & Mandrone (1996): Dall'interpolazione di sei valori di volumi di colata misurati in occasione di eventi verificatisi nella zona di Ivrea nel 1993.

$$M = 21241 \cdot Ab^{0,28}$$

Ab = area del bacino (km²)

Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini (2000)

$$M = 1000 K \cdot Ab \cdot Mb^{0.8} \cdot ScI_c \cdot I_{F-2}$$



K = 3 per fenomeni di bed load e debris flood, K = 5.4 per fenomeni di debris flow

Ab = area del bacino (km²)

Mb = indice di Melton: (Hmax-Hmin)/Ab 0.5

Hmax = quota massima del bacino (km)

Hmin = quota minima del bacino (km)

Scl_c = pendenza del collettore sul conoide (%)

I_F = indice di frana (1: grandi frane e/o frane lungo la rete idrografica; 2: frane sui versanti; 3: frane piccole o assenti).

D'Agostino et al. (1996)

$$M1 = 39 \cdot Ab \cdot Scl \cdot 1,5 \cdot (I.G.) \cdot (I.T.) - 0,3$$

$$M2 = 36 \cdot Ab \cdot Scl \cdot 1,5 \cdot (I.G.) \cdot (1 + C.S.) - 1$$

Ab = area del bacino (km²)

Scl = pendenza asta principale (%)

I.G.= dipende dai litotipi costituenti il bacino

I.T.= indice di trasporto basato sulla classificazione di Aulitzky

C.S.= coefficiente di sistemazione

Tropeano & Turconi (1999)

$$M = (0,542 \cdot Ae + 0,0151) \cdot 0,019 \cdot h \cdot \text{tg } q.$$

Ae = area effettiva del bacino (km²), per aree < 15 km²

h = spessore medio del materiale mobilizzabile

tg q è la pendenza media del bacino

Bianco (1999)

$$M = 14000A \cdot i(1.5-i) \cdot I.G.(1+0.1I.G.) \pm 13000A0.6$$

A = area del bacino (km²)

i = pendenza media dell'asta torrentizia del bacino

I.G.= Indice geologico che dipende dai litotipi costituenti il bacino (si veda D'Agostino)

Una volta determinata la magnitudo (M), la sezione di deflusso A (m²) e l'area inondata B (m²) possono essere calcolate secondo la formula empirica di Schilling & Iverson (1997), applicabile per volumetrie maggiori di 50000 m³:

$$A = 0.05 V^{2/3}$$

$$B = 200 V^{2/3}$$

Un altro parametro da valutare è la portata di massima piena per diversi periodi di ritorno; anche in questo caso dovranno essere utilizzati i dati presenti nel database di Regione Lombardia. Come nel caso della magnitudo, in mancanza di dati o in caso essi non siano ritenuti validi, si potrà procedere al calcolo della portata utilizzando la formula del metodo razionale e comunque dettagliando le scelte dei parametri nella relazione tecnica.



Un altro parametro da valutare è la portata di picco di una colata, che può essere determinata tramite metodi diretti e indiretti. Fra i metodi indiretti possono essere utilizzate le seguenti formule:

$$q = 200 / (S+28) + 0.6 \text{ (Anselmo, 1985)}$$

dove

q = portata specifica liquida in m³/s/km² e S = area del bacino in km².

$$Q_{df} = Q_l \cdot (C_x / C_x - C_{df}) \text{ (Armanini, 1996)}$$

dove

Q_{df} = portata massima della colata,

Q_l = portata massima liquida,

C_{df} = concentrazione della colata e C_x = 0.65 ÷ 0.75.

La concentrazione della colata (C_{df}) può, secondo Takahashi (1991), essere calcolata assumendo che per pendenze sufficientemente elevate (>20°) la concentrazione della colata sia C_{df} = 0.9 * C_x, per cui risulta Q_{df} = 10 * Q_l. In caso di pendenze minori, la concentrazione della colata viene assunta pari a quella della colata satura, in condizioni di movimento incipiente.

In alternativa al metodo morfologico precedentemente descritto, è possibile utilizzare per le valutazioni di pericolosità su conoide anche modellazioni numeriche di sviluppo di una colata detritica (ad esempio FLO2D). Tali applicazioni saranno possibili solo in presenza di dati di partenza che siano stati tarati su precedenti eventi verificatisi lungo l'asta torrentizia. In particolare, risultano normalmente di difficile valutazione i parametri legati alla reologia della colata, che possono essere tarati in modo appropriato solo analizzando in dettaglio eventi precedenti. Allo stesso modo dovranno essere tarati i valori di magnitudo e di estensione delle aree invase dalla colata, valutata la velocità dell'evento e considerati gli spessori del materiale depositato, etc. Inoltre, è necessario utilizzare un DTM di dettaglio (da 1x1 a 5x5 m) che permetta una miglior precisione della delimitazione delle aree che possono essere invase da colate detritiche, nonché inserire nel modello le opere di difesa del suolo presenti (se non già riportate nel DTM).

Tutti i parametri utilizzati nella modellazione dovranno essere descritti e giustificati nella relazione tecnica.

Tutte le informazioni raccolte concorrono alla redazione della carta di pericolosità, che comprende le seguenti classi.

1. Pericolosità molto bassa (H1): area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto
2. Pericolosità bassa (H2): area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto
3. Pericolosità media (H3): area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare, si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi



4. Pericolosità alta (H4): area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti
5. Pericolosità molto alta (H5): comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.

In una valutazione preliminare della pericolosità o per conoidi piccole ($< 0,1 \text{ km}^2$) possono essere utilizzate tre classi così accorpate: pericolosità bassa (H1 + H2 -verde), pericolosità media (H3 -giallo), pericolosità alta (H4 + H5 -rosso).

Le varie fasi dello studio andranno descritte e adeguatamente commentate in una relazione tecnica, che deve sviluppare i seguenti punti:

- Inquadramento geologico-geomorfologico del bacino con particolare riferimento ai fenomeni di dissesto presenti
- Analisi idrologica (da dati esistenti) volta soprattutto alla stima della portata massima ed alle massime intensità di pioggia
- Commenti su: punti critici, analisi storica degli eventi alluvionali, divagazioni dell'alveo, ecc.
- Discussione dei risultati e conclusioni

Allegati alla relazione sono previsti i seguenti elaborati cartografici e schede:

- Carta di inquadramento geologico-geomorfologica in scala 1:10000 (1:25.000 per i bacini $> 30 \text{ km}^2$) che può essere desunta da dati preesistenti a scala adeguata
- Carta geomorfologia della conoide, in scala 1:2000 o 1:5000 (con indicazione dello spessore delle colate individuate e/o delle aree interessate da eventi storici, del diametro medio e massimo del materiale presente in alveo e sulla conoide, delle direttrici di deflusso e delle opere idrauliche presenti)
- Carta della pericolosità della conoide, in scala 1:2000 o 1:5000
- scheda conoide (Allegato 7 della D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011).



3. ANALISI STORICA

Come detto lo studio delle aree di conoide deve essere preceduto da un'analisi storica, che permetta di avere un quadro spaziale e temporale dei fenomeni che interessano la conoide, la frequenza degli eventi, la variazione delle caratteristiche dell'alveo e dell'incidenza antropica sulla conoide.

L'analisi storica comprende:

- eventi alluvionali sulla conoide
- localizzazione di aree o manufatti danneggiati, con interviste in loco
- cartografie esistenti
- divagazione dell'alveo in epoca storica
- foto aeree riprese in tempi diversi.

Documentazione consultata

Eventi di piena e frana nell'Italia settentrionale nel periodo 2002-2004 – Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, Pubblicazione n. 2911 del GNDCl a cura di Domenico Tropeano, Fabio Luino, Laura Turconi.

1972, 10 luglio – In Comune di Albino «si sono riversate grandi quantità di materiale alluvionale proveniente dalle Valli S. Maria, Valle Secca, Valle Albina, che hanno ostruito le strade del paese e frazioni relative... nonché lo scoppio di tratti di fognatura... La viabilità interna degli abitati è stata completamente interrotta per l'accumulo di materiali e detriti» (Ministero LL.PP., Provveditorato OO.PP. Lombardia, Genio Civile Bergamo, Verbale di Somma Urgenza, 10 agosto 1972). «In Comune di Gazzaniga si sono riversate grandi quantità di materiale alluvionale proveniente dalle **Valli Rova**, S. Rocco, S. Carlo, Misma e Valle di Orezza che hanno ostruito le strade e le piazze del paese nonché le abitazioni, i negozi, i magazzini prospicienti le strade stesse» (R. Lomb., Genio Civile Bergamo, Verbale di somma urgenza, 11 luglio 1972). «La sera... tra le ore 21 e le 23 circa, un violento temporale si scatenava lungo l'asse della bassa Valle Seriana». Tra i vari casi di debris flow osservati, «maggiori volumi di trasporto solido ebbe il torrente Rovaro, che confluisce al Fiume Serio all'estremità sud-occidentale di Gazzaniga... considerevoli quantità di acqua e detriti sono... transitati oltre l'ultima briglia, superando la strada comunale, alluvionando la piana fino alla strada provinciale» (GOVI & MORTARA, 1981).

Eventi alluvionali e frane nell'Italia settentrionale periodo 1972- 1974 – Gruppo nazionale per la difesa dalle catastrofi idrogeologiche, Pubblicazione n. 1897 del GNDCl a cura di Mario Govi.

I dissesti prodotti dal nubifragio del 10 luglio 1972 nella bassa Valle Seriana a cura di Mario Govi e Giovanni Mortara



Evento del 10 luglio 1972

La sera del 10 luglio 1972, tra le ore 21 e le ore 23 circa, un violento temporale si scatenava lungo l'asse della bassa Valle Seriana, sviluppandosi tra i paesi di Nembro e Gorno. Il fenomeno meteorologico, caratterizzato da continui ed intensi scrosci di pioggia e da forti raffiche di vento, si manifestava particolarmente accentuato nell'area compresa tra gli abitati di Pradalunga, Albino e Gazzaniga ove provocava numerosissimi dissesti e produceva considerevoli danni a beni pubblici e privati.

TIPOLOGIA DEI DISSESTI

Gli effetti prodotti dal nubifragio hanno riguardato principalmente la parte media e inferiore dei versanti che furono diffusamente incisi da frane, sia pure di piccole dimensioni, in alcune aree i dissesti risultarono così concentrati da raggiungere frequenze fino a 80 fenomeni per km².

L'evento ha avuto dimensioni spaziali relativamente limitate e caratterizzato da breve durata, di conseguenza la rete idrografica principale che attraversa il territorio colpito (Fiume Serio) non è stata interessata da particolari fenomeni di piena. Nell'area dove le precipitazioni furono più elevate, sono stati coinvolti solo alcuni corsi d'acqua di ordine inferiore, la cui violenta attività torrentizia, tuttavia, provocò i danni più gravi entro i centri abitati. Le frane si sono innescate esclusivamente nei terreni sciolti della copertura eluviale e colluviale, non protetta dalla vegetazione boschiva e nei depositi dei terrazzi pleistocenici (vedi **Fig. 6 Formazione di Masserini**); gli spessori dei materiali coinvolti variano da pochi decimetri a circa 3 m, lo sviluppo areale dei singoli fenomeni lungo tutto il loro percorso è compreso tra una decina di m² (frane su scarpate di terrazzi artificiali) e circa 2000 m². Dal punto di vista tipologico, in funzione delle caratteristiche dinamiche dei processi ed anche dei volumi dei materiali scesi a valle, si sono osservati i seguenti casi:

Tipo a

- distacco dei livelli più superficiali della coltre pedogenizzata, limitato all'orizzonte che contiene gli apparati radicali della copertura erbacea ed in parte arbustiva; lo spessore è di qualche decimetro
- distacco dell'intera coltre di terreno superficiale, fino al substrato roccioso, dove per l'acclività del versante, la copertura è costituita da un suolo regolitico inerbito, di spessore inferiore a 0.5 m.

In entrambi i casi, l'area denudata per il decorticamento è di modeste dimensioni e non supera in genere i 10-15 m²; la superficie di movimento è piana, ben delineata ai margini, ove il terreno rimasto in sede al contorno risulta nettamente troncato (vedi Foto 1). A volte nella zona di distacco non esiste accumulo di materiale:

Si osservano solo residui fangosi lungo una fascia stretta, spesso sviluppata diverse decine di metri, nella quale i ciuffi d'erba risultano diffusamente ripiegati dagli abbondanti deflussi torbidi.



Foto 1 – Zona di distacco di una frana del tipo a (rapid earth flow) nella copertura dei depositi fluvioglaciali terrazzati a monte di Gazzaniga. Il fenomeno ha coinvolto esclusivamente l'orizzonte più superficiale del terreno vegetale ricostitutosi dopo un precedente franamento ²

Il meccanismo di franamento evolve in pochi istanti da uno stadio iniziale di scivolamento della coltre di suolo interamente saturata dall'acqua, ad una fase di completa disintegrazione delle zone di terreno durante la rapida discesa a valle, associata agli abbondanti deflussi torbidi provenienti dalla zona di distacco. Lungo il percorso la miscela molto fluida provoca talora fenomeni di erosione lineare e sulle scarpate dei terrazzi innesca sovente nuove piccole frane.

Tipo b

distacco di una porzione di terreno più ampia delle precedenti per uno spessore variabile da alcuni dm a 1 m o poco più, con asportazione della coltre talora fino al substrato roccioso, la superficie di rottura è piana oppure concava, spesso incisa da minuti canali di erosione per emergenze idriche dalla scarpata perimetrale che la delimita. Il materiale in frana è interamente rimosso dalla zona di distacco, in parte disintegrato come nei tipi

² Vedi Pubblicazione citata



precedentemente descritti, ma in buona parte risulta solo disunito in zolle di varie dimensioni più o meno regolarmente allineate e distribuite lungo il percorso verso valle. Modeste zone di accumulo si realizzano talora corrispondentemente a locali settori meno acclivi; accumuli di relativo maggiore volume si osservano sui ripiani più larghi dei terrazzi ed al piede del versante quando la distanza dal luogo di distacco non supera poche decine di metri. Le abbondanti quantità d'acqua bruscamente restituite dai terreni durante questi processi, riducono fortemente gli attriti e conferiscono notevole energia cinetica ai materiali disaggregati; tra questi ultimi, singole zolle più coesive per composizione e/o per il fitto intreccio di radici d'erba e di arbusti, possono proseguire lo scivolamento per diversi metri, anche su terreno completamente pianeggiante.

Le dimensioni dell'area interessata dal distacco variano da qualche decina di m² ad alcune centinaia di m²; l'estensione complessiva nella fascia coinvolta nel dissesto, inclusa la zona percorsa dai materiali fluidificati, dipende dal dislivello tra la nicchia e la superficie di arresto: l'intera area, di forma stretta e allungata oppure sub-squadrata, può raggiungere e talora superare i 2000 m². Il meccanismo di franamento è contraddistinto inizialmente da una traslazione planare oppure rotazionale del lembo di suolo staccato; nella successiva fase di scivolamento il materiale viene rapidamente scomposto in una miscela fangosa di frammenti minuti e zolle compatte, che scorre velocemente fluidificata dall'acqua.

Tipo c

Distacco profondo del suolo, con spessori dei materiali coinvolti mediamente compresi tra 2 e 3 m, (vedi **Foto 2**), la superficie di rottura è per lo più concava ed in essa viene irregolarmente a giorno il substrato roccioso, che risulta talora parzialmente interessato dal franamento. La massa destabilizzata, disunita da fessurazioni trasversali e longitudinali, si muove in parte deformandosi plasticamente e rigonfiando nelle parti frontali, oppure dilatandosi, in funzione del contenuto d'acqua dei materiali.



Foto 2 – Nicchia di accumulo di una frana di tipo c (earth slump) sviluppata sui terreni di copertura delle argilliti retiche presso Case Masserini. La modesta acclività alla base della zona di distacco ha impedito una rapida dispersione dei materiali rimossi ³

Lo svuotamento dell'alveo di frana è spesso completo, ma talora alcune zolle di terreno, dopo un modesto spostamento, si arrestano all'interno della zona di distacco. Una certa frazione dei materiali fuoriusciti viene dispersa per fluidificazione dall'acqua, ma la maggiore percentuale si accumula alla base del pendio. Le dimensioni dell'area dissestata variano in genere da circa 100 m² fino a 1000 m². Il meccanismo di frana corrisponde comunemente ad uno scoscendimento, essendo per lo più contraddistinto da una traslazione rotazionale con movimenti differenziali delle zolle di terreno fessurate. Inferiormente il fenomeno può manifestare tendenza ad evolvere in un colamento, dinamicamente più attivo, in relazione ai volumi idrici presenti e ai contrasti morfologici esistenti alla base del distacco.

Tipo d

Il dissesto in questo caso si presenta solo nella fase iniziale della sua evoluzione: si osserva una fenditura beante sviluppata con continuità perimetralmente ad una zona che può essere di dimensioni molto variabili (da poche decine di m² fino ad oltre 2000 m²). Il terreno all'interno dell'area ha subito nell'insieme un modesto spostamento; nelle parti sommitali del dissesto, al coronamento, la scarpata principale appare solo parzialmente esposta, ed il terreno sottostante risulta abbassato e dislocato mediamente per non più di un 1 m. Nei settori mediani, si osservano fessurazioni ad andamento curvilineo, con modesto abbassamento a gradini delle zolle a valle. La parte inferiore del corpo di frana si presenta sempre plasticamente deformata con diffuso rigonfiamento

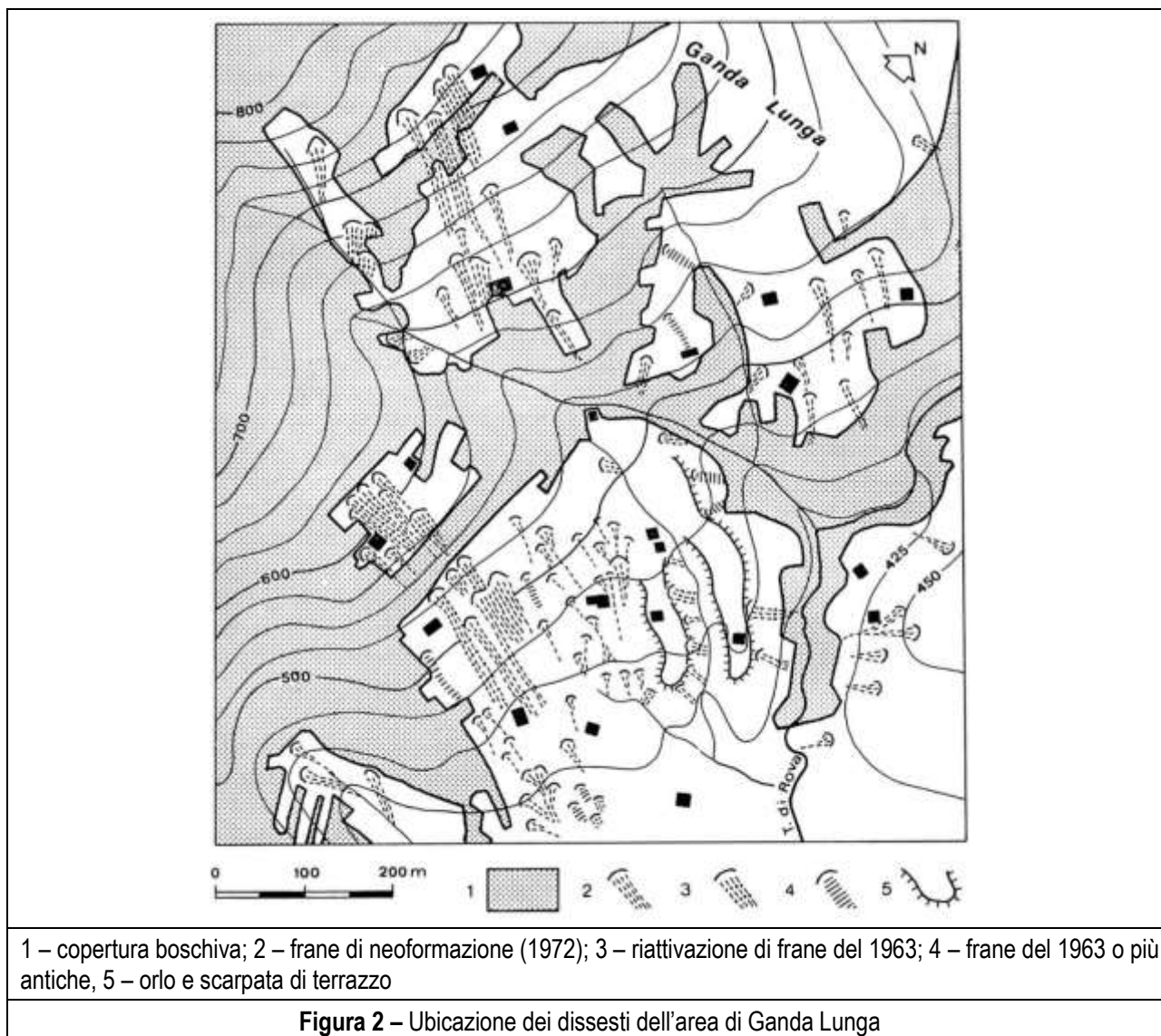
³ Vedi Pubblicazione citata

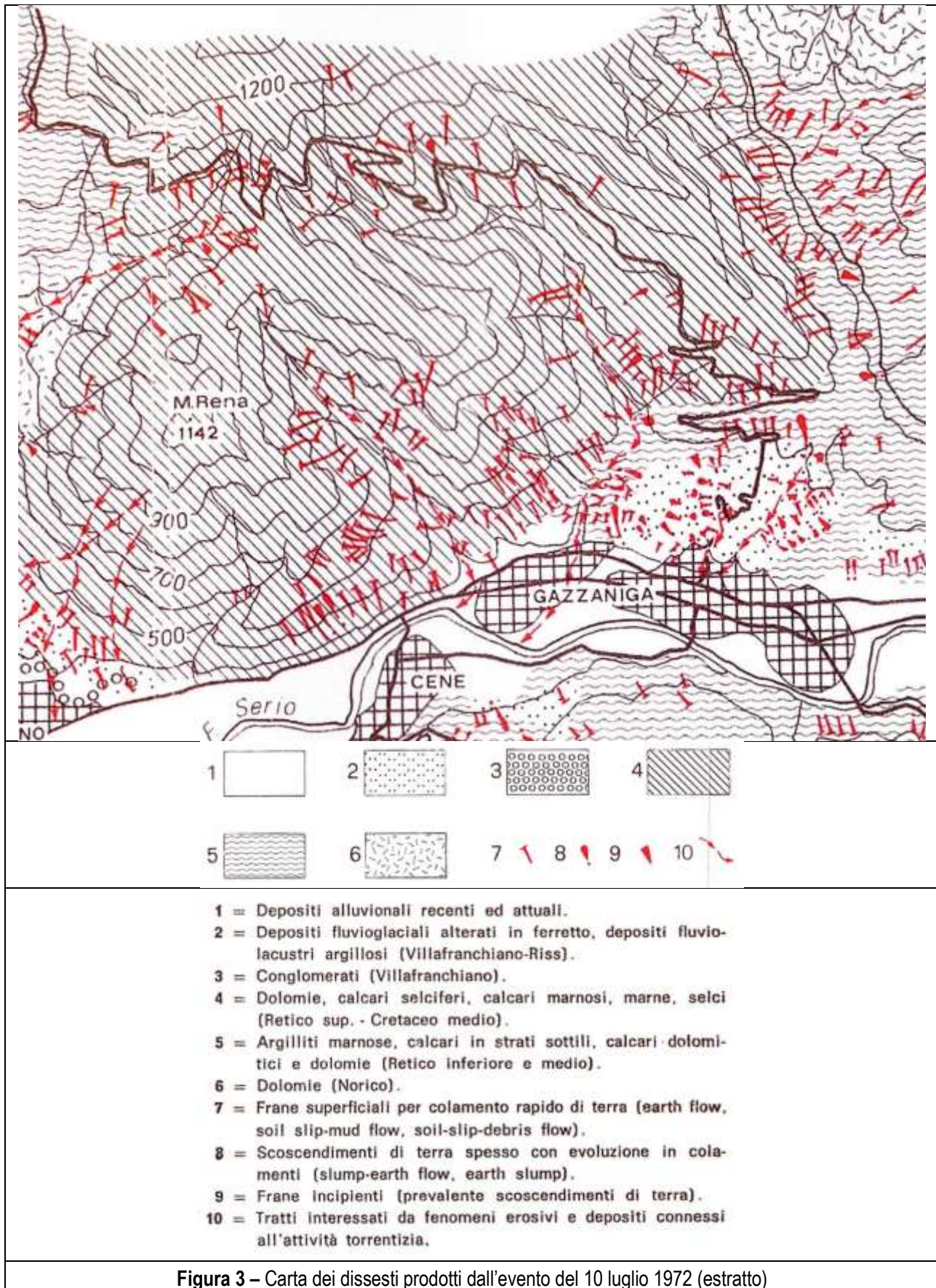


e la massa di terreno risulta solo di poco avanzata rispetto alla sua sede originaria. Questo tipo di frana è più scarsamente rappresentato; le sue caratteristiche d'insieme lasciano supporre che nella maggior parte dei casi, il movimento tenda a realizzarsi attraverso un meccanismo di traslazione rotazionale.

In **Figura 2** è riportata la carta dei dissesti relativi all'area di Ganda Lunga (bacino idrografico del T. Rova) censiti dopo l'evento del 1972.

In **Figura 3** è riportata la carta dei dissesti relativi al territorio di Gazzaniga censiti dopo l'evento del 1972.







INVENTARIO DELLE FRANE E DEI DISSESTI IDROGEOLOGICI DELLA REGIONE LOMBARDIA

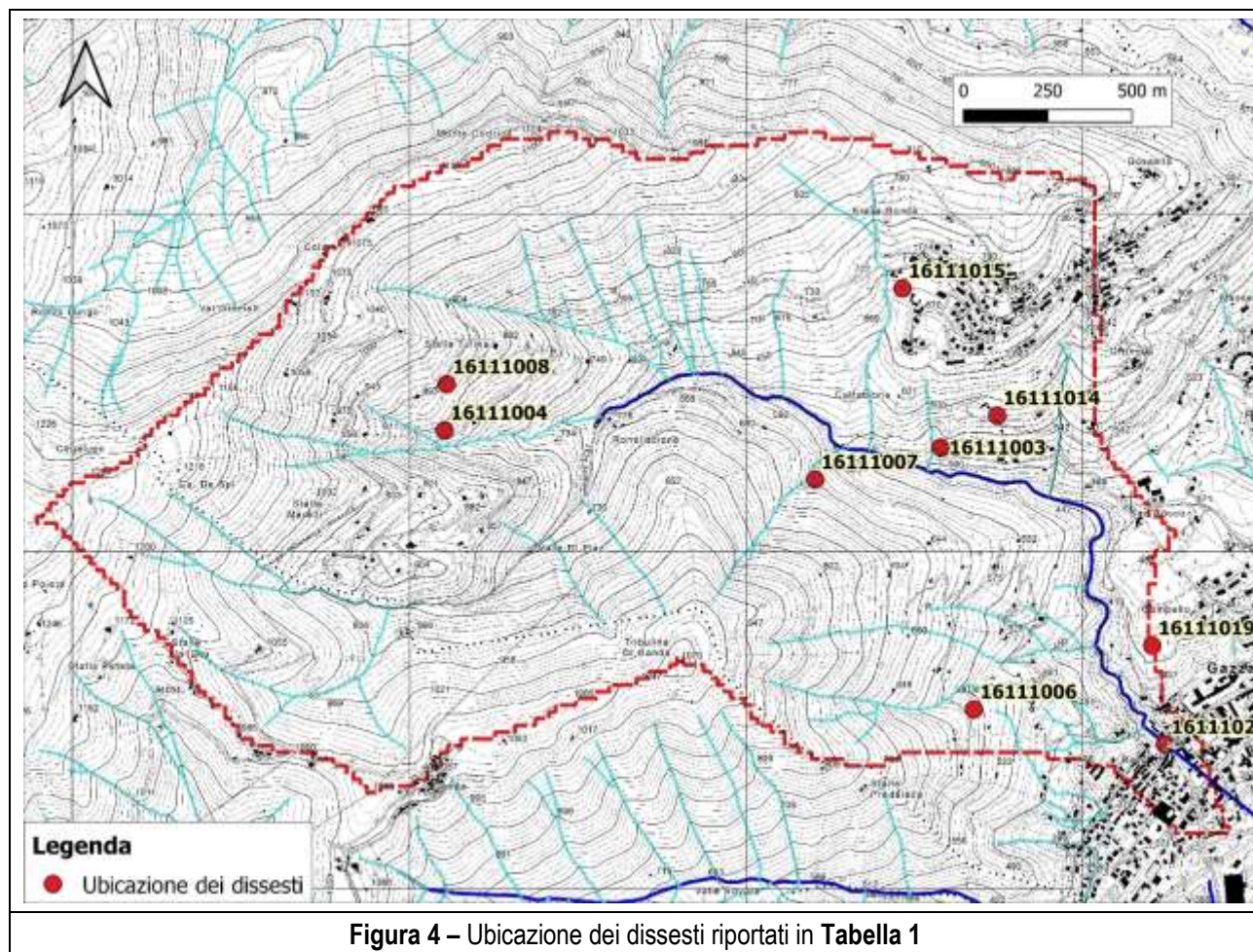


Figura 4 – Ubicazione dei dissesti riportati in Tabella 1

Codice	Località	Tipologia	Causa	Descrizione	Anno
16111003	Gelada	Scivolamento	Intense precipitazioni	Smottamento di terreno su di una strada agricola. E' stato realizzato un intervento da parte della Comunità Montana.	-
16111004	Lentè	Scivolamento	Intense precipitazioni	Dissesto che ha interessato la coltre di terreno superficiale scivolata lungo una superficie di strato.	-
16111006	Rova, stalle Predolada, Ganda Lunga	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni superficiali limoso argillosi di colore rossastro e i terreni eluvio colluviali. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq. Numerosi di questi dissesti costituiscono la riattivazione di piccole frane cadute nel 1963 e in epoche precedenti. I dissesti interessano soprattutto i terreni prativi.	1972
16111007	Ganda Lunga, Roncliscione	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni eluvio colluviali. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq, ma le colate possono percorrere anche alcune centinaia di metri.	1972



STUDIO DEL CONOIDE DEL TORRENTE VALLE ROVA
AI SENSI DELL'ALLEGATO 2 DELLA D.G.R. IX/2616 DEL 30/11/2011

RELAZIONE GENERALE

16111008	Lentè Stalla Tulina, Coldrè	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni superficiali limoso argillosi di origine eluvio colluviale. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq.	1972
16111014	val Crompla, Cattabione	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni superficiali limoso argillosi di origine eluvio colluviale. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq, ma le colate possono percorrere da alcune decine sino ad un centinaio di metri.	1972
16111015	Orezzo	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni superficiali limoso argillosi di origine eluvio colluviale. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq, ma le colate possono percorrere da alcune decine sino ad un centinaio di metri.	1972
16111019	Campello, Ospedale	Area a franosità diffusa	Intense precipitazioni	Area caratterizzata da diffusi soil slip con evoluzione in colata di terra. I dissesti interessano i terreni superficiali limoso argillosi di origine eluvio colluviale sulle scarpate di antichi terrazzi. Le dimensioni dei dissesti sono sempre contenute in circa 100-200 mq, ma le colate possono percorrere anche alcune decine di metri.	1972
16111022	torrente valle di Piaz - Rova	Colata detritica	Intense precipitazioni	Ingente trasporto di detriti, alberi e rami dalla valle Piaz che ha ostruito l'imboccatura del tratto di alveo coperto, sottopassante piazza S.Mauro. Le acque tracimate invasero la piazza per poi defluire in via 4 Novembre, di cui venne asportata in alcuni punti la sede stradale; in parte rientrarono nell'alveo per tracimare nuovamente in corrispondenza di una passerella e del ponte ferroviario. Tutte le abitazioni sui lati del torrente furono allagate	1972

Tabella 1: Descrizione dei dissesti ubicati in Figura 4

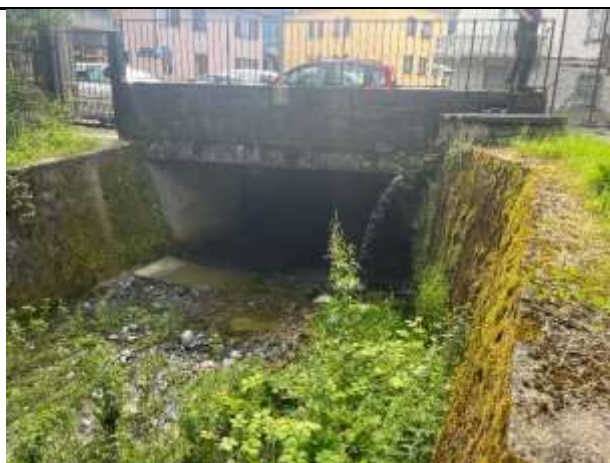


Foto 3 – Imbocco dell'alveo sotto la piazza San Mauro (vedi dissesto 1611022 Tabella 1)

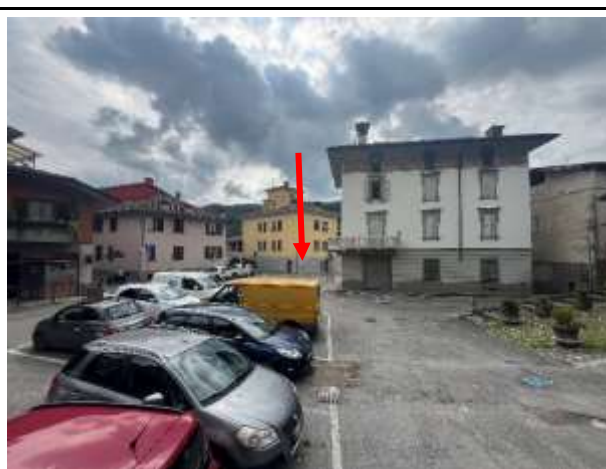


Foto 4 – Piazza San Mauro con Via IV Novembre sullo sfondo (direzione di deflusso delle acque tracimate)



STRALCIO DELLE FOTO AEREE IN TEMPI DIVERSI



Ortofoto 1954 – Fonte: Geoportale della Regione Lombardia



Ortofoto 1975 – Fonte: Geoportale della Regione Lombardia



Ortofoto 2003 – Fonte: Geoportale della Regione Lombardia



Ortofoto 2021 – Fonte: Geoportale della Regione Lombardia



Come si osserva dalle foto aeree scattate in tempi diversi, le trasformazioni del territorio sono significative tra il 1954 e il 1975, in cui avviene la tominatura dell'alveo del T. Rova (antecedente agli anni 70').

Un ulteriore tratto di alveo è stato coperto con la formazione della rotatoria tra via IV Novembre e via C. Battisti prima degli anni 2000. (vedi **Figura 5**).

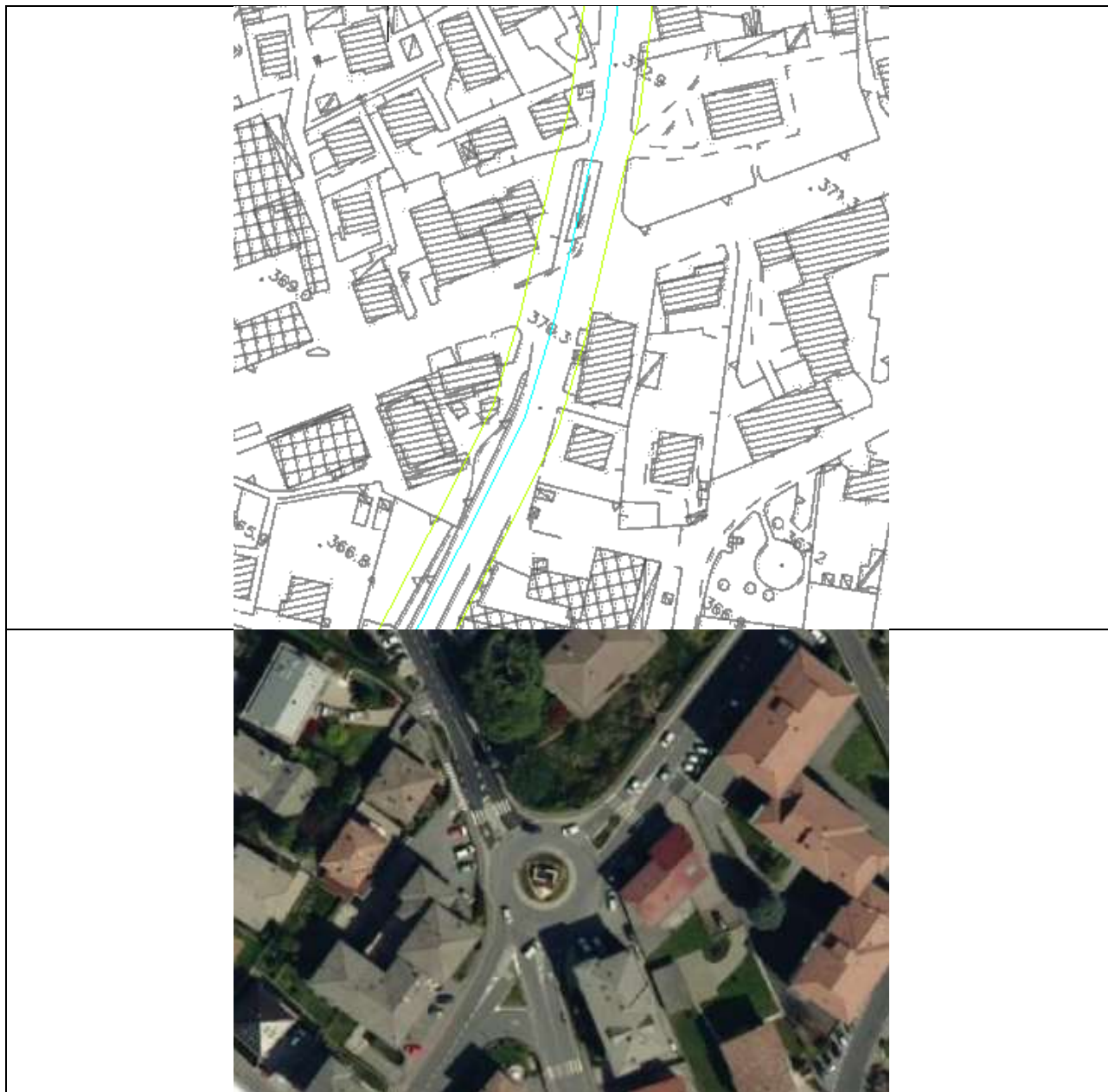


Figura 5 – Raffronto tra lo stralcio della Tavola 3 dello studio del reticolo idrico minore (redatto nel 2006 su base topografica antecedente le modifiche dell'incrocio) e l'ortofoto del 2021 della Regione Lombardia.



4. INQUADRAMENTO GENERALE

4.1 Inquadramento geografico

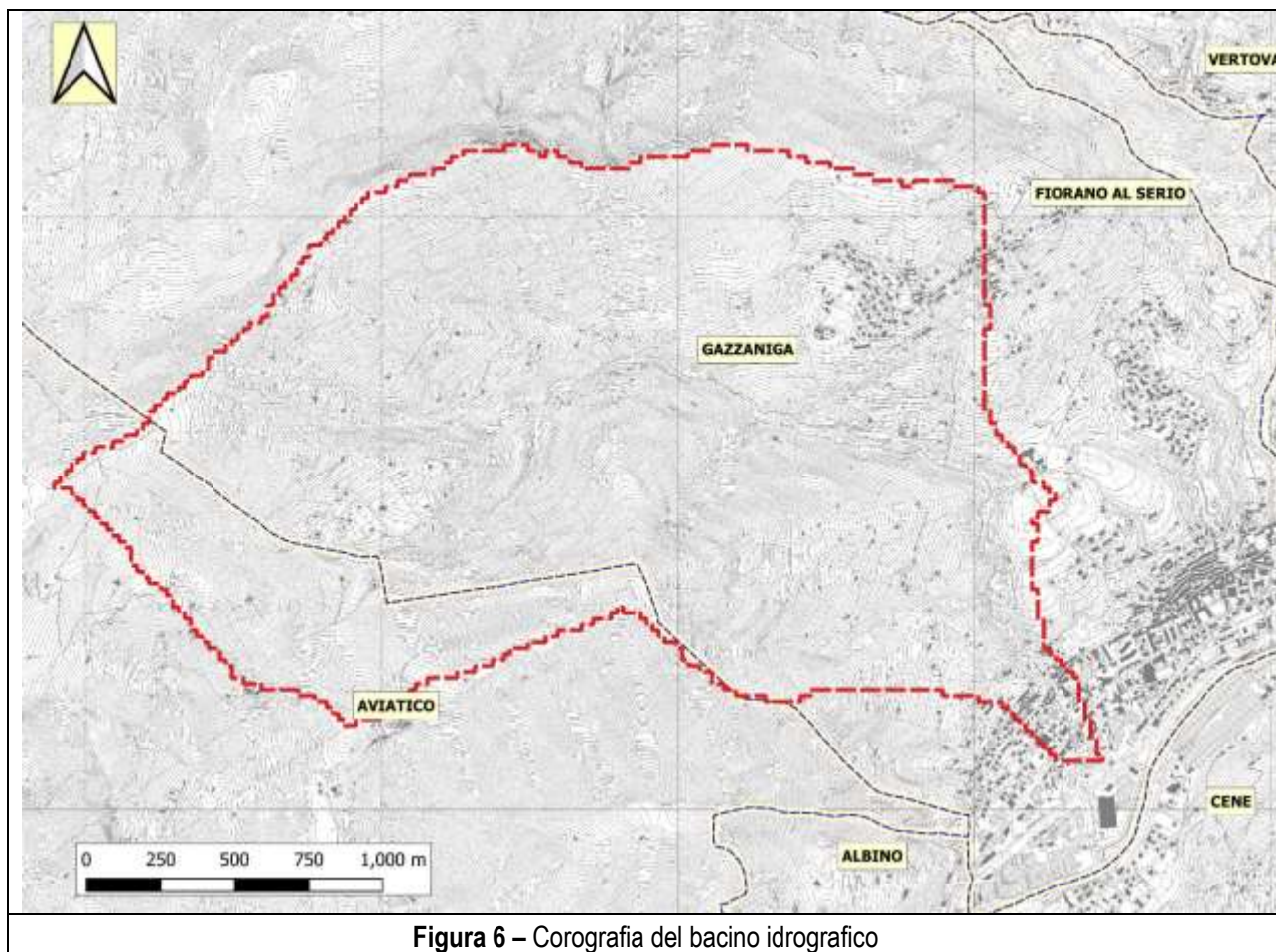


Figura 6 – Corografia del bacino idrografico

Il bacino idrografico del T. Valle Rova presenta una forma allungata in direzione est-ovest (vedi **Figura 6**) e costituisce un affluente in destra idrografica del Fiume Serio. Si estende sul territorio di Aviatico e Gazzaniga. Il crinale del bacino si sviluppa, da sud a nord, dalla Località Ganda (m 1067 s.l.m.) fino al Monte Cedrina (m 1124 s.l.m.). La parte inferiore del bacino si estende tra la Frazione di Orezzo (Gazzaniga) a quota m 670 s.l.m e Località Valle Quadru (quota m 500 s.l.m.). Il torrente confluisce in sponda destra del Fiume Serio a quota m 364 s.l.m.

Nella **Tavola 1** è proposta la corografia del bacino.



4.2 Inquadramento geologico

INQUADRAMENTO STRUTTURALE

La media Valle Seriana (e quindi il bacino idrografico della Valle Rova) ricade all'interno delle Alpi Meridionali (Sudalpino), che si collocano strutturalmente a sud della *Linea Insubrica* rispetto alle Alpi Maggiori. Il Sudalpino è costituito quasi interamente da rocce sedimentarie, in particolare carbonatiche, calcari, calcari marnosi, oltre a marne, argilliti, arenarie, alternanze arenarie-peliti, di età prevalentemente mesozoica e cenozoica (250-50 milioni di anni).

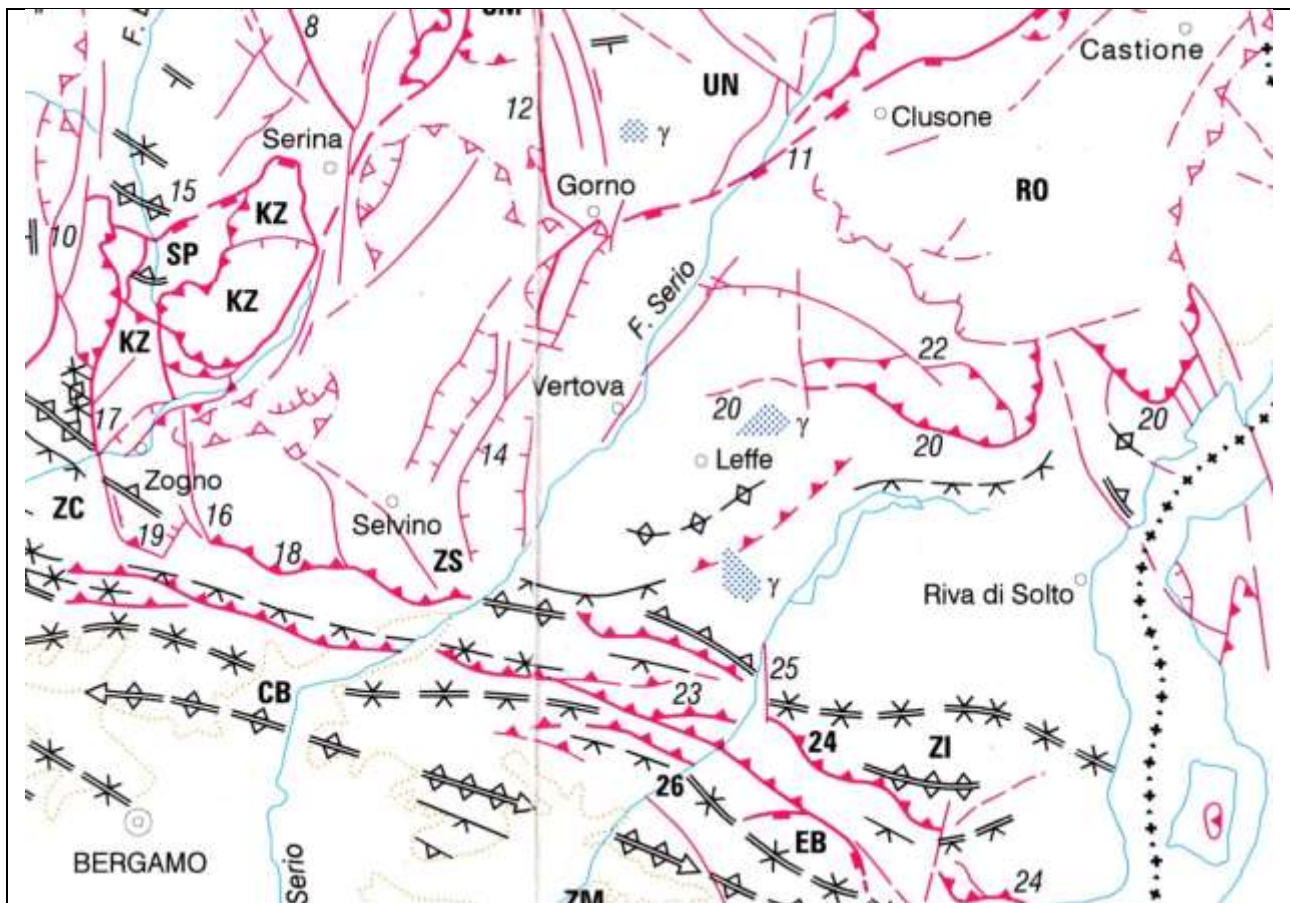
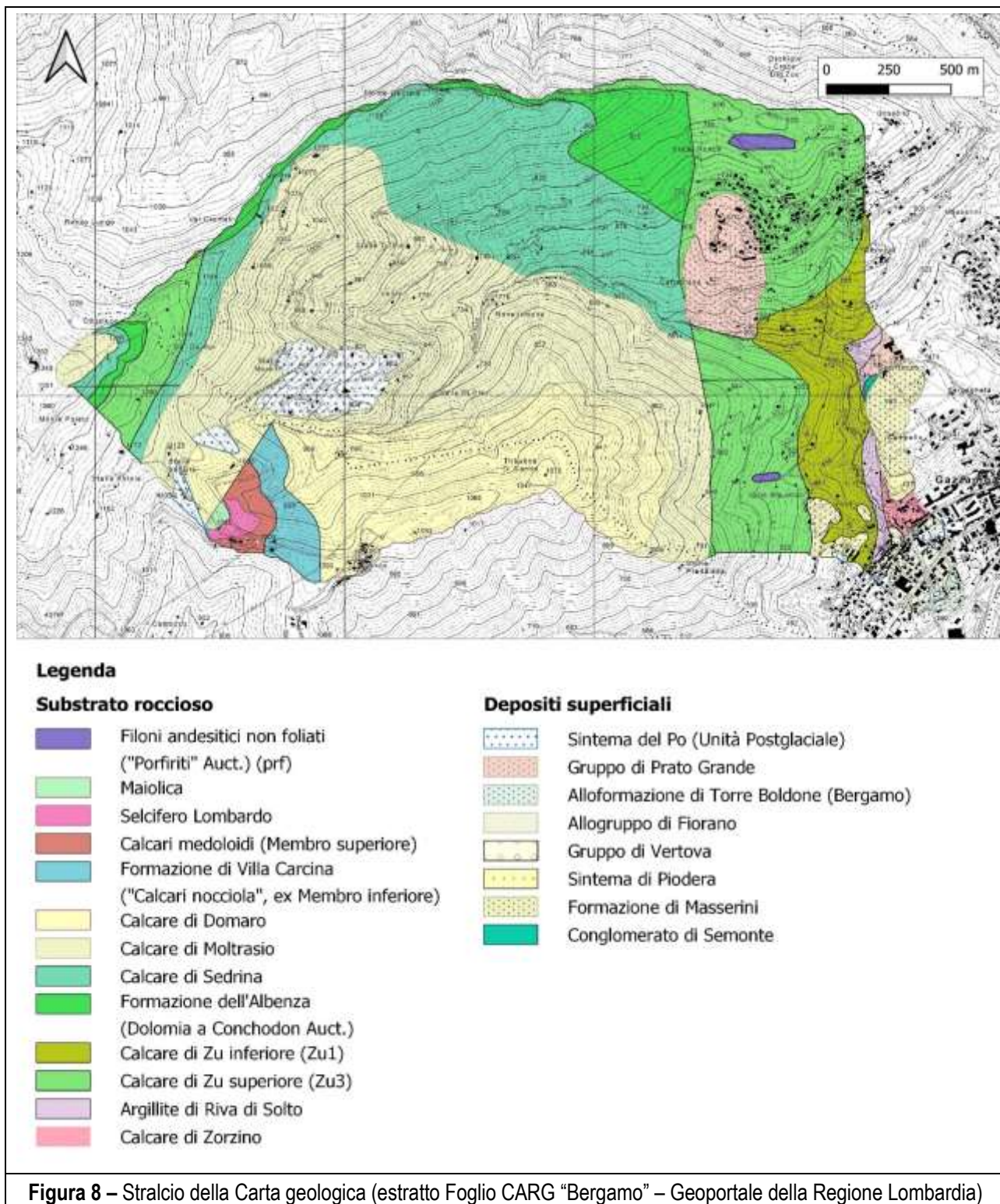


Figura 7 – Schema strutturale (Estratto dalla Carta Geologica della Provincia di Bergamo)

La media Valle Seriana è caratterizzata dalla fascia a pieghe e sovrascorrimenti (“thrust di Albino”) che segna il passaggio alla Flessura Pedemontana. I rilievi del Monte Rena sono caratterizzati dall'affioramento della successione carbonatica tardo – triassica e giurassica comprendente, dal basso verso l'alto stratigrafico, le Argilliti di Riva di Solto, il Calcare di Zu, la Dolomia a Conchodon, il Calcare di Sedrina, il Calcare di Moltrasio ed il Calcare di Domaro (vedi **Figura 7**). Il versante è attraversato da un sistema di faglie con componente normale (sistema di faglie di Aviatice e Amora), dirette N-S e NE-SO, responsabili in questo settore del contatto tettonico tra unità giurassiche e tardo-triassiche (vedi n. 14 in **Figura 7**). Si osservano, inoltre, faglie a basso



angolo interne al *Calcare di Zu*, che possono rappresentare scollamenti e sovrascorrimenti minori con significato analogo al thrust di Albino. L'intera successione immerge verso N-NO con un'inclinazione media di 30° e rappresenta il lembo meridionale di un'ampia sinclinale, con asse diretto circa E-O, che deforma le unità del Monte Rena (a sud del bacino idrografico, non rappresentato in **Figura 8**).





SCHEMA STRATIGRAFICO

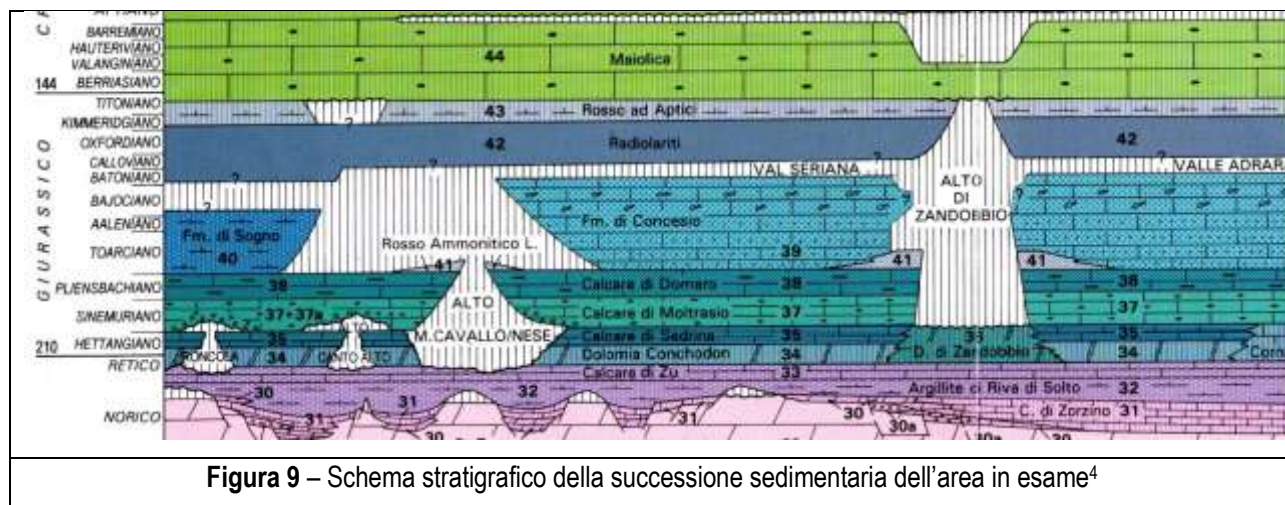


Figura 9 – Schema stratigrafico della successione sedimentaria dell'area in esame⁴

DESCRIZIONE DELLE UNITÀ GEOLOGICHE⁵

Le unità geologiche sono descritte a partire dalla più antica alla più recente, con riferimento allo schema stratigrafico di **Figura 9**:

Calcare di Zorzino: Si tratta di una successione piuttosto monotona di calcilutiti nere o grigio-scuri, in strati prevalentemente planari di 10-30 cm, talora suddivisi da sottili livelli di marne nerastre, con laminazioni millimetriche o centimetriche piano-parallele, fetide alla percussione. Si osservano rare intercalazioni calcarenitiche e ruditiche, talora con base erosiva e con gradazione diretta. L'associazione di facies comprende inoltre livelli di scivolamento e deformazione sinsedimentaria. La stratificazione è ben evidente in strati piano paralleli di spessore da centimetrico a pluridecimetrico, con rare e sottili intercalazioni centimetriche di marne nere. Nella parte medio-superiore si osserva un incremento nel contenuto di terrigeni fini passando così gradualmente a calcari marnosi neri sottilmente stratificati, spesso carboniosi e ricchi di fossili.

Argillite di Riva di Solto: Formazione caratterizzata da alternanze irregolari di argilliti nere, argilliti marnose e calcari marnosi giallastri. Questi risultano più frequenti nella parte alta della Formazione. La stratificazione è sottile in corrispondenza delle argilliti e diventa pluridecimetica in corrispondenza dei calcari. Rispetto al bacino del Torrente Rova, affiora nel fondovalle per gli effetti dell'assetto strutturale.

Calcare di Zu: Unità suddivisa in due litozone (Foglio CARG "Bergamo")

Litozona inferiore

La litozona è costituita da alternanze di calcari micritici e bioclastici con calcari marnosi da grigi a nerastri, marne e argilliti marnose nerastre. Queste litofacies si associano in modo ciclico, costituendo in prevalenza sequenze negative, più raramente simmetriche o positive. Le sequenze sono formate da gruppi di strati piano-paralleli, con spessore e frequenza degli strati calcarei varianti in modo sistematico verso l'alto. Le sequenze negative sono in genere aperte da argilliti grigio-scuri laminate, passanti verso l'alto a marne e calcari marnosi, fino a

⁴ Estratto dalla "Carta Geologica della Provincia di Bergamo" scala 1: 50.000.

⁵ Note illustrative del Foglio CARG "Bergamo" in scala 1: 50.000; Note illustrative della "Carta Geologica della Provincia di Bergamo" scala 1: 50.000.



calcarei micritico-bioclastici, questi ultimi costituenti banchi formati da gruppi di strati medi e spessi, amalgamati. Queste successioni si sviluppano con spessori metrici/decametrici. L'unità è affiorante nella zona di chiusura del bacino.

Litozona superiore

Il limite con la litozona inferiore è netto, essendo rappresentato dall'appoggio di marne argillose grigio-scuri sui calcari micritici in strati amalgamati appartenenti alla sommità del sottostante banco a coralli. Questo limite corrisponde pressoché ovunque ad un risalto morfologico con sviluppo di una cengia erbosa, per questo è in genere raramente esposto. In prossimità del limite inferiore è possibile incontrare marne dolomitiche di colore ocraceo, talora vacuolari, con pseudomorfi di carbonati su gesso; a queste possono essere associate vere e proprie "carniole", costituite da calcari dolomitici, vacuolari, con dissoluzione dei minerali evaporitici. L'unità è presente nella parte inferiore del bacino idrografico.

Formazione dell'Albenza: Il termine Formazione dell'Albenza è stato proposto con la redazione del Foglio Carg "Bergamo". Questa denominazione sostituisce la precedente tradizionale denominazione di Dolomia a Conchodon.

La *Formazione dell'Albenza* è prevalentemente carbonatica, organizzata in strati mal definiti da superfici discontinue e in banchi talora amalgamati, in questo caso di spessore plurimetrico, di colore grigionocciola chiaro. Nel complesso si tratta di calcareniti oolitiche associate a calcari micritici poveri di fossili. La dolomitizzazione è presente in modo localizzato e interessa molto raramente l'intera formazione. Si tratta di solito di una dolomitizzazione tardiva e selettiva che interessa principalmente gli intervalli a granulometria maggiore (calcareniti oolitiche dolomitizzate) e subordinatamente, in plaghe, le facies micritiche, che assumono in questi casi tessiture cristalline a grana molto fine.

Calcare di Sedrina: Si tratta di una successione ben stratificata di calcari bioclastici, calcari oolitici e calcari marnosi con colorazione da grigio a nocciola, da mediamente stratificati a massicci, con rara presenza di selci biancastre. Il litotipo affiora in adiacenza alla Formazione dell'Albenza.

Calcare di Montrasio: Il Calcare di Moltrasio è costituito da una successione di calcari marnosi grigio scuri o neri, con noduli e liste di selce a stratificazione media, piano parallela, con frequenti intercalazioni marnose.

Calcare di Domaro: Si tratta di una successione aciclica di strati piano-paralleli, calcareo-marnosi, selciferi, con interstrati marnoso-argillosi. La litozona è caratterizzata da un'articolata associazione di facies, che comprende: calcari marnosi grigio-chiari, selciferi, con liste e noduli di selce grigio-chiara, ocra o rosata, in strati piano-paralleli o paralleli-ondulati, da medi a spessi, passanti con gradualità a tetto e letto agli interstrati marnoso-argillosi. Questa litozona è caratterizzata dalla fine dispersione delle bioturbazioni, che interessano gli strati uniformemente da tetto a letto. Localmente si ritrovano bivalvi, ammonoidi, rari crinoidi. Gli interstrati sono costituiti da marne e marne argillose, omogenee o laminate, di colore grigio chiaro, ocra o verdognolo, in strati variabili da molto sottili a medi.

Formazione di Villa Carcina: Il litotipo è costituito da una successione di marne e marne calcaree marroncinie, massicce o stratificate; il loro assottigliamento è accompagnato da una variazione di colore, fino a rosso mattone, e dalla comparsa di orizzonti nodulari. La litozona marnosa è seguita da una successione, potente oltre 150 metri, costituita da alternanze di calcareniti/calciruditi in strati gradati e laminati, passanti a marne e marne argillose associate a rare calcilutiti selciferi e *slump*. In generale queste litofacies si associano a costituire sequenze positive, a base erosionale debolmente concava con lenti calcirudite ricche di litoclasti e bioclasti, seguite da gruppi di strati progressivamente più fini e sottili, costituiti da coppie calcarenite-marna. Ogni sequenza termina con alternanze di calcilutiti selciferi e marne argillose. La formazione di Villa Carcina termina



con un ulteriore pacco di sedimenti calcarenitico-marnosi selciferi, potente al massimo un centinaio di metri.

Calcari medoloidi: Essa è in massima parte costituita da un'alternanza aciclica di calcilutiti selcifere, marne e marne argillose omogenee o laminate, coppie calcisiltite-marna e *slump* calcareo-marnosi, con composizione prevalentemente pelagica (bivalvi a guscio sottile, radiolari, peloidi, intraclasti lutitici). Verso la sua chiusura occidentale essa perde quasi interamente gli interstrati di marne argillose e vede diminuire spessore e frequenza delle coppie calcisiltite-marna. Nella sua porzione sommitale diversi metri sotto il limite formazionale di tetto, si sviluppa un tipico pacco di strati, interamente silicizzato, di spessore metrico-decametrico, che può costituire un *marker* locale.

Selcifero Lombardo: Le Radiolariti comprendono selci a stratificazione centimetrica o decimetrica piano-parallela o piano-ondulata, talora con geometrie mammellonari, con interstrati argillosi solo localmente presso la base e il tetto dell'unità, debolmente marnosi. Nella parte superiore della formazione compaiono strati marnoso-calcarei, silicizzati, di spessore centimetrico, che aumentano progressivamente di frequenza e spessore, fino a prevalere sulle selci stratificate. Il colore delle selci varia in modo regolare e abbastanza uniforme, con la porzione inferiore caratterizzata da colore bruno, grigio scuro o verde scuro e un passaggio graduale, verso l'alto, a colorazioni bruno-violacee fino a rosso mattone.

Maiolica: La Maiolica è costituita da una successione piuttosto monotona di calcilutiti bianche, grigio chiare o crema in strati sottili o medi, piano-paralleli o ondulati, con bioturbazioni sparse, a liste e noduli di selce, cui si alternano in proporzioni variabili interstrati marnosi o argillosi centimetrici, omogenei o laminati, spesso ricchi in materia organica, che possono costituire veri e propri *black shale*. A queste litofacies, costituenti la maggior parte dell'unità, si associano litofacies risedimentate, intrabacinali, costituite da: strati di calcareniti-calcisiltiti gradati e laminati, sottili o medi, piano-paralleli; lenti paraconglomeratiche di spessore metrico, ad intraclasti calcilutitici, silicei e marnosi, immersi in matrice micritica; *slump* a geometria lenticolare, di potenza al massimo decametrica, coinvolgenti pacchi di strati di Maiolica o di Rosso ad Aptici.

Filoni andesitici: Corpi subvulcanici e filoniani, inseriti all'interno della successione norico-retica. Si tratta di filoni da metrici a decametrici costituiti da porfiriti a composizione basaltica, fortemente alterate, con pochi fenocristalli di plagioclasio in una massa di fondo di plagioclasio, pirosseni e opachi, microcristallina. I prodotti di alterazione sono abbondante calcite e clorite, zeoliti, epidoti.

DEPOSITI SUPERFICIALI

Sintema del Po (Unità Post Glaciale): Sono individuati i depositi alluvionali del Fiume Serio. Sono classificati come ghiaie stratificate a supporto clastico con matrice sabbiosa; ghiaie stratificate a supporto di matrice, con clasti da centimetrici a decametrici da subspigolosi ad arrotondati e tabulari; corpi lenticolari di sabbie; limi e argille di esondazione.

Gruppo di Prato Grande: Il gruppo di Prato Grande è costituito da depositi di versante e di frana: diamicton massivi pedogenizzati, a supporto clastico o di matrice con clasti spigolosi derivati dalle pareti soprastanti o da depositi glaciali più antichi; ammassi rocciosi disarticolati e ribassati per gravità, entro cui appare ancora riconoscibile la successione stratigrafica ma con limiti dislocati; coperture di blocchi accatastati *in situ* alla sommità di ammassi disarticolati.

Il gruppo comprende singoli corpi di frana, con superficie convessa, contropendenza a monte e nicchia di distacco; estesi macereti a blocchi alla sommità di versanti ribassati per gravità; lobi e colate di materiale da piccole nicchie sul versante, con morfologie sempre ben riconoscibili.



Alloformazione di Torre Boldone: L'unità comprende depositi alluvionali pedogenizzati costituiti da ghiaie in corpi stratoidi, con clasti arrotondati, ben selezionati, talora a disco, passanti verso l'alto a diamicton massivo a supporto di matrice limoso argillosa con clasti residuali silicei. Rappresenta i depositi fluvio-glaciali completamente alterati in argille rosse denominati "ferretto".

Allogruppo di Fiorano: Depositi di versante che si raccordano con i depositi alluvionali di fondovalle del Fiume Serio. Si tratta di depositi prodotti dall'azione di più fenomeni associati (debris flow e/o alluvionali) che hanno degradato il substrato roccioso lungo i versanti e successivamente si sono accumulati al piede del versante collinare sovrapponendosi ai depositi alluvionali del Fiume Serio. Sono costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice con sparsi clasti alterati spigolosi provenienti dai versanti soprastanti e con pedogenesi superficiale troncata⁶.

Gruppo di Vertova: Conglomerati a supporto clastico o di matrice arenacea con clasti silicei e carbonatici arrotondati, da appiattiti a disco, ben selezionati; intercalazioni decimetriche di arenarie; cementazione ottima; spesso carsificati e con scavarnamenti (depositi alluvionali). Diamicton massivi a supporto di matrice pedogenizzata argilloso-limosa con clasti residuali silicei da arenizzati ad argillificati, patine di Fe-Mn, colore 7.5.YR, spessore superiore a 10 m (alterite su depositi alluvionali).

Sintema di Piodera: Il sintema di Piodera è costituito da diamicton massivo a supporto di matrice argillosa, con sparsi clasti residuali silicei ben selezionati ed arrotondati, da appiattiti sino a disco; clasti carbonatici presenti come fantasmi argillificati solo nella porzione più profonda dell'ammasso. Attualmente, quindi, si presenta come un'alterite, sviluppata a spese dell'intero spessore di un originario deposito alluvionale di alimentazione seriana.

Formazione di Masserini: L'unità è da considerarsi un'alterite sviluppata su depositi alluvionali seriani: diamicton massivo a supporto di matrice argillosa di colore 5YR con abbondanti patine e noduli sino a centimetrici di Fe-Mn; radi clasti residuali arrotondati ed appiattiti: carbonati assenti, vulcaniti del Cabianca decolorate, arenizzate e con cortex sino a 2 mm di ossidi Fe-Mn nero, arenarie del Verrucano arenizzate e decolorate, fantasmi di clasti argillificati chiari con patine di ossidi neri e rossi.

Conglomerati di Semonte: Depositi alluvionali costituiti da:

- conglomerati stratificati in banchi metrici pianoparalleli, a supporto di matrice arenacea grossolana con abbondanti clasti di dimensioni da centimetriche a decimetriche, ben arrotondati e a sfericità ridotta; frequente embricazione, talora stratificazione obliqua a basso angolo;
 - conglomerati grossolanamente stratificati a supporto di matrice limosa ocracea con abbondanti clasti da 2 a 7 cm, subarrotondati, prevalentemente locali con sporadici elementi provenienti dall'alta valle.
- Cementazione da ottima sino a completamente litificati. Superfici esposte sempre alterate, con decarbonatazione preferenziale dei clasti rispetto alla massa di fondo, in genere litificata; clasti carbonatici di dimensioni inferiori al centimetro completamente disciolti, di dimensioni superiori con nucleo argillificato e sottile guscio esterno intatto, clasti riferibili al Verrucano Lombardo da molto alterati a completamente argillificati, marne e siltiti micacee ocracee argillificate, metamorfiti del basamento cristallino seriano pressoché irriconoscibili.

Nella **Tavola 2** è proposta la carta di inquadramento geologico.

⁶ vedi Nota 2



4.3 Inquadramento geomorfologico

DATI CARATTERISTICI DEL BACINO

I dati morfometrici del bacino idrografico sono desunti dal database SIBCA della Regione Lombardia e riportati in **Tabella 1**.

Descrizione	Valore	Unità di misura
ID	482	-
MACROBACIN	Serio	-
NOME_BACIN	S133	-
N_CT10	52735	-
FRANOSITA	1.00836	-
DENS_DREN	2.68798	Km/km ²
PEND_M_AST	0.14809	-
PEND_10_85	0.14878	-
LUNG_TOT_I	12.812	Km
DISTMAXCAN	4.5238	Km
DISTMAXCOP	5.09832	Km
AREA_PLAN	4.7664	Km ²
AREA_EFF	8.06219	Km ²
RAP_AREE	0.5912	-
IND_MELTON	0.44219	-
PEND_MED_B	0.53889	-
QUOTA_MAX	1331.15	m s.l.m.
QUOTA_MIN	365.74	m s.l.m.
QUOTA_MED	807.48	m s.l.m.
SHAPE_AREA	4766238.471	m ²
SHAPE_LEN	12599.8113	m
Tabella 2: Dati morfometrici del bacino idrografico		

Dal punto di vista amministrativo il Torrente Valle Rova o *Torrente Valle Plaz* appartiene al *reticolo principale* ed è contraddistinto dal numero progressivo BG094 per tutto il corso (Allegato A della D.G.R. XII/1615 del 18 dicembre 2023).



RETICOLO IDROGRAFICO

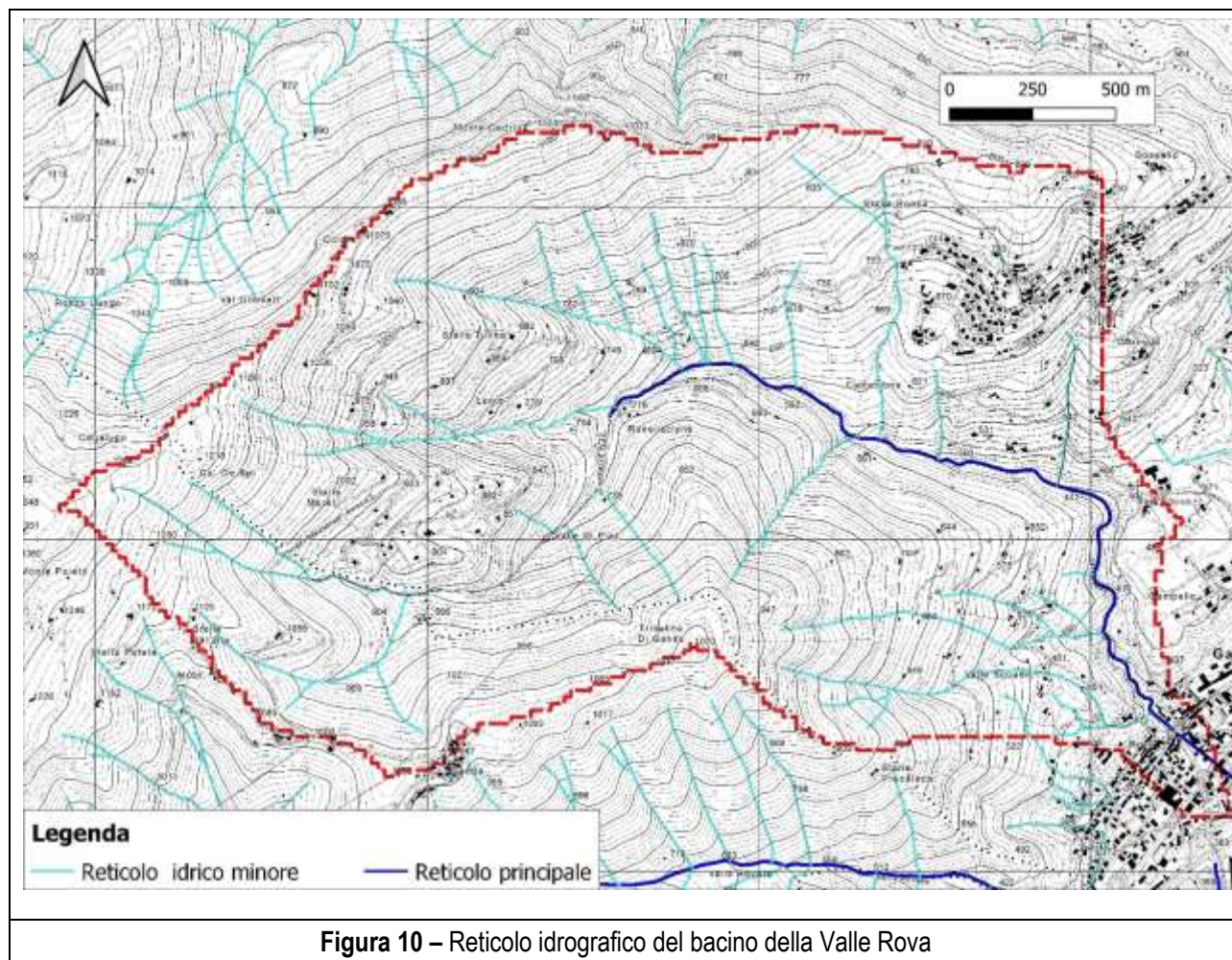


Figura 10 – Reticolo idrografico del bacino della Valle Ro

L'organizzazione del reticolo idrografico è funzione di numerosi fattori differenti, tra questi sono considerati più importanti l'assetto strutturale del bacino e le caratteristiche litologiche da cui dipendono la tessitura e la permeabilità dei terreni presenti⁷.

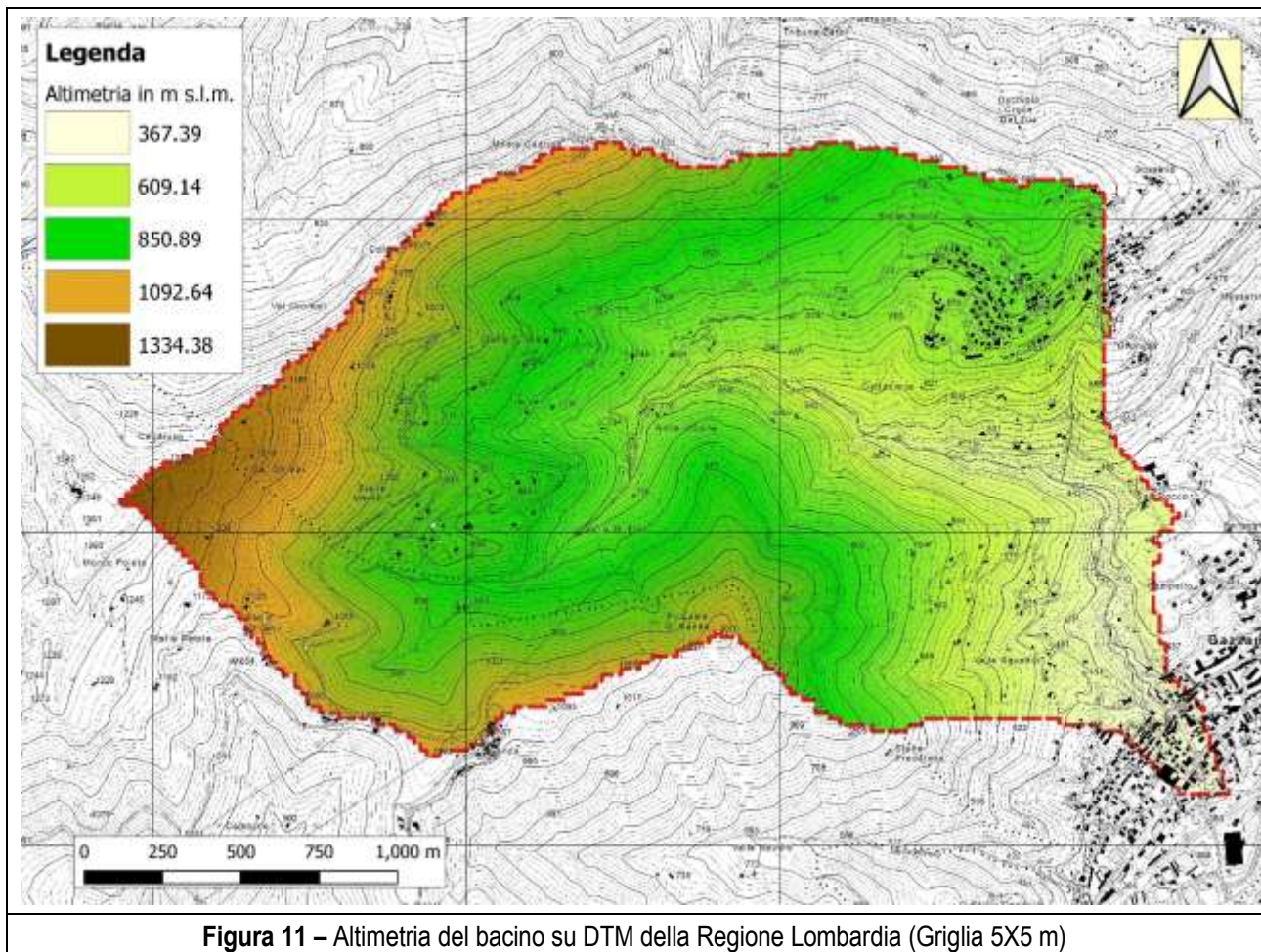
Il reticolo idrografico del Torrente Valle Ro (vedi **Figura 10**) presenta un pattern di drenaggio di tipo *dendritico asimmetrico*. I canali minori hanno un drenaggio più sviluppato sulla sponda sinistra della valle rispetto alla sponda destra. Tale condizione è determinata dall'erodibilità dei litotipi che compongono il bacino costituiti in prevalenza da calcari marnosi. L'orientazione del reticolo è condizionata dall'assetto geologico e strutturale del bacino (vedi **Figura 8**).

Nella **Tavola 4** è riportato il profilo topografico dell'alveo principale.

⁷ M. Marchetti – Geomorfologia Fluviale – Ed. Pitagora.



ALTIMETRIA E ACCLIVITÀ



In **Figura 11** è rappresentata la distribuzione dell'altimetria all'interno del bacino idrografico. I versanti presentano andamento regolare senza bruschi salti di quota. L'acclività del bacino (vedi **Figura 12**) evidenzia 2 aree a bassa pendenza in corrispondenza della Frazione di Orezzo e della Località Stalle Marelli con acclività ricadente nell'intervallo 0-10°. L'acclività prevalente del bacino ricade negli intervalli 20-30° e 30-40° (vedi **Figura 13**).

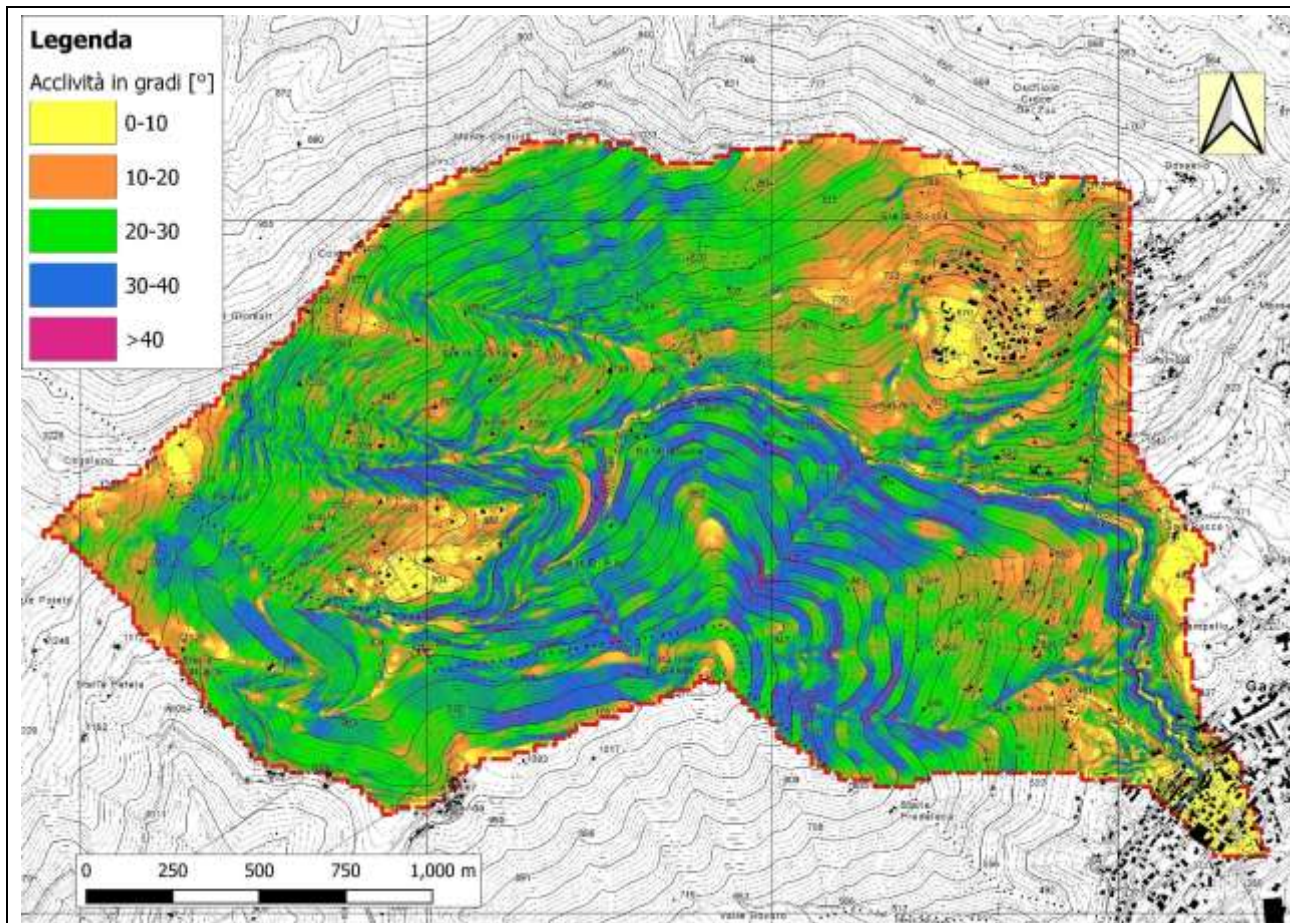


Figura 12 – Acclività del bacino

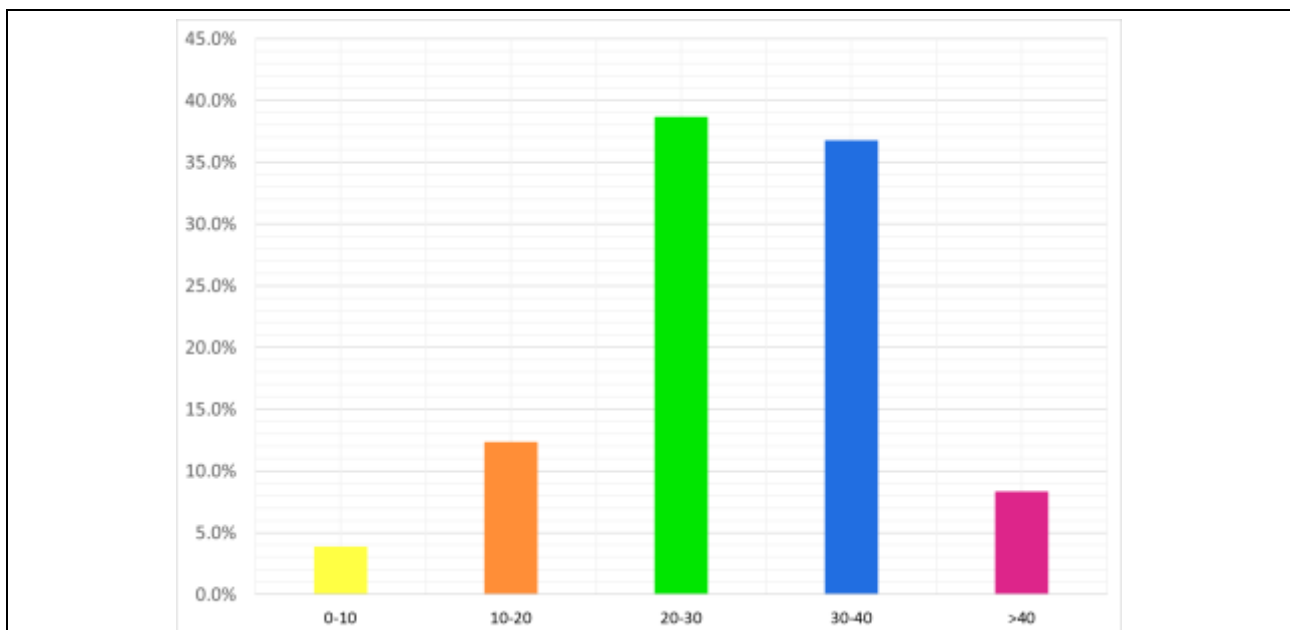


Figura 13 – Distribuzione dell'acclività (su base DTM)



ANALISI DEI DISSESTI

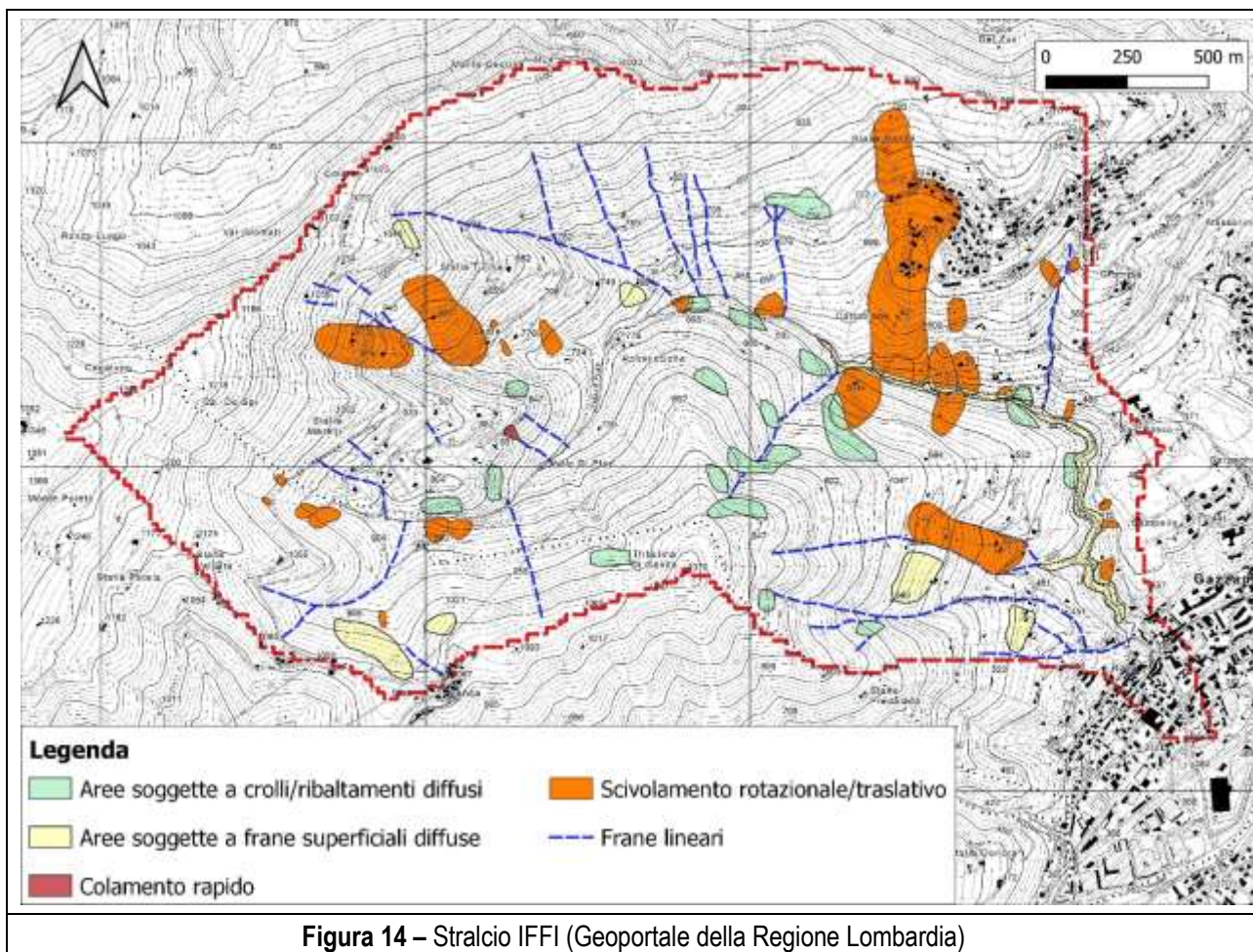


Figura 14 – Stralcio IFFI (Geoportale della Regione Lombardia)

Nel bacino della Valle Rova sono prevalenti le aree classificate come *scivolamento rotazionale traslativo* in accordo con quanto descritto nell'analisi storica. Adiacenti all'alveo sono presenti aree con frane superficiali diffuse. La superficie classificata in dissesto ricopre circa il 11% della superficie totale del bacino (vedi **Tabella 3**).

Tipologia	[m ²]	%
Aree soggette a frane superficiali diffuse	105723.11	2.22%
Aree soggette a crolli/ribaltamenti diffusi	107795.56	2.26%
Scivolamento rotazionale/traslattivo	331781.60	6.96%
Colamento rapido	1359.94	0.03%

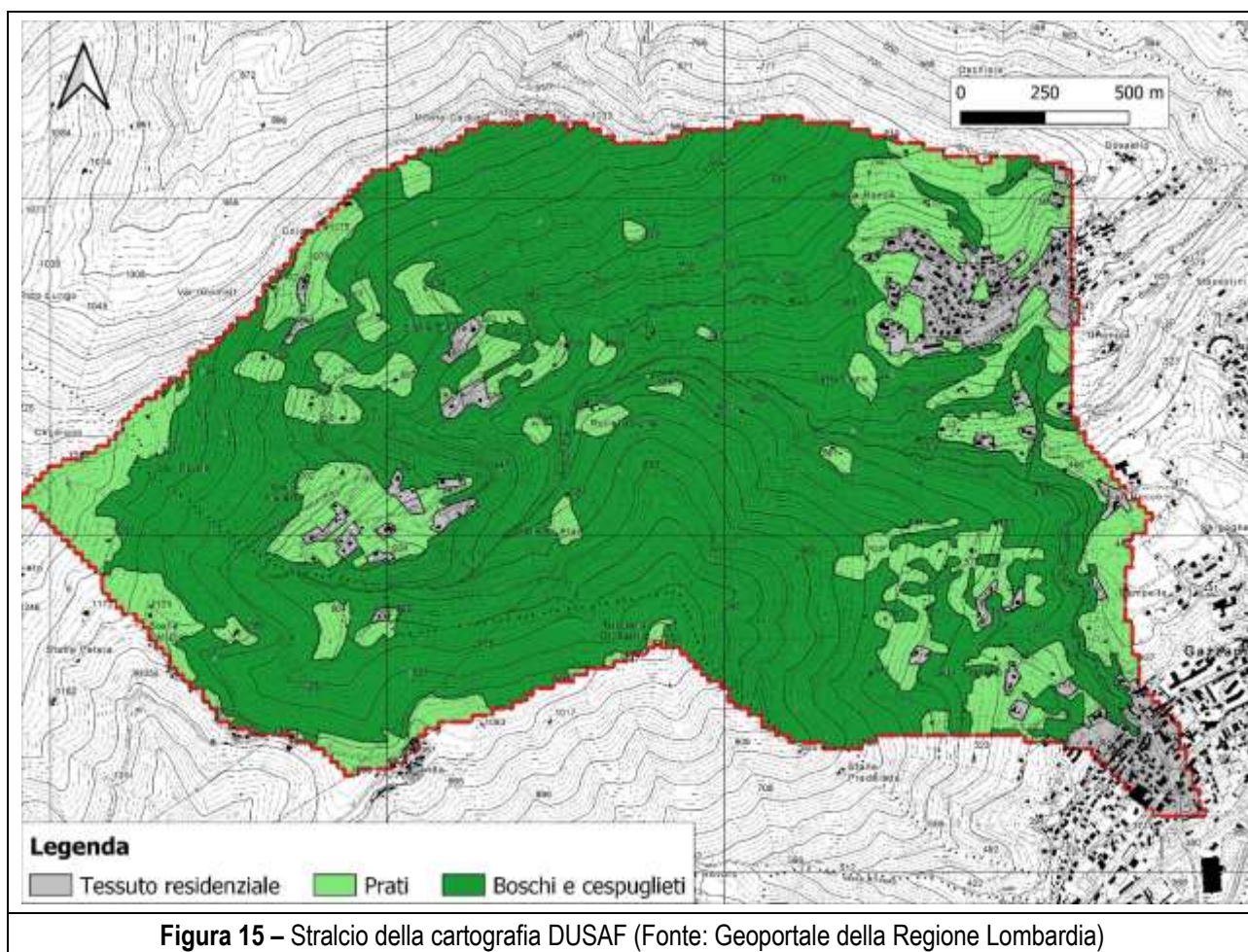
Tabella 3: Classificazione dei dissesti (fonte: IFFI - Geoportale della Regione Lombardia)

Nella **Tavola 3** è proposta la carta di inquadramento geomorfologico.



4.4 Uso del suolo

La classificazione dell'uso del suolo all'interno del bacino idrografico della Valle Rova è stata effettuata tramite il database DUSAF della Regione Lombardia (Edizione 2021) e successivamente verificata tramite rilievo in sito. La classificazione DUSAF (Destinazione d'uso suoli agricoli e forestali) è strutturata in 5 livelli gerarchici. Il primo livello comprende 5 classi generali che abbracciano le principali tipologie di copertura (Aree antropizzate, Aree agricole, Territori boscati ed ambienti seminaturali, Aree umide, Corpi idrici), che vengono sempre più differenziate nei successivi due livelli. L'esigenza di rappresentare alcune specificità locali ha consigliato l'introduzione di altri due livelli (IV e V), che, ove presenti, descrivono elementi caratteristici del territorio lombardo; essi sono stati prevalentemente desunti dalle banche dati accessorie a disposizione per la realizzazione della cartografia definitiva. Nella **Figura 15** è riportato lo stralcio del bacino della Valle Rova secondo la classificazione di *1 livello* che rappresenta adeguatamente le caratteristiche del bacino per le finalità dello studio.



In **Figura 16** è rappresentata la distribuzione grafica in macroclassi del bacino della Valle Rova e in **Tabella 4**



in percentuale. Si verifica che oltre l'71% della superficie del bacino è occupata da boschi e cespuglieti, mentre le aree a prato occupano circa l'23% del territorio, poco più del 6% occupato dal tessuto residenziale.

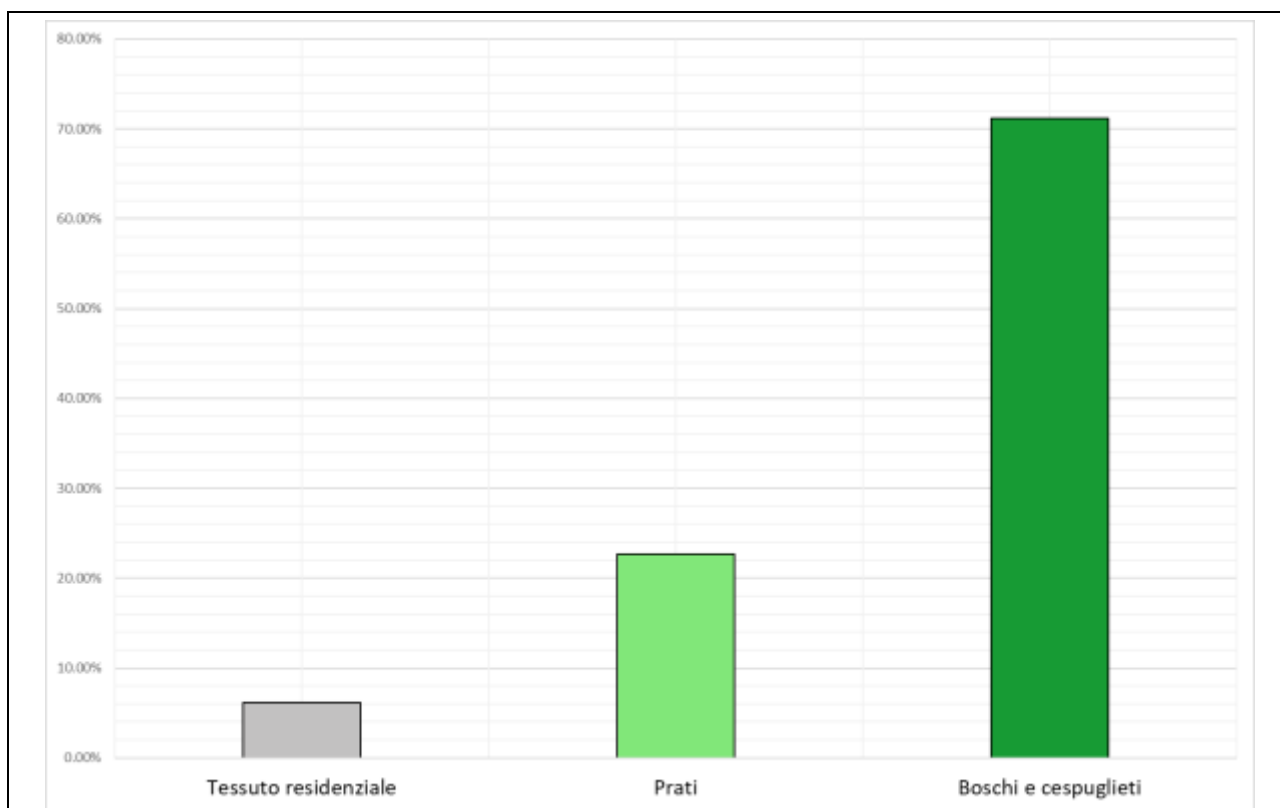


Figura 16 – Grafico a barre della distribuzione delle macro classi di 1 livello

Tipologia	[mq]	%
Tessuto residenziale	293863.2278	6.16%
Prati	1083058.323	22.71%
Boschi e cespuglieti	3392669.897	71.13%

Tabella 4: Distribuzione delle macro classi di 1 livello



5. CARATTERISTICHE DELL'AREA DI CONOIDE

L'area classificata come conoide è completamente urbanizzata e non sono più riconoscibili i caratteri originari (vedi **Figura 17**). È ragionevole pensare che l'edificio di conoide non sia mai stato completamente sviluppato per la presenza del Fiume Serio che periodicamente asportava il modesto apporto di detriti che provenivano dalla parte alta del bacino. L'elaborazione della carta dell'acclività dell'area di conoide (vedi **Figura 18**), non evidenzia alcuna variazione di acclività tra il piede del versante e la sponda destra del Fiume Serio. La classe prevalente è di $0 \div 2$ gradi.

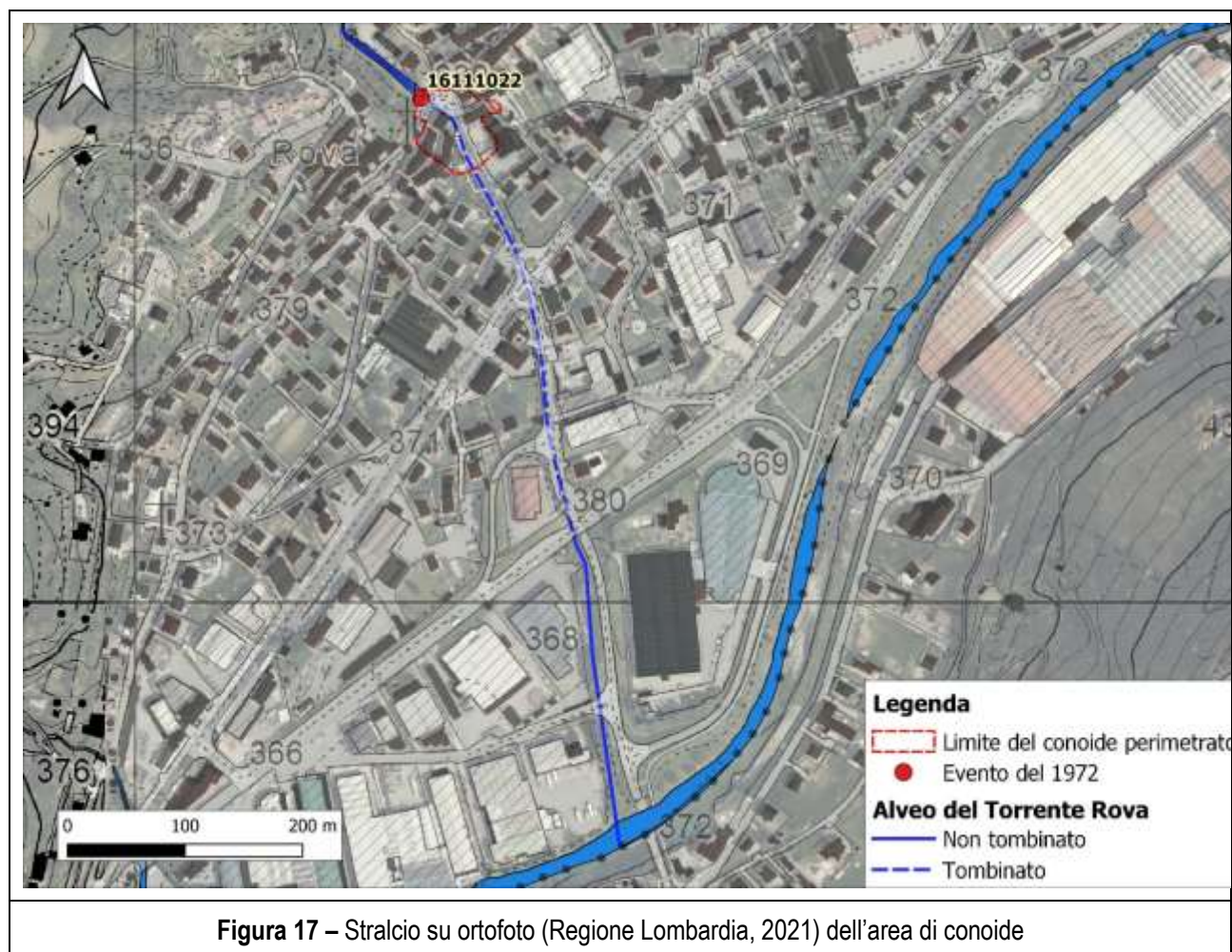


Figura 17 – Stralcio su ortofoto (Regione Lombardia, 2021) dell'area di conoide

Il reticolo nel tratto di fondovalle è completamente tominato dalla Piazza San Mauro fino all'attraversamento della Strada Provinciale (ex SS671) per una lunghezza di circa 640 m. Un metodo speditivo per la valutazione della predisposizione alla formazione di correnti detritiche è rappresentato dalla correlazione tra l'indice di Melton del bacino e la pendenza del conoide⁸.

⁸ Il rischio idraulico nelle aree di conoide – Quaderni Regionali di Ricerca n. 34 – Regione Lombardia 1999



L'indice di Melton esprime le caratteristiche morfometriche del bacino nella forma:

$$Mel = A^{-0.5} (H_{max} - H_{min})$$

dove:

A = area del bacino in kmq

H_{max} = Altezza massima del bacino (m s.l.m.)

H_{min} = Altezza minima del bacino in corrispondenza dell'apice del conoide (m s.l.m.)

La forma del conoide viene invece caratterizzata dalla sua pendenza Sb calcolata lungo la sua bisettrice (statisticamente equivale alla pendenza media del conoide) vedi **Figura 13**.

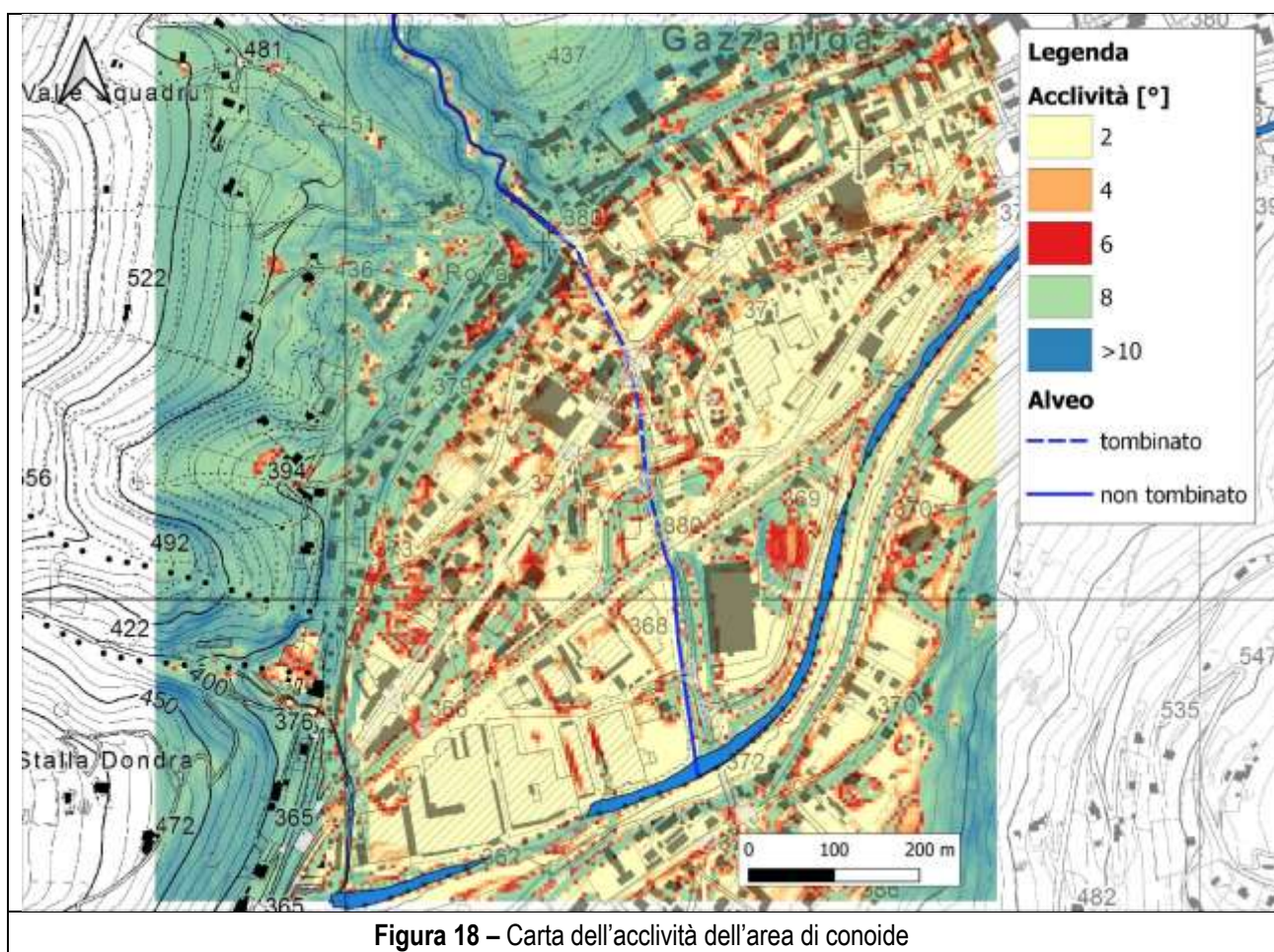


Figura 18 – Carta dell'acclività dell'area di conoide

La pendenza media del collettore del conoide è riportata in **Tabella 5**.

Quota max	Quota min	L collettore	P media
378.00	365.00	638	2.04%

Tabella 5: Pendenza media del collettore del conoide



Adottando la classificazione dei conoidi alluvionali secondo Marchi e altri (1993), applicando l'abaco di **Figura 14** è possibile classificare la predisposizione del bacino alle correnti classificate come trasporto solido.

Indice di Melton = 0.44219 (vedi **Tabella 1**)

Pendenza media = 2.04% (1.17°)

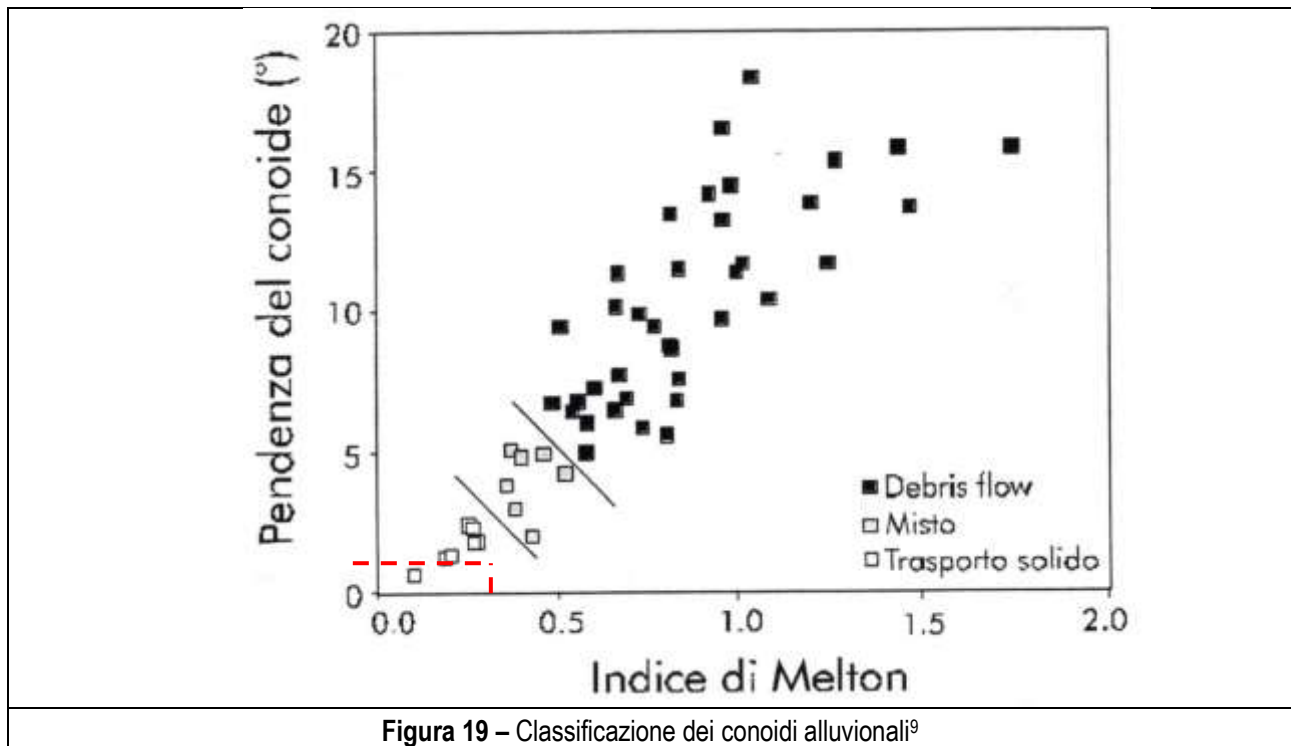


Figura 19 – Classificazione dei conoidi alluvionali⁹

Nella **Tavola 5** è proposta l'area di conoide.

⁹ Vedi nota 5



6. CARATTERISTICHE IDROLOGICHE DEL BACINO

Per la definizione della portata di massima piena per diversi periodi di ritorno sono stati utilizzati i dati presenti nel database di Regione Lombardia (vedi **Tabella 6**). Il database SIBCA riporta per il bacino della valle Rova i seguenti valori:

Q ₅₀	m ³ /s	24.24478
Q ₁₀₀	m ³ /s	26.60441
Tempo di corrivazione	h	0.92295
Coefficiente di deflusso	-	0.26784
Tabella 6: Valori di portata del bacino (Fonte: SIBCA – Regione Lombardia)		

Per le valutazioni della pericolosità idraulica si è fatto riferimento al tempo di ritorno centennale. Si è ipotizzato un evento con durata pari al doppio del tempo di corrivazione e portata di massima piena pari alla centennale, corrispondente alla formula razionale (vedi **Figura 20**) che si ritiene adatto per gli scopi del presente studio. In **Tabella 7** e in **Figura 21** è rappresentato l'idrogramma utilizzato per le verifiche della pericolosità nell'area di conoide.

[minuti]	[m ³ /s]
0.0	0.00
5.0	2.42
10.0	4.84
15.0	7.26
20.0	9.67
25.0	12.09
30.0	14.51
35.0	16.93
40.0	19.35
45.0	21.77
50.0	24.19
55.0	26.60
60.0	24.19
65.0	21.77
70.0	19.35
75.0	16.93
80.0	14.51
85.0	12.09
90.0	9.67
95.0	7.26
100.0	4.84
105.0	2.42
110.0	0.00
Tabella 7: Idrogramma in forma tabellare	

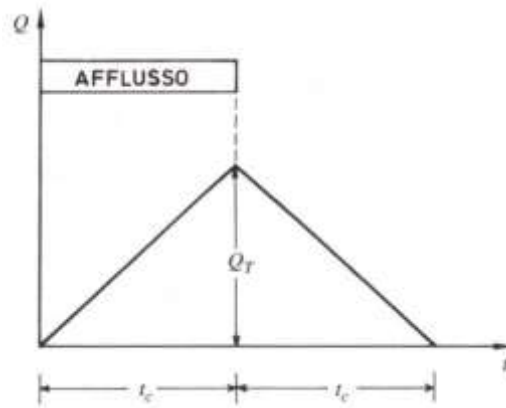


Figura 20 – Idrogramma di piena corrispondente alla formula razionale¹⁰

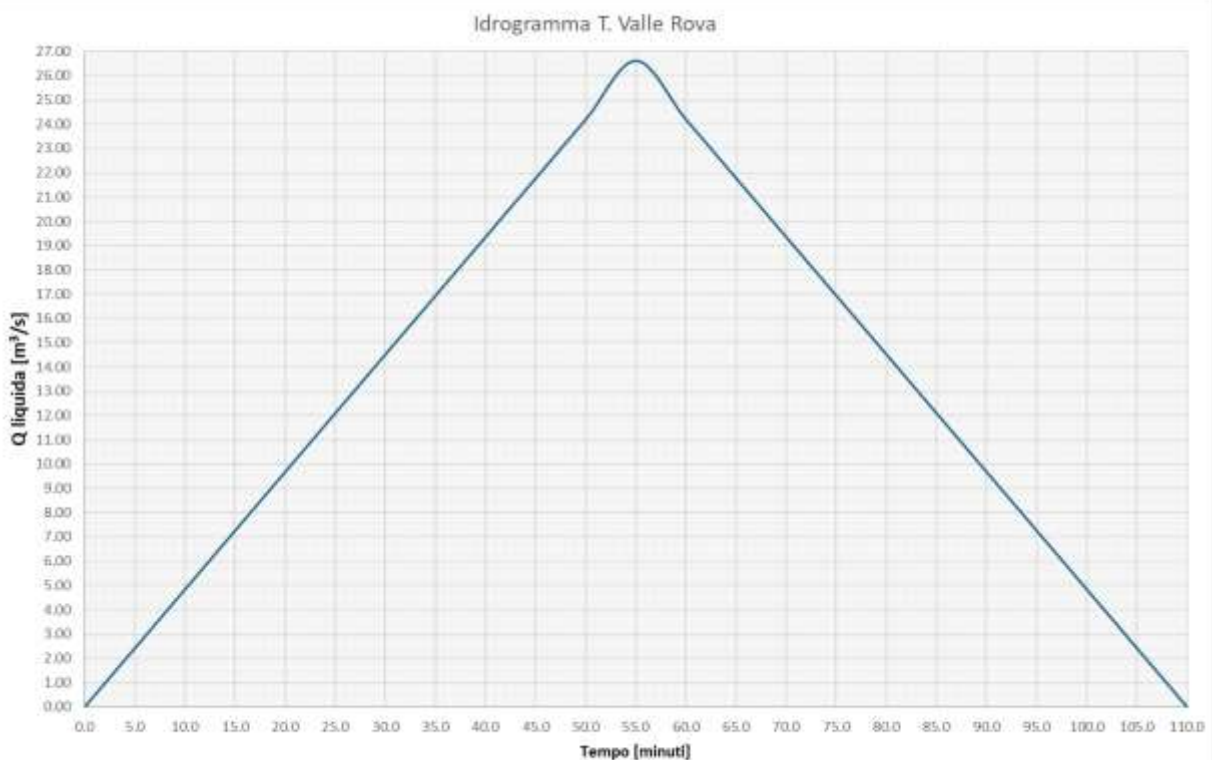


Figura 21 – Idrogramma con tempo di ritorno centennale

¹⁰ Vedi "La sistemazione dei bacini idrografici" a cura di Vito Ferro -Ed. McGraw-Hill



7. VALORI DI MAGNITUDO CONSIDERATI

La portata di picco dell'evento simulato è stata valutata tenendo conto:

- Caratteristiche di erodibilità del bacino
- Eventi storici (1972) classificati di tipo "torrentizio".

Considerando la classificazione del regime di moto dei torrenti secondo la **Figura 22**, si ritiene che il Torrente Valle Roja origini una colata con concentrazione variabile tra il "trasporto di fondo" e una "colata detritica immatura", cioè con valori di concentrazione c_v non superiori a 0.2.

	$h/d \leq 30$	$h/d > 30$
$c_v < 0.02$	Trasporto di fondo o in sospensione	
$0.02 \leq c_v < 0.2$	colata detritica immatura (immature debris flow)	
$0.2 \leq c_v < 0.55$	colata detritica pietrosa (stony debris flow)	Colata fangosa turbolenta (turbulent mud flow)
$c_v \geq 0.55$	colata detritica macroviscosa (macroviscous debris flow)	

Figura 22 – Classificazione dei regimi di moto¹¹

Tenendo conto dei valori di magnitudo riportati nel database SIBCA, si considera un evento con magnitudo dell'ordine di 5'000÷6'000 mc raffrontabile con l'evento storico del 1972 e alla magnitudo secondo Ceriani (Dati SIBCA) di 5'779 m³ compatibile con le caratteristiche del bacino.

Adottando la relazione richiamata dalla metodologia regionale

$$Q_{df} = Q_l * (C_x / C_x - C_{df}) \text{ (Armanini, 1996)}$$

dove

Q_{df} = portata massima della colata,

Q_l = portata massima liquida,

C_{df} = concentrazione della colata e $C_x = 0.65 \div 0.75$.

considerando la concentrazione crescente durante l'evento fino al valore massimo di 0.12 in fase di picco della portata (vedi Tabella 8 e **Figura 23**), la portata di picco è pari a circa 32 m³/s con il solido totale pari a circa 6800 m³.

¹¹ Il rischio idraulico nelle aree di conoide - Quaderni Regionali di Ricerca n. 34 – Regione Lombardia

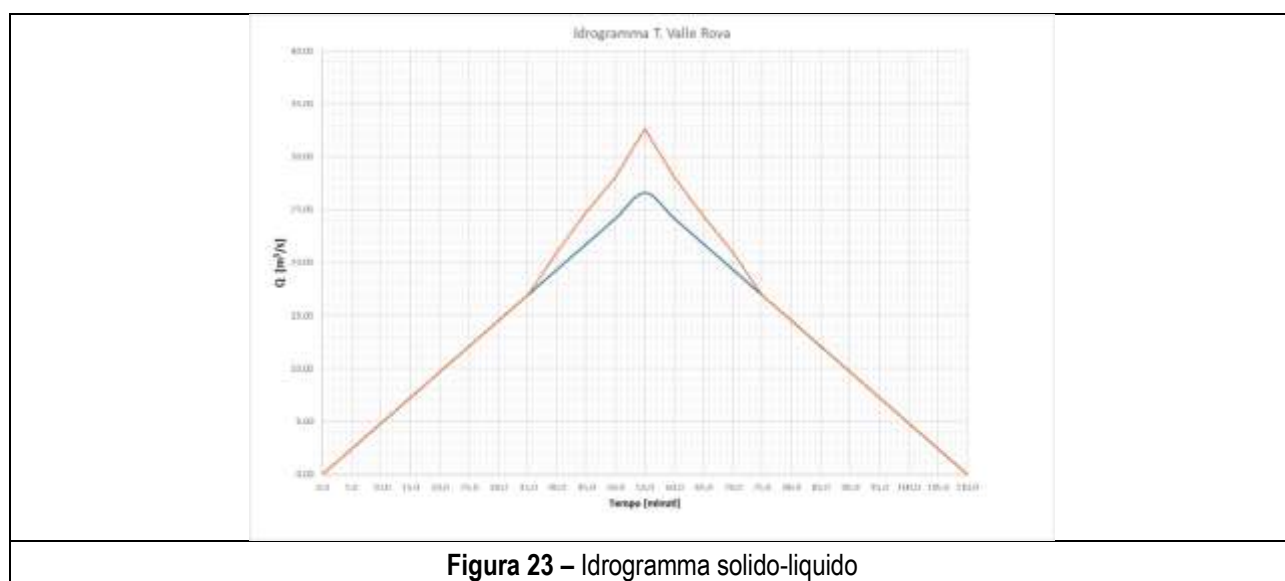


STUDIO DEL CONOIDE DEL TORRENTE VALLE ROVA
AI SENSI DELL'ALLEGATO 2 DELLA D.G.R. IX/2616 DEL 30/11/2011

RELAZIONE GENERALE

	Cv	Q solido-liquida
(minuti)	(mc/mc)	[m ³ /s]
0.0	0.000	0.00
5.0	0.000	2.42
10.0	0.000	4.84
15.0	0.000	7.26
20.0	0.000	9.67
25.0	0.000	12.09
30.0	0.000	14.51
35.0	0.000	16.93
40.0	0.050	20.96
45.0	0.080	24.82
50.0	0.090	28.07
55.0	0.120	32.63
60.0	0.090	28.07
65.0	0.070	24.39
70.0	0.050	20.96
75.0	0.000	16.93
80.0	0.000	14.51
85.0	0.000	12.09
90.0	0.000	9.67
95.0	0.000	7.26
100.0	0.000	4.84
105.0	0.000	2.42
110.0	0.000	0.00

Tabella 8: Idrogramma in forma tabellare con c_v variabile in funzione della durata dell'evento





8. DESCRIZIONE DEL MODELLO E CRITERIO DI ANALISI

L'analisi del deflusso lungo il tratto di interesse è stato utilizzato il programma HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center – River Analysis System), sviluppato per la valutazione dei fenomeni idraulici caratterizzati sia da moto gradualmente vario, che rapidamente vario.

La procedura base di calcolo è basata sulla soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia in termini monodimensionali, le perdite di carico sono valutate in funzione della scabrezza (equazione di Manning), per quanto riguarda le perdite distribuite, e tramite il coefficiente di contrazione e di espansione (che moltiplicano la variazione dell'altezza cinetica), preponderanti nei tratti in cui si hanno sensibili variazioni della sezione. Nelle simulazioni effettuate, si è operato in regime di moto vario, con modello bidimensionale (2D).

La modellazione dell'evento con porta centennale è stata effettuata nelle seguenti modalità:

CRITERI

Analisi del deflusso allo stato di fatto, non sono previste modifiche morfologiche dell'alveo e inserimenti di opere di mitigazione.

CONDIZIONE DI VERIFICA

Simulazione in condizione di moto vario secondo l'ideogramma con durata pari a doppio del tempo di corrivazione e portata modificata secondo quanto illustrato nel paragrafo successivo.

ASSETTO GEOMETRICO

L'assetto geometrico è stato definito tramite modello LIDAR disponibile sul Geoportale della Regione Lombardia (Sezioni D457_90982 e D457_80982);

COEFFICIENTI DI SCABREZZA

I valori utilizzati (coefficiente di Manning [$m^{1/3} s$]) sono i seguenti:

Alveo attivo (fondo naturale/artificiale) = 0.035

Aree urbanizzate = 0.200

REGIME DI MOTO

Considerata la bassa concentrazione dei sedimenti, non sono state poste condizioni non newtoniane nel codice di calcolo ai fini della modellazione idraulica.



CARATTERISTICHE DEL TRATTO TOMBINATO SOTTO PIAZZA SAN MAURO



Foto 5 – Imbocco dell'alveo sotto la piazza San Mauro (dimensioni all'imbocco di m 5 X m 1.90)



Foto 6 – Tratto successivo (1,5 m dalla sezione di ingresso) con riduzione della sezione ad arco sempre con altezza massima di m 1.90.

La tombinatura sotto piazza San Mauro ha forma rettangolare con larghezza pari a m 5 e altezza massima pari a 1.9 m (vedi **Foto 5**), dopo circa 1.5 m dalla sezione di ingresso diventa ad arco regolare con medesima altezza (vedi **Foto 6**). L'alveo risulta a bassa pendenza rispetto alle condizioni di ingresso a monte (vedi **Foto 7** e **Foto 8**).



Foto 7 – Alveo della Valle Rovato prima della tombinatura (vista da valle a monte)



Foto 8 – Alveo della Valle Rovato prima della tombinatura (vista da valle a monte)

La verifica della sezione, secondo i criteri del moto uniforme, con $p = 0.005$ e coeff. di Manning-Strickler = 50, determina la scala di deflusso rappresentata in **Tabella 9** e in **Figura 24**. Si verifica che la sezione, sebbene capace di contenere portate superiori alla centennale, non ha franchi adeguati (< 1.00 m) e come riportato dalla cronaca storica del 1972, furono soprattutto le ramaglie e il materiale organico a ostruire la tombinatura e a provocare l'allagamento della piazza e delle aree limitrofe.



h [m]	P [m]	A [m ²]	Rh [m]	V [m/s]	Q [m ³ /s]
0.000	5.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.100	5.200	0.500	0.096	0.742	0.371
0.200	5.400	1.000	0.185	1.149	1.149
0.300	5.600	1.500	0.268	1.469	2.204
0.400	5.800	2.000	0.345	1.739	3.477
0.500	6.000	2.500	0.417	1.972	4.931
0.600	6.200	3.000	0.484	2.179	6.537
0.700	6.400	3.500	0.547	2.364	8.275
0.800	6.600	4.000	0.606	2.532	10.128
0.900	6.800	4.500	0.662	2.685	12.082
1.000	7.000	5.000	0.714	2.825	14.126
1.100	7.200	5.500	0.764	2.954	16.249
1.200	7.400	6.000	0.811	3.074	18.445
1.300	7.600	6.500	0.855	3.186	20.706
1.400	7.800	7.000	0.897	3.289	23.026
1.500	8.000	7.500	0.938	3.387	25.400
1.600	8.200	8.000	0.976	3.478	27.822
1.700	8.400	8.500	1.012	3.564	30.290
1.800	8.600	9.000	1.047	3.644	32.799
1.900	8.800	9.500	1.080	3.721	35.346

Tabella 9 – Scala di deflusso per la sezione rettangolare di ingresso

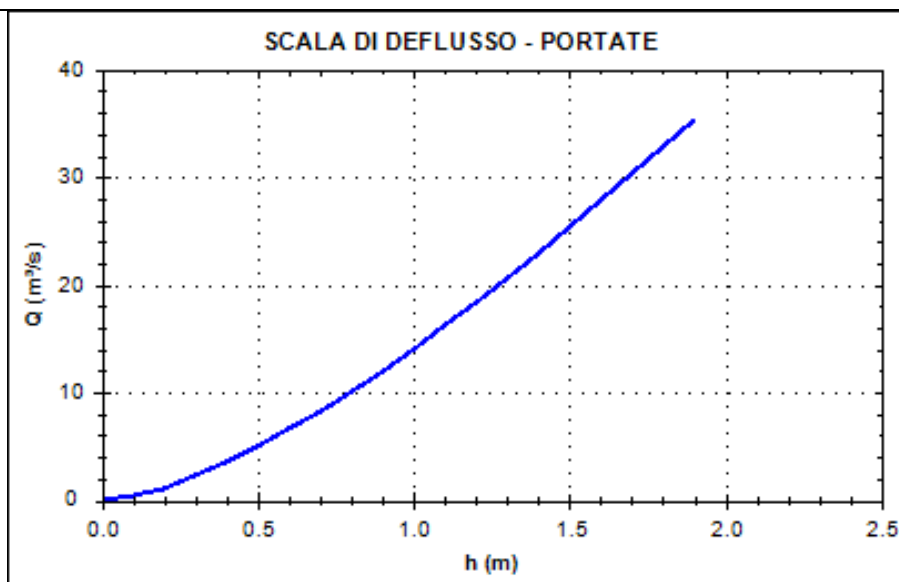


Figura 24 – Scala di deflusso del tombotto per le ipotesi assunte

Lo scenario di allagamento è quindi ipotizzato con la portata residua oltre la centennale, derivante dall'incremento dovuto al trasporto solido, secondo le condizioni illustrate nel paragrafo 7 (vedi **Figura 25**).



Figura 25 – Idrogramma solido-liquido

ANALISI DEI RISULTATI

Lo scenario di allagamento, come accaduto nel 1972, si propaga da via IV Novembre e si dirama poi nelle vie laterali dell'abitato. Nel complesso ne derivano tiranti modesti. Il modello enfatizza le aree maggiormente depresse.

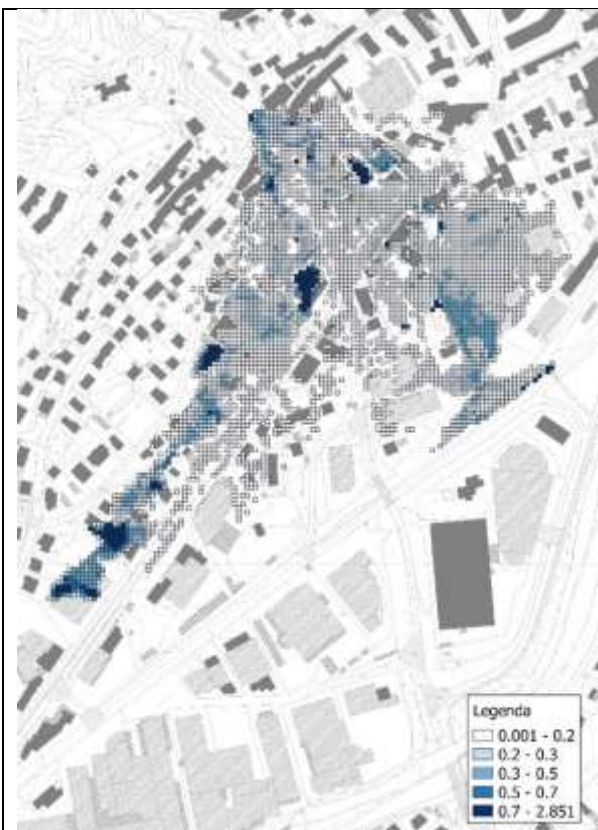


Figura 26 – Mappa dei tiranti

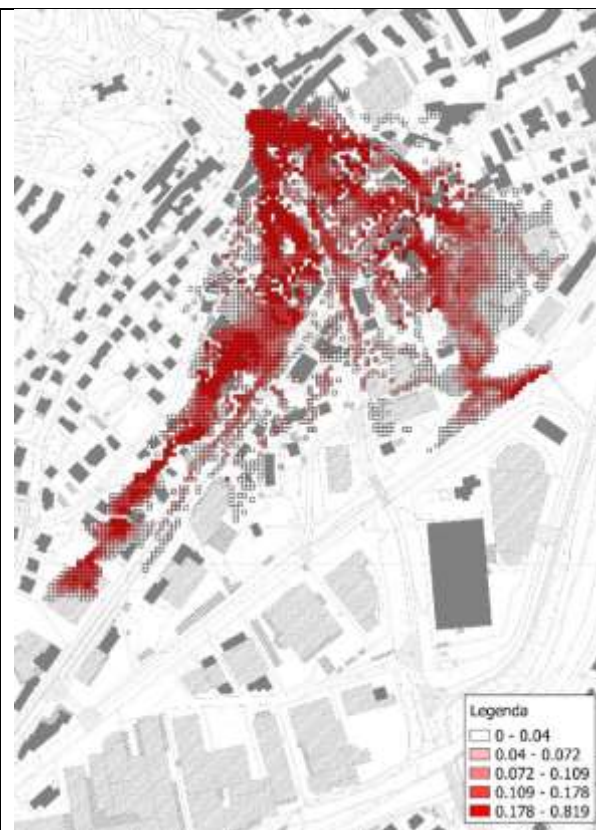


Figura 27 – Mappa della velocità



9. PERICOLOSITA' DERIVATA DA MODELLO IDRAULICO

Come previsto dai criteri metodologici dell'Allegato 2 della D.G.R. IX/2616 del 2011, la classificazione delle aree di conoide è basata su criteri di tipo morfologico, che comprende le seguenti classi:

- Pericolosità molto bassa (H1): area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto
- Pericolosità bassa (H2): area mai interessata nel passato da fenomeni alluvionali documentati su base storica o area protetta da opere di difesa idraulica ritenute idonee anche in caso di eventi estremi con basse probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto
- Pericolosità media (H3): area interessata nel passato da eventi alluvionali e da erosioni di sponda documentati su basi storiche; area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali (esondazione) ed a erosioni di sponda. In particolare, si possono avere deflussi con altezze idriche ridotte (massimo 20-30 cm) e trasporto di materiali sabbioso-ghiaiosi
- Pericolosità alta (H4): area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosioni di sponda e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione di ingenti quantità di materiale solido, con danneggiamento di opere e manufatti
- Pericolosità molto alta (H5): comprende l'alveo attuale con le sue pertinenze ed eventuali paleoalvei riattivabili in caso di piena ed eccezionalmente porzioni di conoide.

Poiché, nello studio in esame, la pericolosità deriva da un modello numerico che fornisce l'elaborazione delle mappe dei tiranti e delle velocità, i risultati ottenuti non sono facilmente interpretabili secondo la classificazione soprascritta.

Di conseguenza si farà riferimento alla classificazione della pericolosità proposta per i fenomeni di dissesto riferiti ai criteri metodologici dell'Allegato 4 "*Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da esondazione*", di cui alla **Figura 28**, riferiti a eventi di tipo alluvionale che ben si adattano alle caratteristiche morfologiche-idrauliche dell'area di conoide sottesa dal bacino idrografico della Valle Rovato.

La pericolosità da modello idraulico è riportata in **Figura 29** e in **Tavola 6**.

I risultati della pericolosità idraulica sono successivamente integrati, tenuto conto delle indicazioni derivanti dalla pericolosità definita con criteri geomorfologici di cui al **Paragrafo 10**.

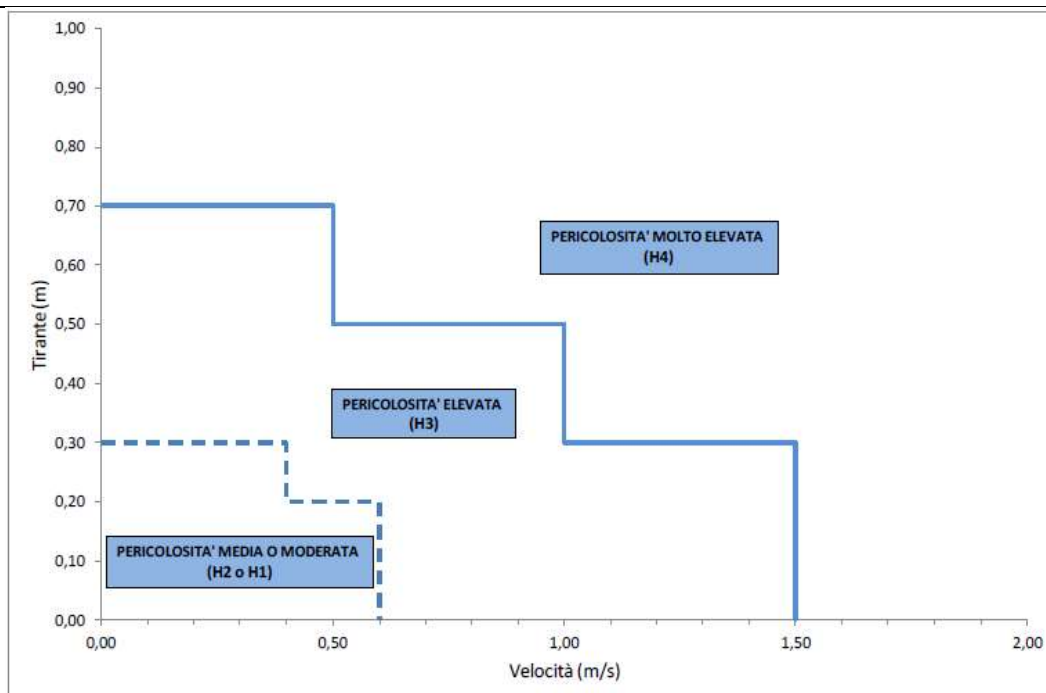


Figura 28 – Classificazione della pericolosità

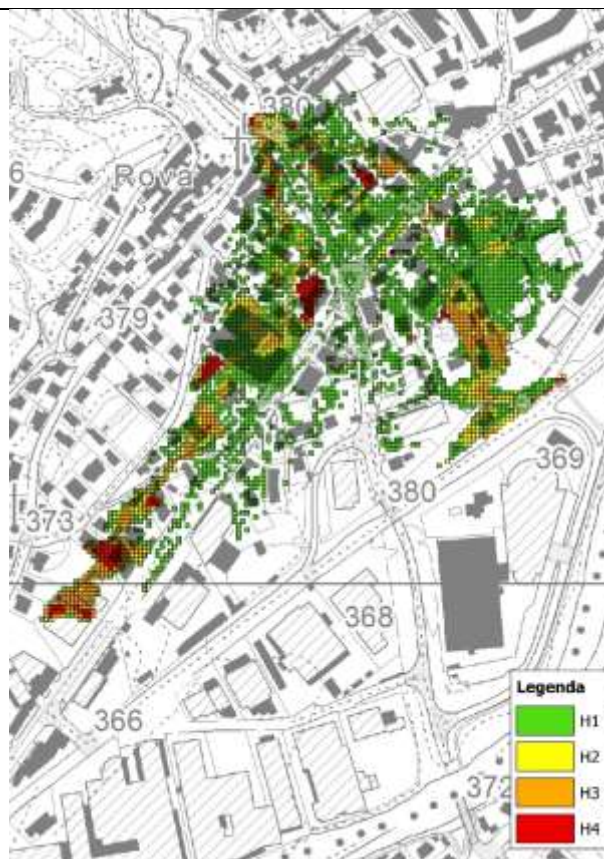


Figura 29 – Pericolosità da modello idraulico



10. PERICOLOSITA' SU BASE GEOMORFOLOGICA

Uno dei metodi più diffusi basati su criteri geomorfologici, per valutare la pericolosità di un'area di conoide, è quello di Aulitzky, il cui metodo risale al 1982 ed è stato modificato e riproposto da diversi Autori. Questo consiste nell'assegnare una sorta di punteggio al bacino in funzione delle risposte fornite ad una serie di domande preformulate. La metodologia è di seguito riportata¹².

1 - I debris flow e i debris-flood verificatisi in passato hanno causato:	punteggio
a) Danni e vittime nella zona abitata, oppure disastri nelle zone limitrofe al torrente e non abitate all'epoca dell'evento;	4
b) Solo considerevoli danni materiali senza la completa distruzione delle costruzioni	3
c) Devastazione solo a danno delle nuove strutture lungo il torrente	2
d) Solo danni materiali nelle zone di recente costruzione nelle immediate vicinanze del torrente	1

Punteggio 1

2 - La precipitazione giornaliera massima potenziale è:	punteggio
a) >200 mm/giorno (oppure 2 mm/minuto per precipitazioni orarie);	4
b) 150-200 mm/giorno (oppure 1.5 e 2 mm/minuto per precipitazioni orarie);	3
c) 100-150 mm/giorno (oppure 1 e 1.5 mm/minuto per precipitazioni orarie);	2
d) <100 mm/giorno (oppure inferiore a 1 mm/minuto per precipitazioni orarie);	1

Punteggio 2

3 - Localizzazione e volume potenziale della colata nelle aree sorgenti ("focolai di erosione) del bacino:	punteggio
a) La sorgente detritica è direttamente sopra il conoide, può movimentarsi lungo un tratto del torrente con gradiente > 20%, questo tratto può bloccare la colata tra due versanti erodibili; oppure il volume stimato dei detriti è maggiore di 100.000 m ³ ;	4
b) Le sorgenti dei detriti sono separate dal conoide da una gola molto pendente ma incapace, per la sua larghezza, di bloccare la colata; oppure il volume del trasporto è stimato tra 10.000 e 100.000 m ³ ;	3
c) Il tratto di torrente a monte del cono di deiezione non è molto ripido ed è abbastanza largo, evita il blocco della colata e può servire come deposito; oppure il volume potenziale dell'evento è compreso tra 1.000 e 10.000 m ³ ;	2
d) I focolai detritici più prossimi alla valle sono separati dal conoide da un efficiente tratto pianeggiante; oppure il volume potenziale di detrito stimato è inferiore a 1.000 m ³ ;	1

Punteggio 2

¹² Estratto da "Sistemazioni idraulico-forestali nella difesa del suolo" a cura di S. Sanna, Ed. Flaccovio, 2007



4 - Ruolo della vegetazione e dei tronchi nel caso si verifichi una colata	punteggio
a) Nei casi estremi parte della foresta matura è sradicata e raggiunge la colata a causa di frane, smottamenti, valanghe, erosione	4
b) Singoli tronchi di foresta matura raggiungono la colata attraverso erosioni di sponda e smottamenti	3
c) Il letto del torrente può essere raggiunto solo da ceppi e parti di legname;	2
d) La colata può coinvolgere solo alberi piccoli e giovani;	1

Punteggio 2

5 – Capacità di assorbimento dell'acqua ed erodibilità delle rocce e del terreno	punteggio
a) Suolo roccioso compatto, non dislocato, strati orizzontali di argilloscisti e marne senza copertura colluviale; oppure argille, miscugli di argille, sabbia e ciottoli con prevalenza di materiale fine, morene;	4
b) Suolo molto alterato in superficie o con scarsa copertura, scisti argillosi o marnosi molto inclinati, oppure residui colluviali con sabbie argillose e limose;	3
c) Roccia fessurata oppure sabbia contenente ghiaia od una certa quantità di ciottoli, ma priva di argilla e limo; terreni moderatamente permeabili;	2
d) Roccia altamente fessurata e dislocata; roccia con sacche di infiltrazione, rocce carsiche, oppure breccie e ghiaioni senza componenti fini con detriti recenti molto permeabili;	1

Punteggio 2

6 - Pendenza media longitudinale (I) del collettore	punteggio
$I > 15^\circ$ (27%)	4
$8^\circ < I \leq 15^\circ$ (14 - 27%)	3
$3^\circ < I \leq 8^\circ$ (5 - 14%)	2
$I \leq 3^\circ$ (5%)	1

Punteggio 1

La domanda 6 non compare nella metodologia originariamente proposta da Aulitzky (1973), ma è stata successivamente introdotta da Baoyuan et al. (1994)¹³.

Sulla base del valore ottenuto per il “danger-index” (D.I.), Aulitzky propone la classificazione del tipo di torrente secondo quattro tipologie:

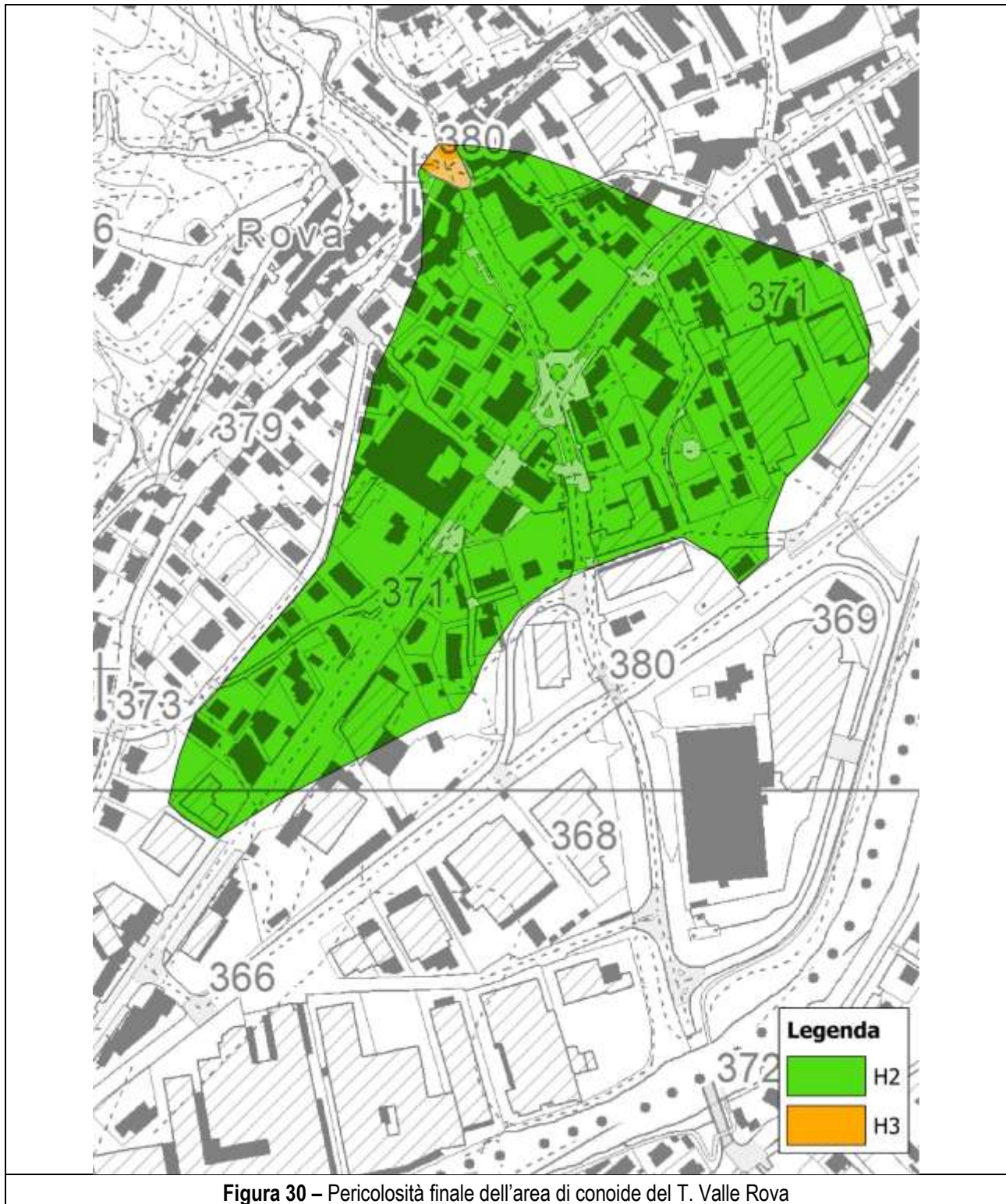
D.I.	Tipologia
DI/3	Debris flow torrent
$2.7 \leq DI < 3$	Debris flood torrent
$1.9 \leq DI < 2.7$	Bedload torrent
$DI < 1.9$	Flood creek torrent

¹³ Vedi nota 7



L'applicazione del criterio ($10/6 = 1.7$) individua il torrente Valle Rova come **Flood creek torrent**.

La pericolosità finale dell'area di fondovalle del T. Valle Rova è illustrata in **Figura 30**.





11. VALUTAZIONE DEL RISCHIO

Tale metodo è conforme alla procedura semplificata, suggerita dalla Regione Lombardia in “*Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da frana in Regione Lombardia*” e ripresa nella D.G.R. n. IX/2616 del 30 novembre 2011. Questo metodo considera l'intensità del fenomeno compreso nella valutazione della pericolosità, e il passaggio al rischio viene effettuato quindi con l'incrocio tra le classi di pericolosità definite e le classi di elementi esposti al rischio.

La suddivisione in classi degli elementi esposti al rischio è ricavabile, effettuando l'accorpamento di più categorie di uso del suolo, tratte dalle tavole di azionamento del PGT del Comune di Gazzaniga, in quattro classi di elementi a rischio, come riportato nella **Tabella 10**.

CLASSI DI ELEMENTI A RISCHIO	CATEGORIE D'USO DEL SUOLO
E1	Zona boschiva Zona agricola non edificabile Demanio pubblico non edificato o edificabile
E2	Zona agricola generica (con possibilità di edificazione) Infrastrutture pubbliche (strade comunali o consortili non strategiche*) Zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato Parchi, verde pubblico non edificato
E3	Infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche*, ferrovie; lifelines: oleodotti, elettrodotti, acquedotti) Zona per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti; zona a cava
E4	Centri urbani Nuclei rurali minori di particolare pregio Zona di completamento Zona di espansione Zona artigianale, industriale, commerciale Servizi pubblici prevalentemente con fabbricati Infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche*) Zona discarica speciali o tossico nocivi Zona alberghiera Zona per campeggi e villaggi turistici

Tabella 10: Categorie di uso del suolo– Allegato 2 Paragrafo 2.3. della D.G.R. IX/2616/2011

La valutazione del rischio si effettua attraverso una matrice di incrocio tra la classe di pericolosità e la classe degli elementi a rischio, secondo lo schema rappresentato nella **Figura 31**.



	H1	H2	H3	H4	H5
E1	R1	R1	R1	R1	R2
E2	R1	R1	R2	R2	R3
E3	R1	R2	R2	R3	R4
E4	R1	R2	R3	R4	R4

Figura 31 – Matrice del rischio – Allegato 2 Paragrafo 2.3. della D.G.R. IX/2616/2011

CLASSIFICAZIONE DEGLI ELEMENTI A RISCHIO

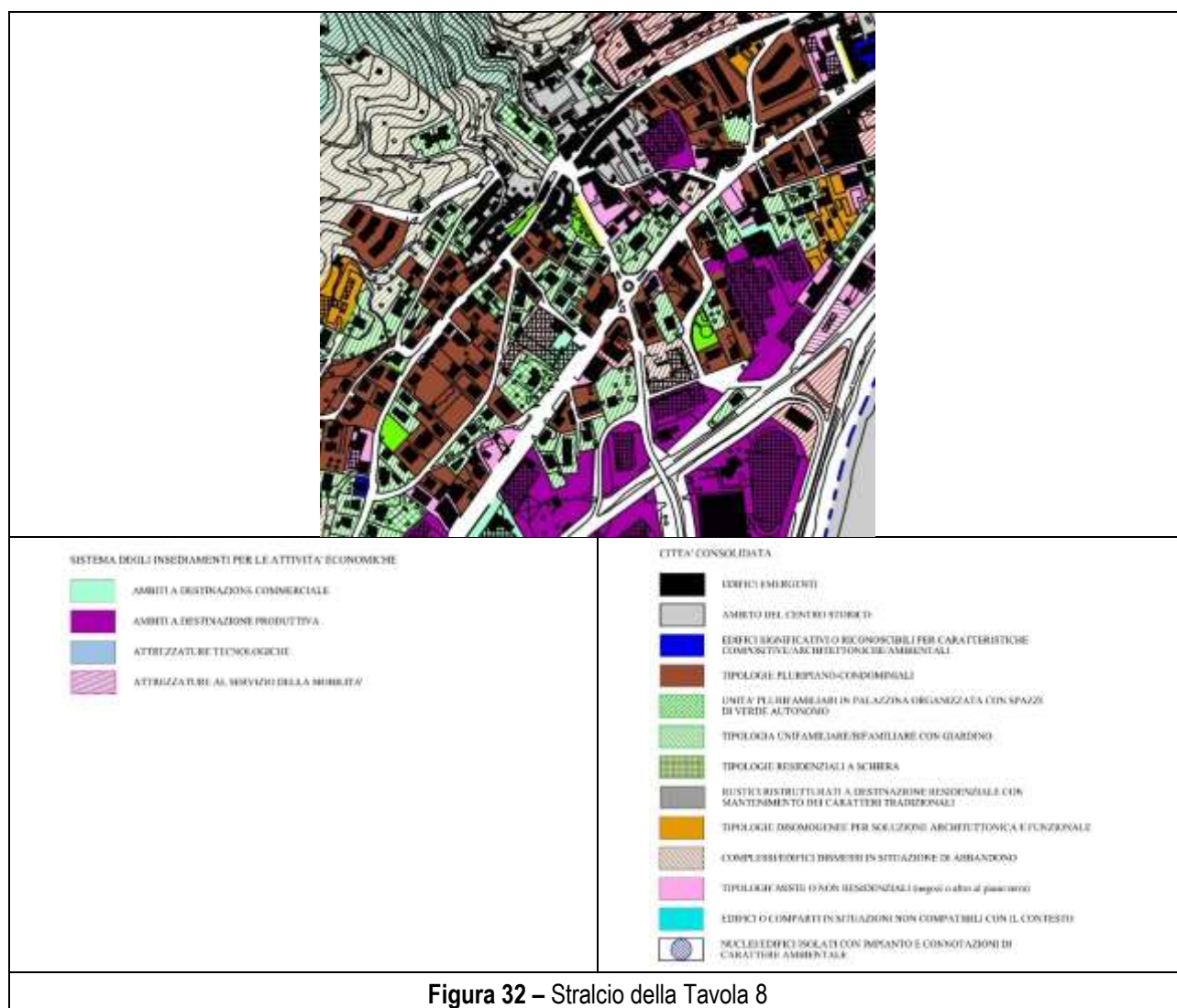


Figura 32 – Stralcio della Tavola 8

Nella **Tavola 9** è proposta la classificazione del rischio.



12. ZONAZIONE DEL CONOIDE

12.1 Zonazione del conoide secondo la legenda PAI

Come riportato nella D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 e successivamente aggiornata con D.G.R. XI/6314 del 26 aprile 2022, l'esito finale degli studi, eseguiti secondo gli standard metodologici regionali, deve essere rappresentato da una cartografia contenente la nuova perimetrazione dei dissesti, classificati secondo la legenda dell'elaborato n. 2 "*Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici – Delimitazione delle aree in dissesto*" del PAI modifica dalla D.G.R. X/6738 del 19 giugno 2017.

Pertanto, la classificazione del conoide del *Torrente Valle Rovato* è stata, a seguito delle risultanze esposte nei capitoli precedenti, ridefinita e il conoide è stato classificato in zone a diverso grado di pericolosità, secondo la legenda PAI-PGRA

area Ca: area di conoide attiva non protetta;

area Cp: area di conoide attiva parzialmente protetta;

area Cn: area di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta.

Nella **Tavola 10** è proposta la classificazione dell'area di conoide secondo la legenda PAI-PGRA.



12.2 Fattibilità geologica per le azioni di Piano

Poiché le proposte di aggiornamento PAI sono soggette alla Legge Regionale 12/05 e relative D.G.R. di applicazione, per le aree a rischio deve essere effettuata anche la valutazione della fattibilità geologica per le azioni di piano; ciò permette di dettagliare le prescrizioni e le tipologie degli interventi urbanistici consentiti, sempre nel rispetto delle norme contenute nelle N.d.A. del PAI.

Questo aspetto è particolarmente significativo per le aree classificate come Cn per fenomeni di trasporto in massa, le cui attività consentite sono regolamentate attraverso le classi di fattibilità geologica per le azioni di Piano e dalle norme di utilizzo del suolo dello studio geologico a supporto dello strumento di pianificazione urbanistica.

Le tabelle di seguito riportate esplicitano le correlazioni tra classi di pericolosità (H1-H5), fattibilità (1-4) e voci della legenda PAI (Cn, Cp e Ca) per fenomeni di trasporto in massa su conoidi.

PERICOLOSITÀ	CLASSI DI FATTIBILITÀ	VOCI LEGENDA PAI
H1 su conoide	Classe 1/2 – senza o con modeste limitazioni	Cn – conoide protetta
H2 su conoide	Classe 2/3 – con modeste o consistenti limitazioni	Cn – conoide protetta
H3 su conoide	Classe 3 – con consistenti limitazioni	Cn – conoide protetta ⁽¹⁾ Cp – conoide parz. protetta
H4 su conoide	Classe 4 – con gravi limitazioni	Ca – conoide attiva non protetta
H5 su conoide	Classe 4 – con gravi limitazioni	Ca – conoide attiva non protetta

Trasporto in massa su conoidi: correlazione tra classi di pericolosità, classi di fattibilità geologica per le azioni di piano e voci della legenda PAI

(1) Per le zone ricadenti in H3 – Classe 3 di Fattibilità, l'inserimento in Cp o Cn è lasciato alla valutazione del professionista. Qualora l'area venga inserita in Cp, la norma dell'art. 9, comma 8, delle N.d.A. del PAI prevale, in quanto più restrittiva, su quella di classe 3.

Nella **Tavola 11** è illustrata la *Carta di fattibilità geologica* del conoide del T. Valle Rovato.

Le classi di fattibilità per le azioni di piano, definite dal punto di vista geologico dalla Regione Lombardia, sono di seguito descritte.

CLASSE 1: FATTIBILITÀ SENZA PARTICOLARI LIMITAZIONI

La classe comprende quelle aree che non presentano particolari limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso a variazioni di destinazioni d'uso e per le quali deve essere direttamente applicato quanto prescritto dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".



CLASSE 2: FATTIBILITÀ CON MODESTE LIMITAZIONI

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. Per gli ambiti assegnati a questa classe devono essere indicati gli eventuali approfondimenti da effettuare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori.

CLASSE 3: FATTIBILITÀ CON CONSISTENTI LIMITAZIONI

La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Il professionista deve in alternativa:

- se dispone fin da subito di elementi sufficienti, definire puntualmente per le eventuali previsioni urbanistiche le opere di mitigazione del rischio da realizzare e le specifiche costruttive degli interventi edificatori, in funzione della tipologia del fenomeno che ha generato la pericolosità/vulnerabilità del comparto
- se non dispone di elementi sufficienti, definire puntualmente i supplementi di indagine relativi alle problematiche da approfondire, la scala e l'ambito territoriale di riferimento (puntuale, quali caduta massi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad es. conoidi, o relativo ad ambiti più estesi coinvolti dal medesimo fenomeno quali ad esempio conoidi, interi corsi d'acqua, ecc.) e la finalità degli stessi al fine di accertare la compatibilità tecnico-economica degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e individuare di conseguenza le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno alla edificazione.

Si specifica che le indagini e gli approfondimenti prescritti per le classi di fattibilità 2, 3 e 4 (limitatamente ai casi consentiti), devono essere realizzati prima della progettazione degli interventi, in quanto propedeutici alla pianificazione dell'intervento e alla progettazione stessa. Copia delle indagini effettuate e della relazione geologica di supporto deve essere consegnata, congiuntamente alla restante documentazione, in sede di presentazione dei Piani attuativi (l.r. 12/05, art. 14) o in sede di richiesta del permesso di costruire (L.R. 12/05, Art. 38).

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra, non sostituiscono, anche se possono comprendere, le indagini previste dal D.M. 17 gennaio 2018 "*Norme tecniche per le costruzioni*".



CLASSE 4: FATTIBILITÀ CON GRAVI LIMITAZIONI

L'alta pericolosità/vulnerabilità comporta gravi limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso. Deve essere esclusa qualsiasi nuova edificazione, se non opere tese al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica per la messa in sicurezza dei siti. Per gli edifici esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo come definiti dall'Art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della L.R. 12/05, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativi.

Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento della normativa antisismica.

Il professionista deve fornire indicazioni in merito alle opere di sistemazione idrogeologica e, per i nuclei abitati esistenti, quando non è strettamente necessario provvedere al loro trasferimento, dovranno essere predisposti idonei piani di protezione civile ed inoltre deve essere valutata la necessità di predisporre dei sistemi di monitoraggio geologico che permettano di tenere sotto controllo l'evoluzione dei fenomeni in atto.

Eventuali infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico possono essere realizzate solo se non altrimenti localizzabili; dovranno comunque essere puntualmente e attentamente valutate in funzione della tipologia di dissesto e del grado di rischio che determinano nell'ambito di pericolosità/vulnerabilità omogenea. A tale fine, alle istanze per l'approvazione da parte dell'autorità comunale, deve essere allegata apposita relazione geologica e geotecnica che dimostri la compatibilità degli interventi previsti con la situazione di grave rischio idrogeologico.

A discrezione del professionista ogni classe di fattibilità, con particolare riferimento alle classi 2 e 3, può essere, per maggiore chiarezza, suddivisa in sottoclassi riguardanti ambiti omogenei.



12.3 Norme per l'utilizzo delle aree a rischio

Tali valutazioni assumono particolare importanza e significato per le aree inserite in classe 3 (H2-H3), interessate da sovralluvionamento.

Le zone classificate in dissesto **Ca, Cp e Cn**, sono disciplinate dalle N.d.A. del PAI all' Art. 9 - *Limitazioni alle attività di trasformazione e d'uso del suolo derivanti dalle condizioni di dissesto idraulico e idrogeologico*, che cita:

Fatto salvo quanto previsto dall'art. 3 del D. L. 12 ottobre 2000, n. 279, convertito in L. 11 dicembre 2000, n. 365.

Nelle aree Ca - area di conoide non protetta - sono esclusivamente consentiti:

- gli interventi di demolizione senza ricostruzione;
- gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria di restauro e di risanamento conservativo degli edifici, così come definiti alle lettere a), b) e c) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457;
- gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità, senza aumenti di superficie e volume, senza cambiamenti di destinazione d'uso che comportino un aumento del carico insediativo;
- gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico e di restauro e di risanamento conservativo di beni di interesse culturale, compatibili con la normativa di tutela;
- i cambiamenti delle destinazioni colturali, purchè non interessanti una fascia di ampiezza di 4 m dal ciglio della sponda ai sensi del R.D. 523/1904;
- gli interventi volti alla ricostruzione degli equilibri naturali alterati ed alla eliminazione, per quanto possibile, dei fattori incompatibili di interferenza antropica;
- le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;
- la ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato del dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti;
- l'ampliamento o la ristrutturazione degli impianti di trattamento delle acque reflue.



Nelle aree Cp - area di conoide attiva parzialmente protetta - oltre agli interventi del precedente comma sono consentiti:

- gli interventi di ristrutturazione edilizia, così come definiti alla lettera d) dell'art. 31 della L. 5 agosto 1978, n. 457, senza aumenti di superficie e volume
- gli interventi di ampliamento degli edifici esistenti per adeguamento igienico-funzionale
- la realizzazione di nuovi impianti di trattamento delle acque reflue.

Le aree Cn - area di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta

Per le zone classificate in dissesto, ma non a pericolosità molto elevata, individuate nella legenda come aree Cn - *area di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta*, le attività consentite sono regolamentate dalle Norme di utilizzo del suolo previste nello studio geologico a supporto del Piano di Governo del territorio.

Le aree sono state classificate in classe di fattibilità 3-fattibilità con consistenti limitazioni.

L'utilizzo di queste zone sarà pertanto subordinato alla redazione di supplementi di indagine per acquisire una maggiore conoscenza geologico tecnica dei terreni.

Le indagini suppletive dovranno consentire di valutare la compatibilità degli interventi con le situazioni di dissesto in atto o potenziale e quindi di formulare le prescrizioni di dettaglio per poter procedere o meno all'edificazione. In ogni caso in tali aree i nuovi edifici andranno realizzati con criteri tali da garantirne la sicurezza nei confronti degli effetti di eventi a carattere eccezionale, tali caratteristiche andranno certificate da specifiche relazioni tecniche. I nuovi insediamenti andranno inclusi nelle procedure di allertamento/evacuazione predisposte a livello di Piano di Protezione Civile Comunale.

Viene inoltre prescritto che, qualora venga prevista la presenza di insediamenti abitativi e/o di infrastrutture pubbliche nelle zone Cn, debba essere predisposto un piano di monitoraggio e allertamento finalizzato all'attivazione delle necessarie procedure di Protezione Civile, e debbano essere realizzati tutti i provvedimenti utili a garantire la sicurezza di persone e cose sul lungo periodo.

Eventuali proposte di uso delle aree interessate da fenomeni di trasporto in massa, devono tenere conto del quadro del dissesto descritto ed essere compatibili con il rischio idraulico sussistente; a tale proposito si ritiene inoltre utile che, per gli interventi di trasformazione territoriale, vengano adottate delle **Norme di Buona Tecnica**, necessarie a ridurre il grado di rischio e che di seguito vengono elencate.

1. Realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna; disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
2. Progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso dello scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali



di scorrimento a forte velocità;

3. Agevolare il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo;
4. Adottare misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni rispetto a fenomeni di erosione e scalzamento;
5. Prevedere drenaggi atti a ridurre l'insorgere di sovrappressioni interstiziali;
6. Prevedere opere di difesa per evitare fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;
7. Predisporre misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione;
8. Ubicare le uscite a valle sopra il livello della piena centennale, aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori.

In ottemperanza a quanto stabilito dall'Art. 9 comma 10 delle NdA del PAI, tutti gli interventi consentiti, di cui ai precedenti commi, sono subordinati ad una verifica tecnica, condotta anche in ottemperanza alle prescrizioni di cui al D.M. 11.03.88 e successive modifiche ed integrazioni, volta a dimostrare la compatibilità dell'intervento, le condizioni di dissesto e il livello di rischio esistente, sia per quanto riguarda possibili aggravamenti delle condizioni di instabilità presenti, sia alla sicurezza dell'intervento stesso.

Tale verifica deve essere allegata al progetto dell'intervento, redatta e firmata da un tecnico abilitato.

Mozzo, Ottobre 2024

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli

