

TITOLO

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI
SOTTOBACINI IDROGRAFICI DEL COMPENSORIO DELLA
C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE DEGLI
INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA**

ELABORATO

LC051_E1. RELAZIONE DI INQUADRAMENTO

SCALA

/

NOME TORRENTE

TORRENTE GRIGNA

COMMITTENTE

COMUNITA' MONTANA LARIO ORIENTALE - VALLE SAN MARTINO

Via Vasena, 4 23856 Sala al Barro - Galbiate (LC)
cm.larioorientale_vallesmartino@pec.regione.lombardia.it

PROGETTISTI



PRO.TEA INGEGNERIA associati
Via Martiri 33, 23824 Dervio (LC) - Tel_fax 0341.851176
email: info@proteaingegneria.it <http://www.proteaingegneria.it>
P. IVA: 03388100137

Dott. Ing. Claudia Anselmini
Dott. Geol. Cristian Adamoli



Studio Tecnico Agostoni

23818 PASTURO - LC - Via Cariole, 7
23900 LECCO - Via G. B. Grassi, 17a
Tel. 0341 955142 - e. mail: studio.agostoni@gmail.com

Dott. Ing. Gabriele Agostoni
P.IVA n. 02261560136

Dott. Geol. Beatrice Leali
via Rivolta n. 42 - 23017 Morbegno (SO)
P.IVA: 00954070140
email: beatrice.leali@gmail.com

Documento firmato digitalmente ai sensi del D.lgs 82/2005 e norme collegate

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1	Dicembre 2016	Prima emissione	G.P. - S.C.	Cl. A. - Cr. A.	Cl. A. - Cr. A.
2					
3					

1.0	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	2
2.0	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO.....	3
2.1	Caratterizzazione geologica.....	3
2.2	Analisi della dinamica geomorfologica.....	3
2.3	Elementi della dinamica idrogeologica interferenti con il R.I.M.....	6
2.4	Elementi di rischio interferenti con il R.I.M.....	13
3.0	INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL BACINO.....	14



1.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Torrente Grigna ha origine sul versante sud-est della Grigna meridionale.

Il Torrente scorre attraverso la Val Grande e successivamente attraverso il centro abitato di Ballabio, per confluire infine nel torrente Caldone.

Il Bacino idrografico ha superficie di circa 12 km², l'asta principale del torrente si snoda per una lunghezza di 3,95 km con una pendenza media del 17 %.

L'altitudine massima e minima del bacino idrografico sono rispettivamente 2178,5 m s.l.m. e 623,3 m s.l.m..

Di seguito un inquadramento dell'area.

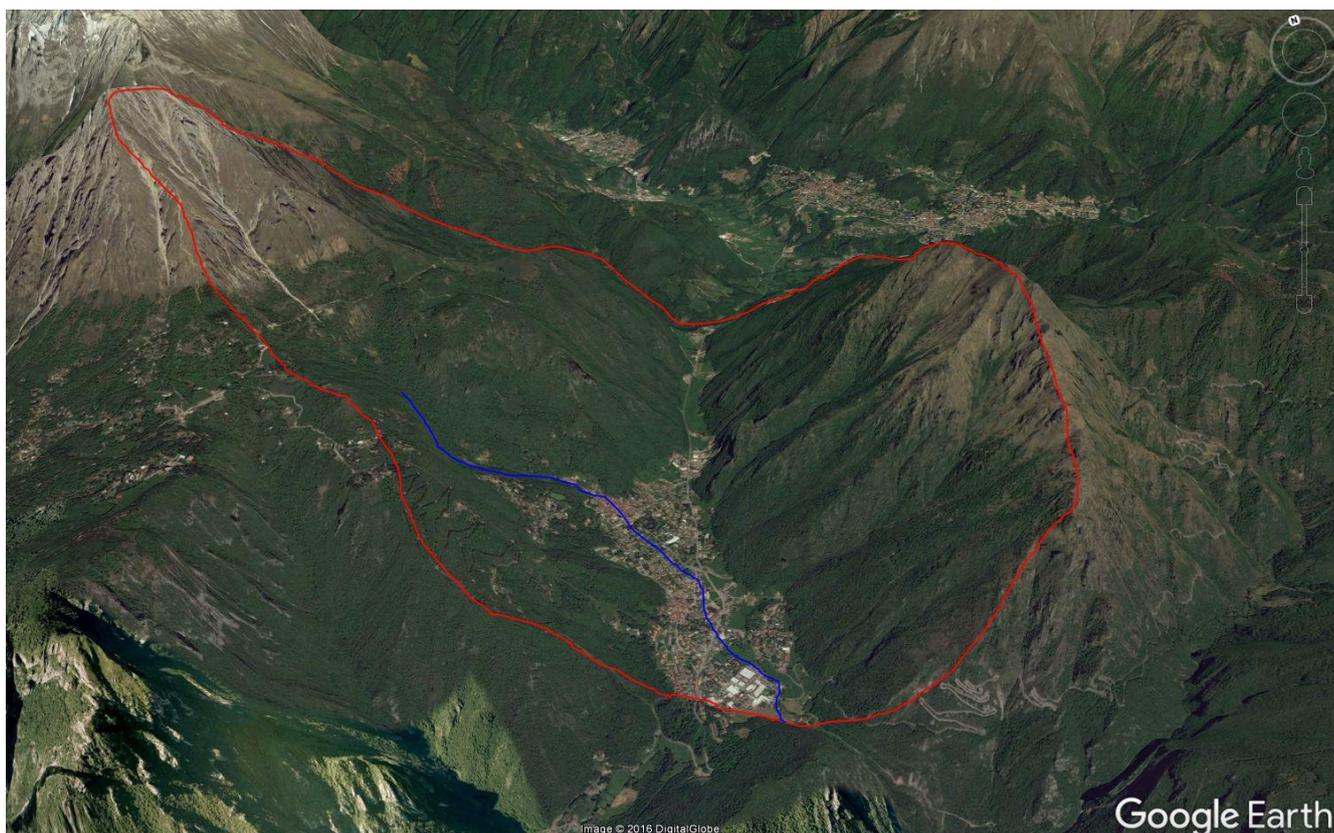


Figura 1 Estratto Google Earth indicante Torrente Grigna (tratto in esame) e bacino idrografico sottesa

2.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO

2.1 Caratterizzazione geologica

Le formazioni rocciose dell'area sono attribuibili all'Unità Due Mani-Resegone, che si sovrappone lungo un'articolata superficie di scorrimento sull'Unità Coltignone, sovrascorsa dalla Grigna Meridionale. Nel complesso l'Unità Due Mani-Resegone è caratterizzata da una monotona successione di Dolomia Principale alla cui base sono localmente preservate piccole scaglie tettoniche di Formazione di San Giovanni Bianco. Nell'area di Ballabio la Dolomia Principale comprende un'associazione litologica di dolomie saccaroidi grigie con stratificazione in bancate di alcuni metri di spessore, immergenti ad Ovest – Nord Ovest con inclinazione media intorno ai 20°. Il substrato roccioso, dove non direttamente affiorante, presente un'esigua copertura detritico-regolitica che non raggiunge mai spessori rilevanti se non al piede dei pendii.

2.2 Analisi della dinamica geomorfologica

Dal punto di vista geomorfologico il bacino idrografico del Torrente Grigna, può essere suddiviso in tre settori differenti, ciascuno caratterizzato da forme e processi distinti quali: Il versante Ovest del Monte Due Mani, la piana alluvionale che si estende da Ballabio sino al Colle di Balisio e il versante Est della Grigna Meridionale.

Il versante Ovest del monte Due Mani, è caratterizzato da un pendio degradante con acclività piuttosto omogenea, sul quale si impostano quasi esclusivamente forme e processi erosivi. Tale versante è sede di intensa degradazione fisica per azione delle acque superficiali. I torrenti a carattere stagionale incidono il versante molto profondamente e sono caratterizzati da alvei in continuo approfondimento. Allo sbocco di tali impluvi sulla pian di Balisio sono evidenti i conoidi di deiezione, rappresentati da ciottolame e grossi blocchi. Il reticolo idrografico, data l'elevata pendenza, risulta poco sviluppato, le aste torrentizie, tutte molto brevi e sviluppate in direzione Est-Ovest, risultano per lo più impostate lungo le linee di frattura. Falde di detritico e cono di detrito sono ben sviluppati alla base delle pareti rocciose. Si tratta di forme di accumulo conseguenti a processi di degradazione fisica delle pareti rocciose, talvolta rielaborati da processi di movimento di massa, rappresentati da ciottolame e grossi blocchi.

La piana alluvionale che si estende da Ballabio sino al Colle di Balisio è sede di processi di accumulo principalmente a causa delle acque superficiali e secondariamente dei ghiacciai. È caratterizzata da una morfologia pianeggiante e da numerosi conoidi di deiezione formatesi allo sbocco dei torrenti, che giunti al fondovalle, depositano i detriti che portano in carico. Solo lungo il corso attuale del Torrente Grigna si rilevano forme legate a dinamiche erosive. La piana è delimitata verso Sud da un cordone morenico testimone dell'azione dei ghiacciai quaternari.

Le forme morfologiche più rilevanti rilevabili sono da imputarsi al terrazzo alluvionale in corrispondenza del Torrente Grigna. Lungo il suo percorso si possono osservare forme di erosione dovute alla dinamica fluviale, in particolare legata ai fenomeni di piena lungo il decorso dei torrenti della piana alluvionale. Tale condizione si segnala lungo alcuni tratti di alveo naturale del torrente.

Il versante Est della Grigna Meridionale si presenta molto più articolato, caratterizzato da pendenze molto variabili, con creste a decorso piuttosto articolato ed in differenti direzioni; numerosi sono anche i tratti

poco inclinati e le contropendenze. A motivo di tale complessità di forme varie è un forte controllo da parte dei lineamenti strutturali e, secondariamente, dei termini litologici. Nel settore si rilevano depositi di versante costituiti da accumuli detritici tali da formare coni o falde detritiche ai piedi dei canali e si sono ragionevolmente formati per il distacco di singoli clasti dai versanti sovrastanti.

Nell'area in esame i depositi di versante sono presenti estesamente lungo le pendici degradanti della Grigna Meridionale. Nello specifico gli accumuli detritici in attivo accrescimento o comunque non stabilizzati, sono presenti alle quote più elevate al piede delle pareti rocciose della Grigna Meridionale, attivamente aggrediti da processi di degradazione fisica e soggetti a crolli, oppure a quote più basse ma in tal caso frequentemente rielaborati da processi di movimento di massa. A quote inferiori sono presenti accumuli detritici inattivi e stabilizzati ricoperti da suolo e vegetazione e talvolta i detriti, di cui sono costituiti, sono visibili solo in alcune incisioni. Come dalla cartografia del P.A.I. nel settore si evidenzia un'area classificata come Zona 1 e Zona 2, in corrispondenza rilievo montuoso del "Corn di Ratt". Tale rilievo costituisce una dorsale rocciosa residuale la cui attuale conformazione morfologica rappresenta il risultato dell'attività di erosione e modellazione del paesaggio ad opera dei ghiacciai quaternari che occupavano la Valsassina, oltre che dell'azione erosiva del Torrente Grigna. I pendii del "Corn di Ratt" presentano un'acclività molto elevata sia sul versante orientale che occidentale, con inclinazioni che da valori intorno ai 45°-55° nella di monte, diminuiscono progressivamente sui 35°-45° procedendo verso valle, con sviluppo di pareti rocciose discontinue sub verticali, lungo entrambi i versanti, che presentano altezza variabili sino ad un massimo di circa 10-15 m. Tali pareti risultano localizzate lungo due differenti fasce disposte longitudinalmente in corrispondenza della cresta sommitale del rilievo e nella porzione di monte dei pendii. In particolare il ripido pendio che sovrasta le abitazioni mostra una pendenza media di 45° con salti sub verticali in corrispondenza di alcuni speroni lapidei. Il dislivello complessivo è di 110 m. il substrato è affiorante o sub affiorante con rada copertura a bosco. Nonostante le opere di mitigazione presenti, è possibile sia il collasso di piccoli speroni dell'ordine del centinaio di metri cubi, sia il distacco di blocchi e massi di alcuni metri cubi che, date le caratteristiche morfologiche, potrebbero raggiungere direttamente l'abitato edificato ai piedi del versante.

Nella cartografia si possono rilevare alcuni fenomeni di colamento rapido che interessano le pendici della Grigna presso la loc. Pian della Fontana. Queste forme di dissesto sono rappresentate da solchi di ruscellamento concentrato. Presso tali solchi si raccolgono le acque superficiali dovute al progressivo approfondimento dei rivoli con il graduale aumento della concentrazione del flusso entro linee preferenziali.

Non da meno, si possono verificare forme conseguenti all'azione delle acque di scorrimento superficiale, non incanalate, serie di rivoli conseguenti a intense precipitazioni o scioglimenti della neve. Tale fenomeno di può verificare sui versanti mal protetti dalla vegetazione, alle quote più elevate, causando lacerazioni del manto erboso, erosione del suolo e della copertura regolistica.

In corrispondenza del rilievo montuoso de "Corni del Nibbio", a causa dell'elevata acclività della pareti rocciose e in base allo grado di frammentazione dell'ammasso roccioso, non si possono escludere isolati fenomeni di crollo di massi dell'ordine di qualche metro cubo.

Certamente le forme fluviali presenti nel settore sono derivate dal modellamento, sia per erosione che per accumulo, operato dalle acque correnti torrentizie. Pertanto il reticolo idrografico appare particolarmente articolato. I torrenti si sviluppano in direzioni differenti e pur essendo caratterizzati da un'intensa attività



erosiva, localmente possono dare luogo a forme di accumulo. Inoltre il reticolo idrografico risulta più ramificato in corrispondenza dei depositi di versante e morenici. Su tutto il versante, pur prevalendo i processi erosivi, si rilevano depositi detritici relativamente estesi e spessi, in prevalenza alla base delle pareti rocciose. Tali depositi originatesi per opera della forza di gravità possono essere in secondo tempo rimaneggiati a causa delle acque non incanalate e sede di trasporto di massa.

Per quanto riguarda gli alvei torrentizi, essi sono caratterizzati da un'intensa erosione lineare e laterale, che raggiunge e incide profondamente il substrato roccioso formando stretti volumi, talvolta delimitati da scarpate. La causa di queste erosioni accelerate sono sia la locale tettonizzazione che rende la roccia più facilmente degradabile, sia il notevole salto morfologico che i terreni di entrambi i versanti devono superare, per raggiungere il loro livello di base rappresentato dalla piana di Ballabio.

Altresì, l'evolvere dei fenomeni erosivi può favorire lo sviluppo di forme di dissesto, anche se di limitata estensione, in relazione alla natura del substrato ed all'energia del rilievo, da fenomeni di soliflusso e creep diffuso sino a distacchi della copertura regolistica ed al coinvolgimento del substrato ove questo si presenta maggiormente fratturato. Tali condizioni sono rilevate in prossimità della località Piani della Fontana e lungo la Costa di Vaccarese.

Infine si possono rilevare orli di scarpata in erosione accelerata rappresentati da gradini morfologici ed orli di scarpate in attiva erosione sino a nicchie di frana. Pertanto tali forme sono dovute all'azione prevalente o combinata della gravità e delle acque incanalate.



2.3 Elementi della dinamica idrogeologica interferenti con il R.I.M.

Per semplicità di lettura si riportano di seguito gli stralci dei sottobacini principali discretizzati, in riferimento alla carta della dinamica geomorfologica allegata, alla quale si rimanda per la visione completa.

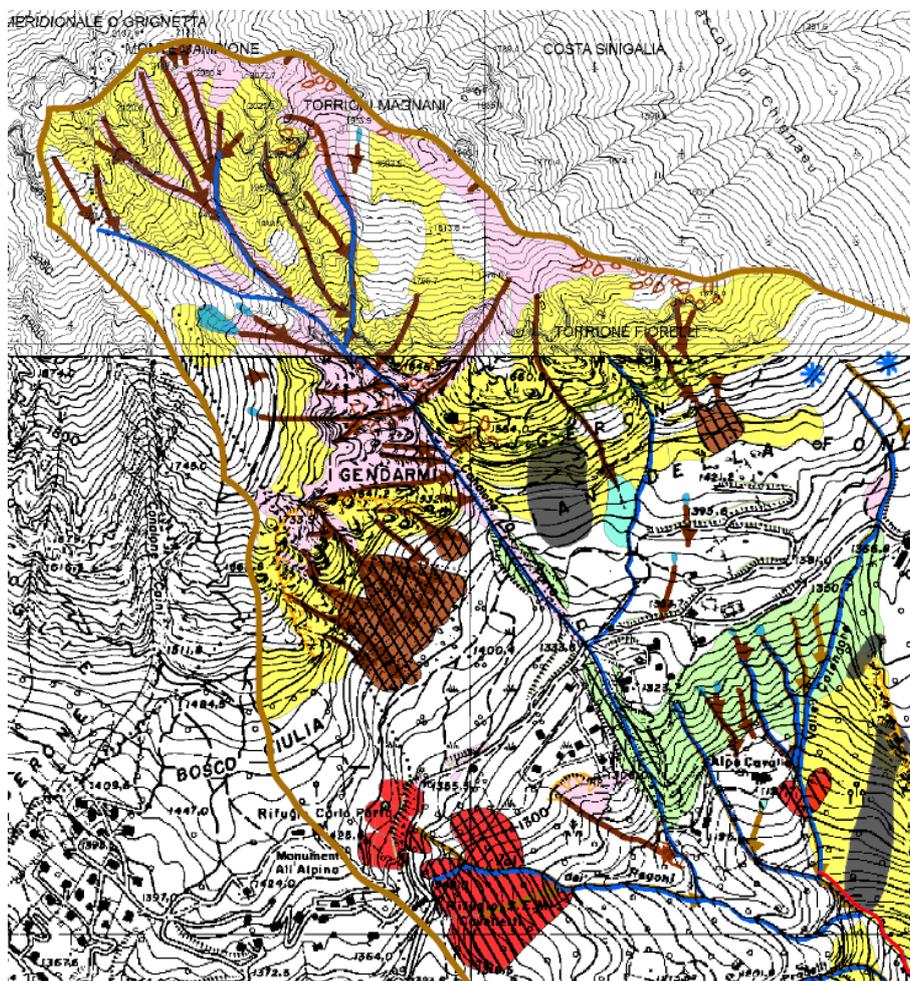


Figura 2: estratto carta della dinamica geomorfologica.

Nella figura 2 viene riportato il bacino idrografico relativo al reticolo idrico minore del torrente Grigna compreso tra il versante Sud-Est della Grigna Meridionale fino all'inizio del tratto di reticolo principale.

L'intero ambito è caratterizzato da numerose forme di dissesto idrogeologico che interessano diverse porzioni di bacino poste a varie quote altimetriche. Nello specifico si elencano i seguenti ambiti di interesse: il settore a monte della Strada che collega i Pian dei Resinelli con il Pian delle Fontane e l'ambito a valle della stessa strada.

Nello specifico l'ambito posto a monte dalla strada che collega i Pian dei Resinelli con il Pian delle Fontane, appare prevalentemente interessato da fenomeni di crollo e ribaltamento diffusi, in particolare lungo porzioni di versante sudorientale della Grigna, tra la quota 1550 m s.l.m.. Contestualmente sono inoltre presenti diverse aree soggette a frane superficiali attive lungo il versante posto a monte del Torrione Fiorelli, al torrione Magnaghi e nell'area dei torrioni "I Gendarmi". L'acclività delle pareti rocciose e lo stato di fatturazione degli ammassi rocciosi favoriscono lo sviluppo di numerose aree di crollo in corrispondenza dell'impluvio lungo in Canalone Porta oltre che diversi fenomeni di colamento rapido. Nondimeno si rileva una vasta area di frana complessa, compresa nella fascia altimetrica 1450-1500 m s.l.m., localizzata al piede dei canali in destra orografica. Tale settore appare classificato dal P.A.I. come quiescente. Sempre

dall'I.F.F.I. indica un'area soggetta a crolli attivi in corrispondenza del versante orografico sinistro in prossimità della fascia altimetrica compresa tra i 1400-1500 m s.l.m.

L'ambito posto a valle della strada che collega i Pian dei Resinelli con il Pian delle Fontane appare interessato da diverse forme di dissesto. Nello specifico, il versante posto valle all'attuale Rifugio Soldanella, lungo la Val dei Rogoni è segnalato dall'I.F.F.I. come area soggetta a scivolamento rotazionale; al riguardo il P.A.I. indica lo stato di attività come quiescente. La fascia altimetrica compresa tra i 1250-1230 m s.l.m. in prossimità dell'Alpe Cavallo l'I.F.F.I. individua un'area soggetta a frane superficiali diffuse quiescenti. A valle dell'Alpe Cavallo, a quota 1160 m s.l.m., è presente un'area di frana caratterizzata da un cinematiso rotazionale che il P.A.I classifica come quiescente.

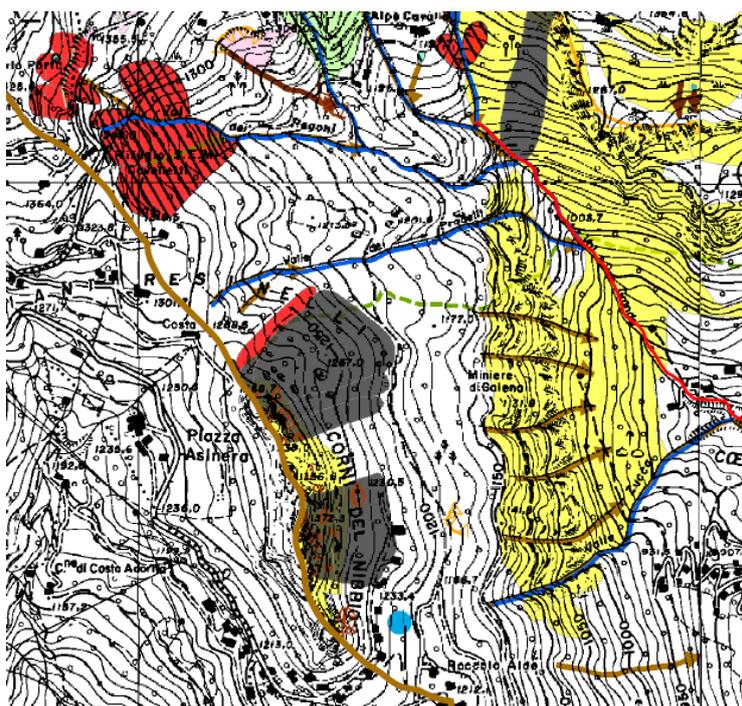


Figura 3: estratto carta della dinamica geomorfologica.

Nella figura 3 si riporta l'ambito interessato dalla presenza di due corsi d'acqua in corrispondenza della Valle Zucco e della Valle dei Pradelli. In particolare l'I.F.F.I. segnala una vasta area soggetta a crolli e ribaltamenti diffusi attivi all'interno nella fascia altimetrica compresa tra i 940 e 1150 m s.l.m. Il medesimo ambito risulta interessato da fenomeni di colamento rapido quiescente lungo gli impluvi cartografati nella C.T.R. Più a monte il versante orientale dei Corni del Nibbio appare interessato da fenomeni di crollo attivo. Per di più l'I.F.F.I. puntualmente localizza a Sud-Est dei Corni del Nibbio (quota 1210 m s.l.m.) un'area non fedelmente cartografabile.

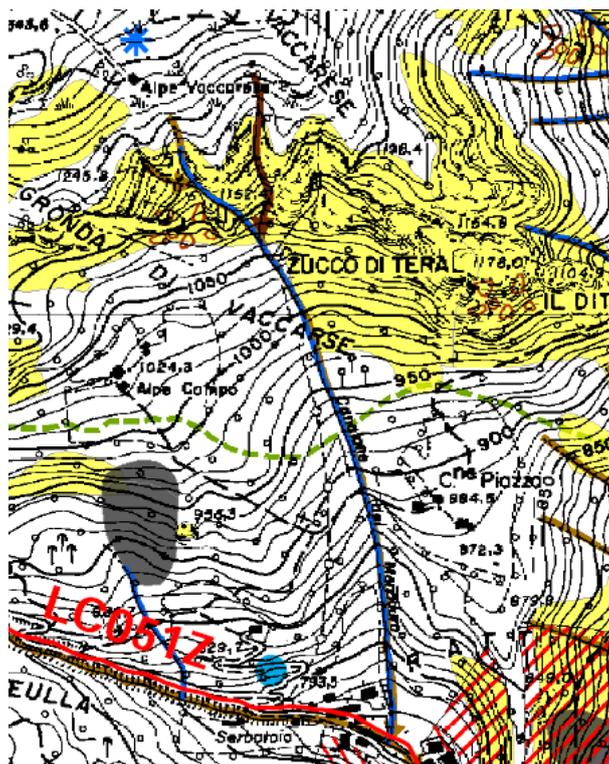


Figura 4: estratto carta della dinamica geomorfologica.

L'ambito rappresentato nella figura 4 interessa il bacino idrografico del Canale Menoduro, il cui torrente attraversa il promontorio denominato Gronda di Vaccarese. La cartografia I.F.F.I. segnala un'area soggetta a crolli e ribaltamenti diffusi nella fascia altimetrica compresa tra i 950 m s.l.m. e l'Alpe di Vaccarese. Inoltre a Sud-Est dell'Alpe di Vaccarese, gli impluvi insistenti lungo le falesie della Gronda di Vaccarese appaiono interessati da fenomeni di colamento rapido sia attivo che quiescente.

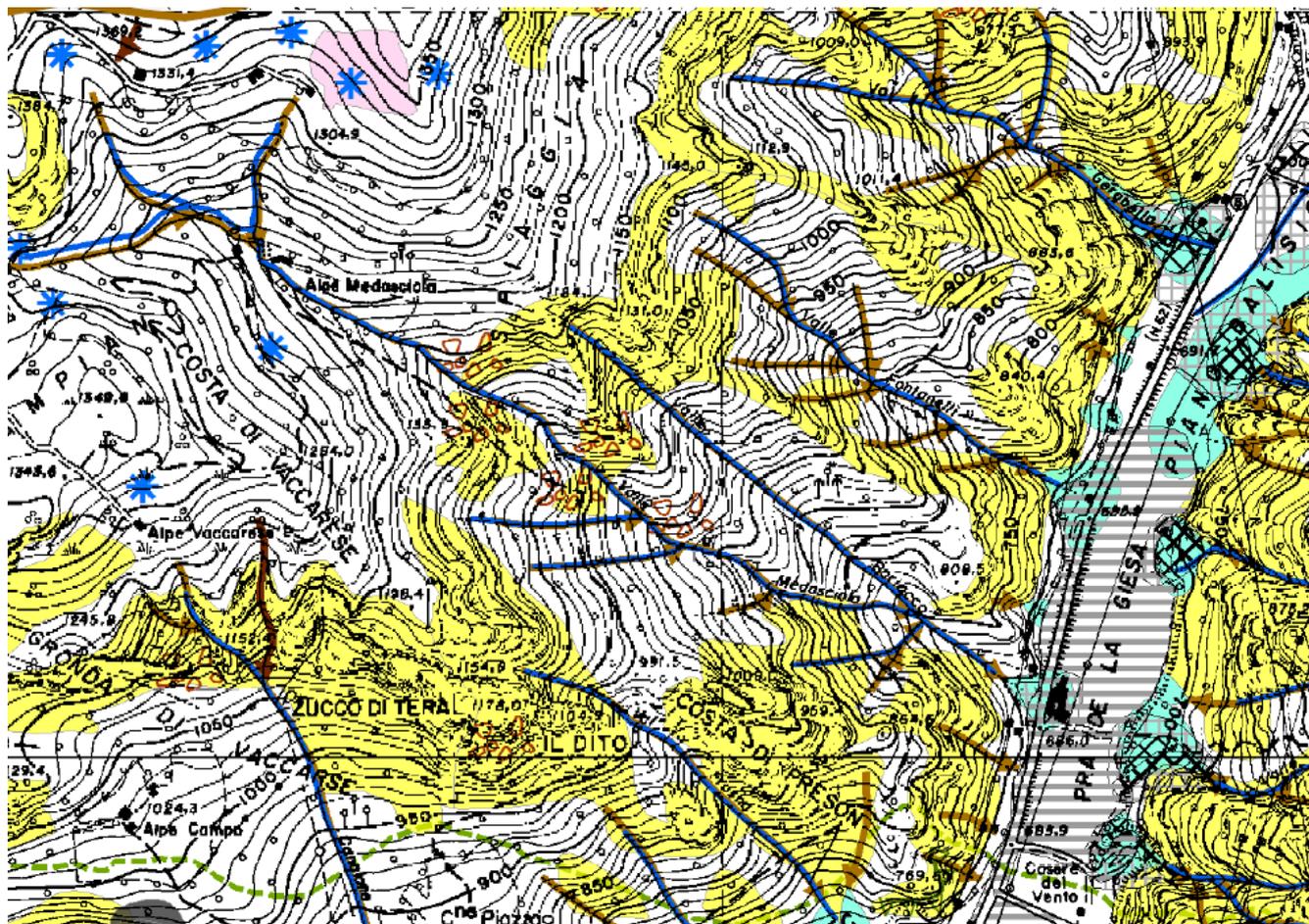


Figura 5: estratto carta della dinamica geomorfologica.

L'ambito rappresentato nella figura 5 coinvolge il versante prospiciente la Piana di Balisio, nel quale sono presenti quattro bacini idrografici minori. Nello specifico:

- Il bacino del torrente Valle Medasciola si sviluppa dall'Alpe Medasciola (quota 1300 s.l.m.);
- Il bacino della Valle di Buriacco nasce a quota 1150 m s.l.m.;
- Il bacino della Valle Fontanelli nasce a quota 1180 m s.l.m.;
- Il bacino del Torrente Gerabella nasce da due impluvi posti a quota 1100 m s.l.m..

Questi corsi d'acqua a carattere stagionale risultano interessati da fenomeni di colamento rapido a carattere quiescente. L'I.F.F.I. materializza diverse aree soggette a crolli attivi lungo le principali pareti rocciose prospicienti gli impluvi stessi.

Inoltre la porzione dell'ambito in oggetto compresa tra l'Alpe Medasciola e la Pian delle Fontane, precisamente a 1350 m s.l.m., appare interessata da numerosi fenomeni di soliflusso e creep.

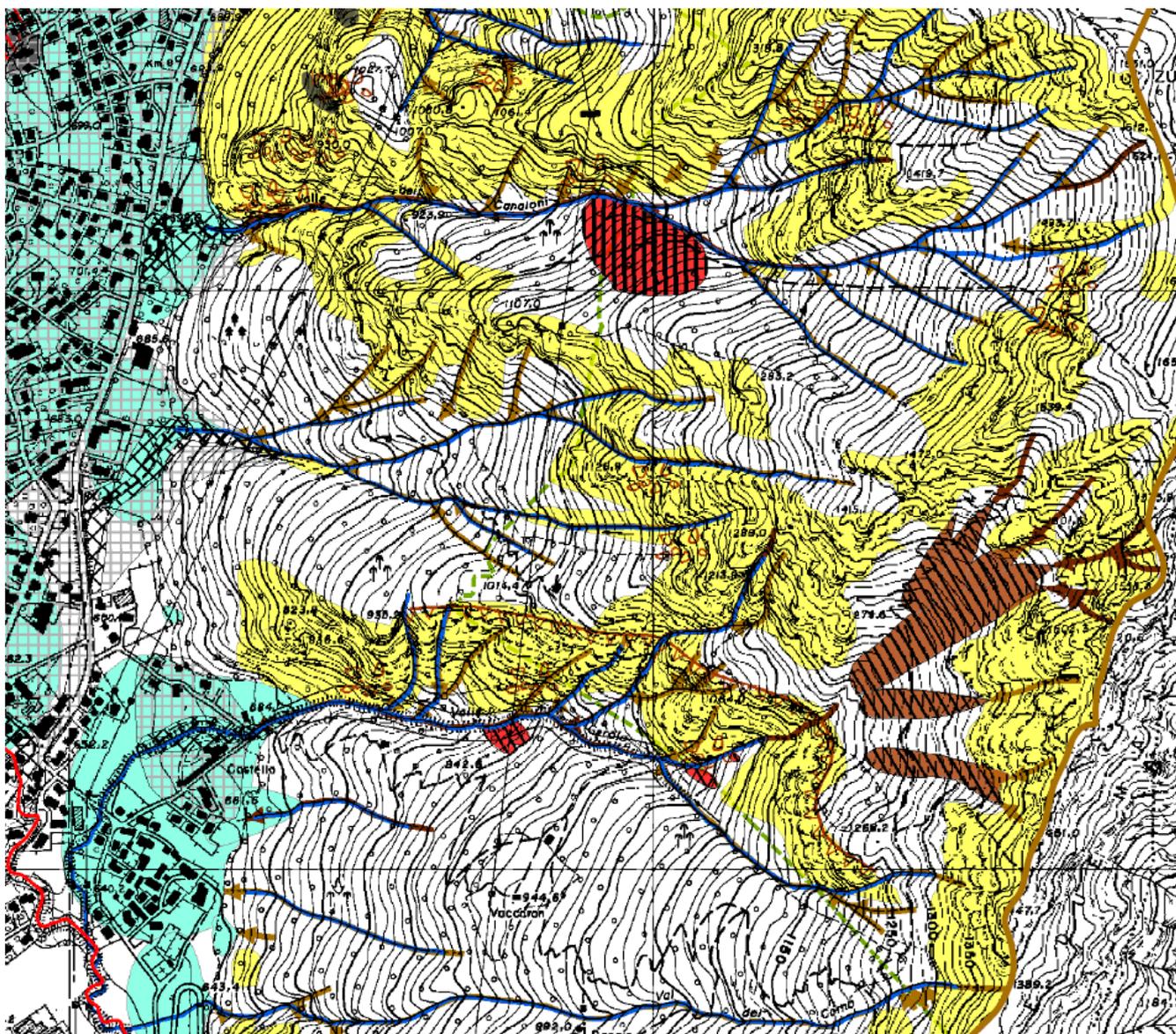


Figura 6: estratto carta della dinamica geomorfologica.

Nell' ambito rappresentato nella figura 6 si localizzano quattro bacini idrografici insistenti lungo il versante occidentale del Monte Due Mani, interessati da diverse forme di dissesto idrogeologico. Nello specifico:

- il bacino della Valle del Corno, risulta interessato da un'area soggetta a frane di crollo lungo i versanti rocciosi alle quote prossime ai 650-700 m s.l.m. e nella fascia tra 1200-1350 m s.l.m..
- il bacino della Valle Gerola: il versante orografico destro risulta interessato da una vasta area soggetta a fenomeni di crollo attivo. Per di più in corrispondenza dell'impluvio principale a quota 800-850 m s.l.m. l'I.F.F.I. localizza una area di frana con cinematismo rotazionale/traslato che contestualmente il P.A.I. indica come quiescente.
- il bacino della Valle dei Canaloni: il versante orografico destro risulta interessato nel suo areale da fenomeni di crollo attivo insistenti sul corso d'acqua e contestualmente nella fascia altimetrica compresa tra i 750-950 m s.l.m. si rileva un'altra area interessata da fenomeni di crollo attivo. L'I.F.F.I. localizza un'area di frana stabilizzata (fonte P.A.I.) a cinematismo rotazionale/traslato nella fascia altimetrica compresa tra i 1030 m s.l.m. e 1150 m s.l.m.

- il bacino compreso tra quello della Valle Gerola e la Valle dei Canaloni: l'I.F.F.I. localizza un'area soggetta a crolli attivi in corrispondenza della fascia altimetrica copresa tra gli 950 m s.l.m. e 1250 m s.l.m..

Gli impluvi presenti nell'ambito in oggetto risultano soggetti a fenomeni di colamento rapido prevalentemente quiescenti. Si evidenzia che i corsi d'acqua sono stagionali e si sviluppano in occasione di fenomeni meteorologici particolarmente importanti.

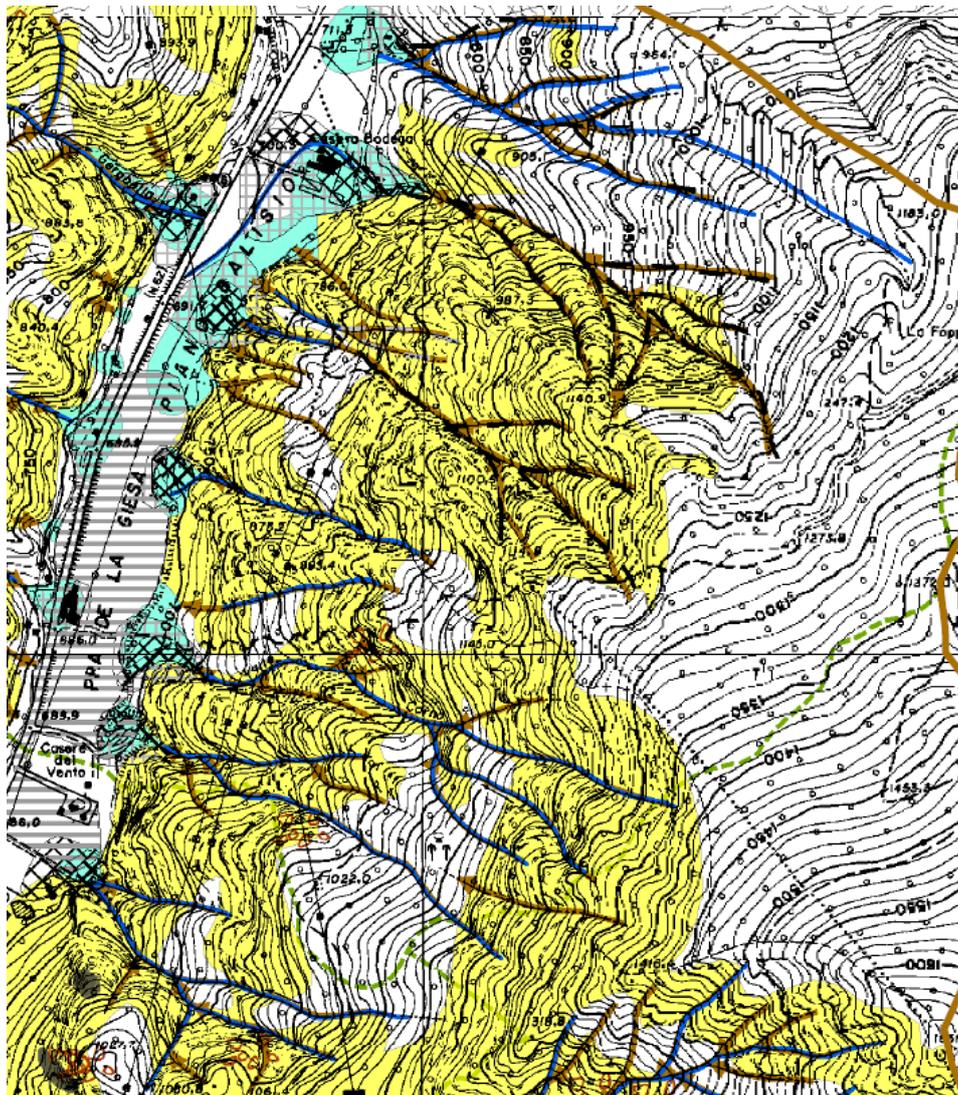


Figura 76: estratto carta della dinamica geomorfologica.

La figura 7 rappresenta l'ambito del versante nord-occidentale del Monte Due Mani, nel quale sono presenti numerosi bacini idrografici minori. Le pareti rocciose prospicienti la Piana di Balisio, secondo l'I.F.F.I. appaiono assoggettate a fenomeni crollo attivo.

Inoltre gli impluvi presenti nell'ambito in oggetto risultano soggetti a locali fenomeni di colamento rapido prevalentemente quiescenti. Si evidenzia che i corsi d'acqua sono stagionali e si sviluppano in occasione di fenomeni meteorologici particolarmente importanti. Queste vallecole sfociano nella Piana di Balisio formando conoidi alluvionali che il P.A.I. classifica come conoidi attive non protette.

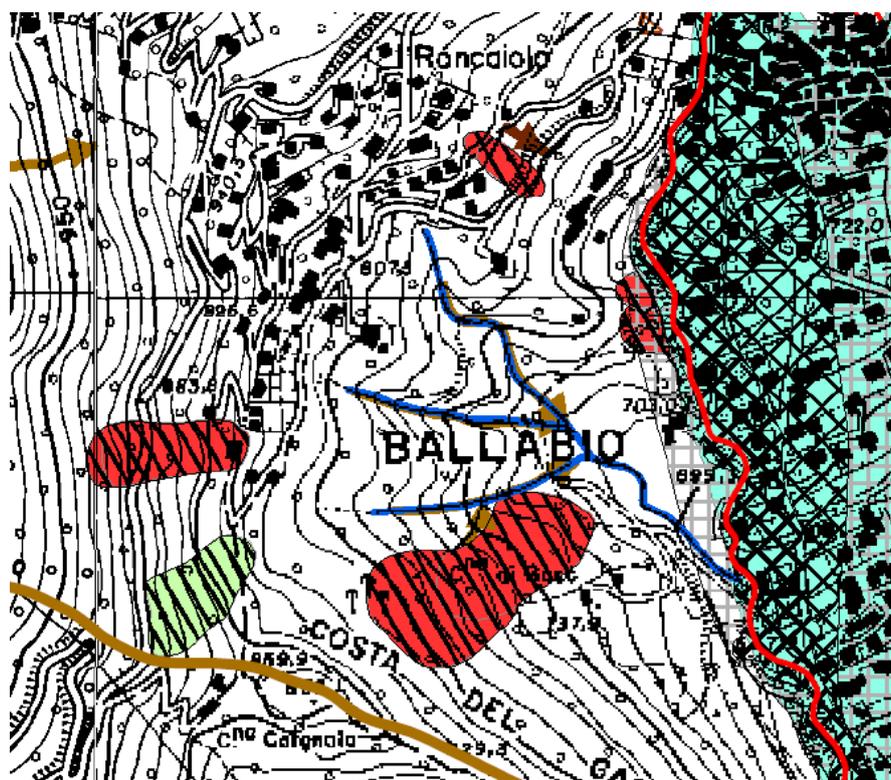


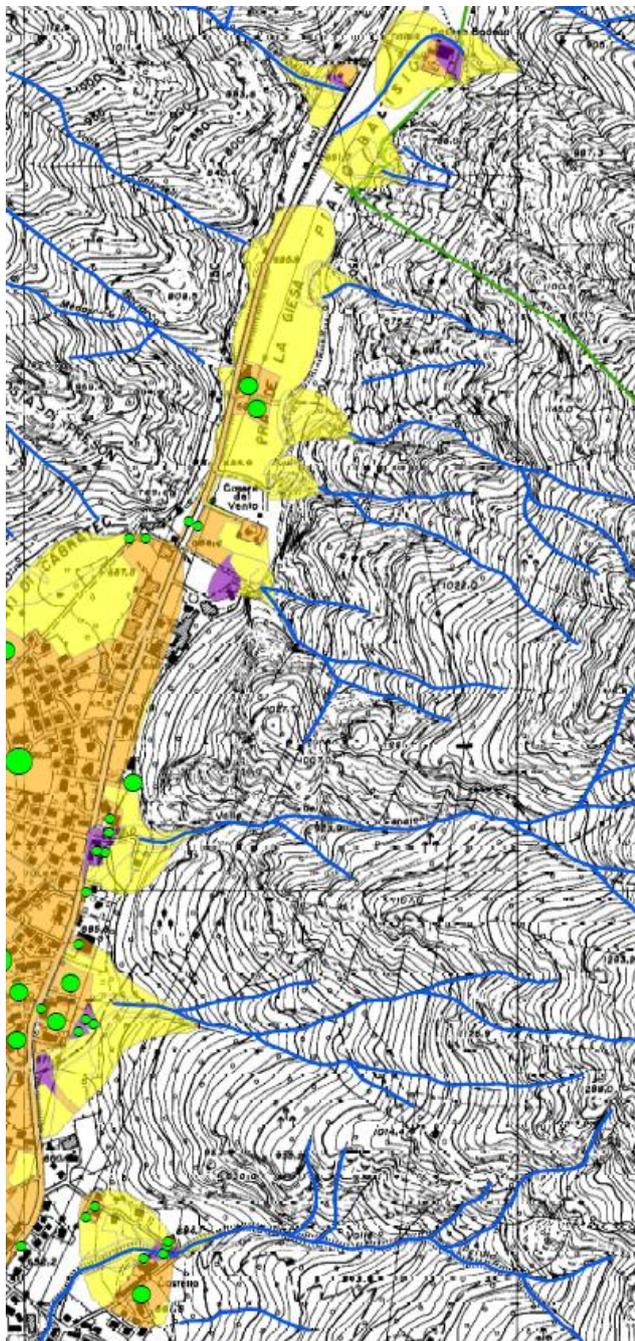
Figura 8: estratto carta della dinamica geomorfologica.

La figura 8 rappresenta il settore sul quale insiste il bacino idrografico del corso d'acqua che nasce dalla località Roncaiolo e raggiunge il Torrente Grigna. Il versante localizzato in prossimità della località C.na Gasc (quota 720-800 m s.l.m.) risulta interessato da una vasta area di frana quiescente (fonte P.A.I.) avente un cinematiso rotazionale/traslattivo.

Per di più a quota 850-900 m s.l.m., più a monte dell'area di frana precedentemente descritta, l'I.F.F.I. individua un'area di frana caratterizzata da un cinematiso rotazionale/traslattivo quiescente. Poco più a Sud è presente un'altra area interessata da frane superficiali diffuse quiescenti.

2.4 Elementi di rischio interferenti con il R.I.M.

Di seguito si riportano i riferimenti delle aree di rischio desunte dal Piano di Gestione delle Alluvioni classificate come R3 e R4. Per le aree di rischio R1 e R2 si rimanda alla lettura della tavola T3 della monografia di bacino.



La direttiva alluvione pone l'attenzione su cinque aree classificate a rischio molto elevato allo sbocco dei canali presenti lungo il versante occidentale del Monte Due Mani, rispettivamente:

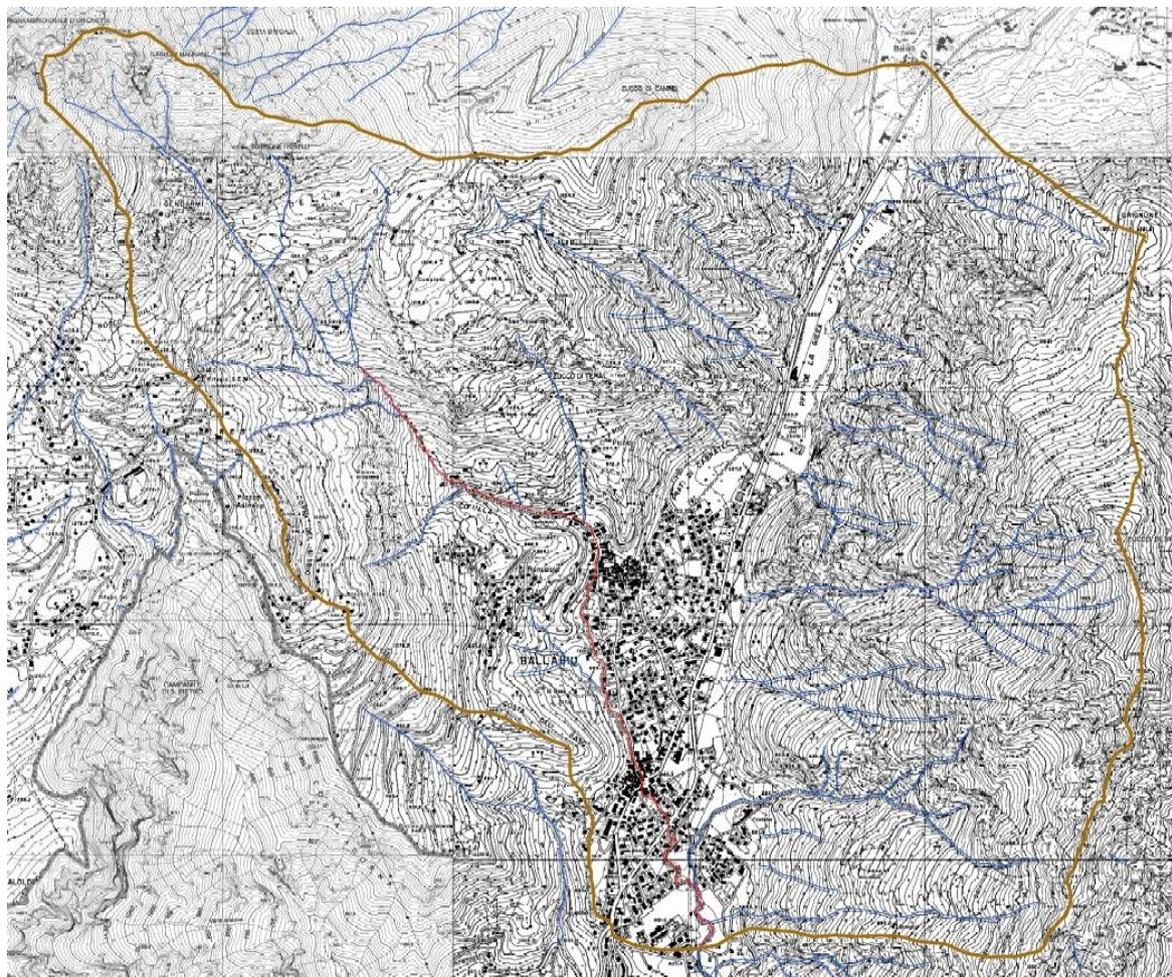
- presso la Casera Bodega, interessando una corte agricola;
- in prossimità della Casera del Vento, interessando un'area industriale
- allo sbocco della Valle dei Canaloni interessando un'area residenziale
- presso la località Castello ove sono presenti alcuni fabbricati residenziali.

Inoltre un ambito a rischio molto elevato è localizzato al piede della valle Garabella in corrispondenza di un impianto di distribuzione carburante già interessato in passato da eventi di crollo.

Figura 8. Estratto tavola degli elementi di rischio – Valle Camoggia

3.0 INQUADRAMENTO IDROLOGICO-IDRAULICO DEL BACINO

La superficie del bacino del torrente Grigna è pari 12 km², l'asta principale del torrente si snoda per una lunghezza di 3,95 km con una pendenza media del 17 %, il bacino idrografico parte da una quota massima di 2178,5 m s.l.m. fino a 623,3 m s.l.m. L'altitudine media del bacino risulta essere di 1014,13 m s.l.m.



Estratto CTR – Bacino idrografico del torrente Grigna

TEMPO DI CORRIVAZIONE DEL BACINO

Per il calcolo della portata di massima piena è stato innanzitutto stimato il tempo di corrivazione, utilizzando la formula di Giandotti, la quale è in funzione della superficie del bacino idrografico (S) in km², della quota media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (H) espressa m e della lunghezza dell'asta principale (L) in km.

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}}$$

Il tempo di corrivazione nel caso del torrente Grigna è risultato essere pari a 1,25 ore.

PREVISIONE DEGLI AFFLUSSI

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è stata effettuata attraverso la determinazione della curva di possibilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione h alla sua durata d , per un assegnato tempo di ritorno T . La curva di possibilità pluviometrica è comunemente espressa da una funzione del tipo:

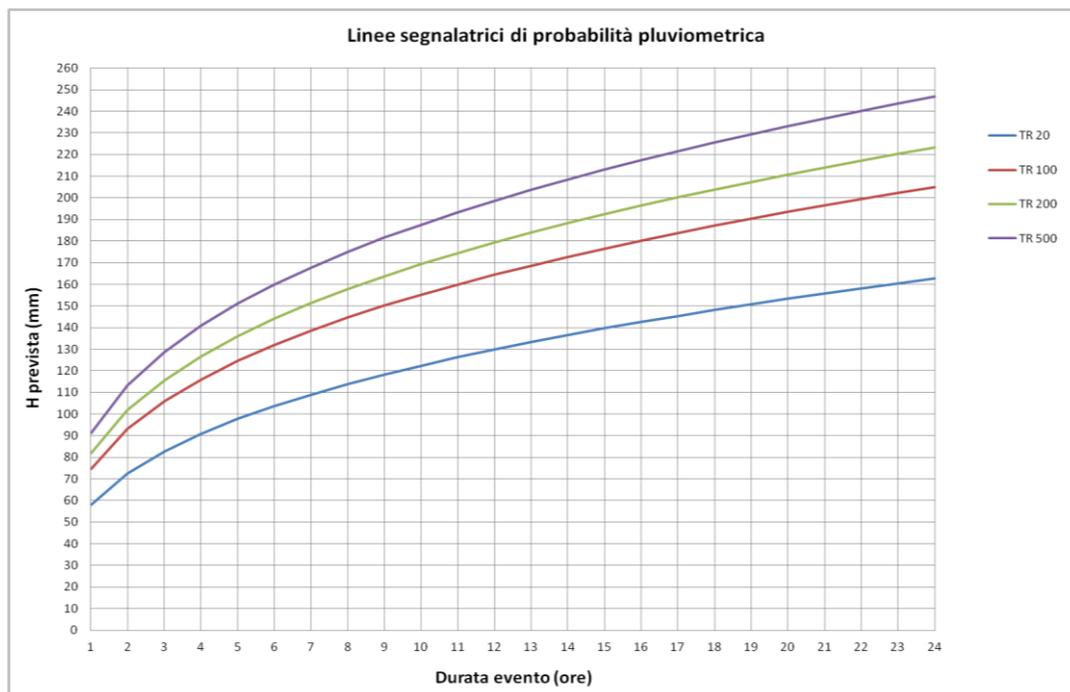
$$h(d,T) = a d^n$$

in cui i parametri a ed n dipendono dallo specifico tempo di ritorno T considerato.

La stima delle curve di probabilità pluviometrica è stata effettuata sulla base dei i parametri stimati dall'Autorità di Bacino ed in particolare dall'allegato 3 alla Direttiva PAI: *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense*. Sono state dapprima identificate le celle del reticolo chilometrico di riferimento all'interno delle quali è contenuto il bacino idrografico e poi sono stati individuati per tali celle i parametri a e n delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni.

CELLA PAI	a Tr20	nTr20	aTr100	nTr100	aTr200	nTr200	aTr500	nTr500
DL58	57,9000	0,3290	74,6200	0,3220	81,7400	0,3200	91,1500	0,3170
DL59	58,5400	0,3270	75,3000	0,3210	82,4400	0,3190	91,8800	0,3170
DL60	59,1800	0,3250	76,0600	0,3190	83,2500	0,3180	92,7500	0,3160
DM58	57,4300	0,3270	74,1500	0,3190	81,2800	0,3170	90,7000	0,3140
DM59	57,9900	0,3250	74,7200	0,3180	81,8500	0,3160	91,2700	0,3130
DM60	58,5600	0,3220	75,3700	0,3160	82,5200	0,3140	91,9800	0,3120
DN58	56,7500	0,3250	73,3100	0,3170	80,3700	0,3150	89,7000	0,3120
DN59	57,2800	0,3230	73,8300	0,3160	80,8800	0,3140	90,2100	0,3110
DN60	57,8100	0,3200	74,4100	0,3130	81,4800	0,3120	90,8400	0,3090

Parametri a e n per le celle del reticolo chilometrico del bacino del torrente Grigna



Curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni – Bacino del Grigna

La durata critica dell'evento meteorico è stata assunta pari al tempo di corrvazione T_c del bacino, Per tale tempo di progetto per il bacino in esame sono stati ottenuti i seguenti valori di massima precipitazione espressi in mm:

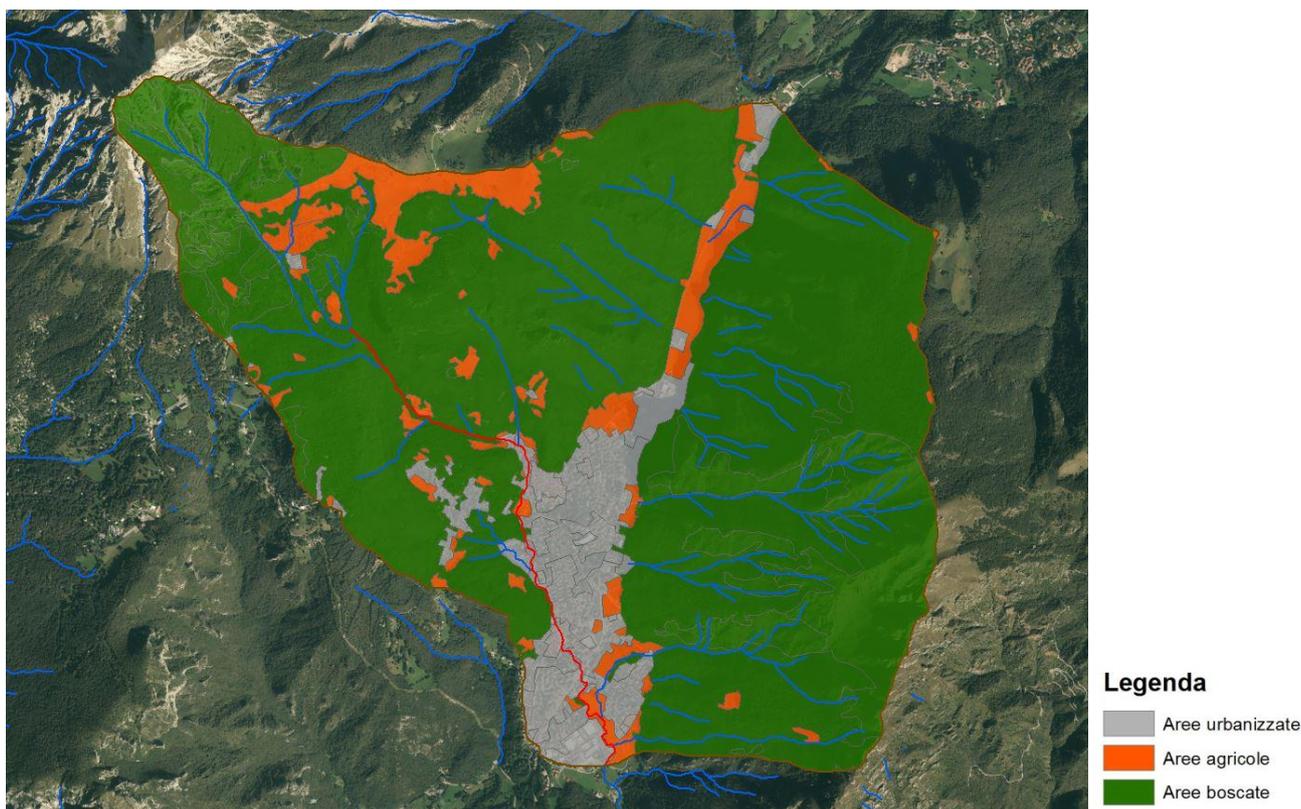
T	h(t)
20	62,31
100	80,15
200	87,76
500	97,80

Altezza di pioggia per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni (durata critica = Tc)

COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Per il calcolo del coefficiente di deflusso è stato utilizzato un valore medio pesato sulle diverse aree che caratterizzano il bacino, Sulla base dei dati DUSAF relativi all'uso del suolo forniti dal Geoportale di Regione Lombardia, è stato possibile suddividere il bacino in tre diverse aree:

- CLASSE 1 - AREE ANTROPIZZATE, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,75;
- CLASSE 2 - AREE AGRICOLE, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,40;
- CLASSE 3 - TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,30.



Suddivisione del bacino idrografico in aree in base all'uso del suolo

Come si può notare dall'immagine sovrastante, il bacino idrografico del torrente Grigna è caratterizzato in prevalenza da territori boscati e seminaturali; le zone urbanizzate si sviluppano lungo l'asta fluviale e compaiono specialmente nella parte bassa del bacino idrografico.

I valori di superficie delle tre diverse categorie DUSAF e conseguentemente il valore del coefficiente c per l'intero bacino sono sintetizzati dalla seguente tabella:

	A (km ²)	c
Area urbanizzata	1,21	0,75
Area agricola	0,93	0,40
Area boscata	9,86	0,30
Media pesata sull'area →	0,35	

Calcolo del coefficiente di deflusso c

PORTATE DI MASSIMA PIENA

Per la stima della porta liquida si è utilizzata la formula del Metodo Razionale:

$$Q = 0,28 \cdot c \cdot i \cdot A$$

in cui c è il coefficiente d'afflusso caratteristico del bacino idrografico, i è l'intensità della pioggia corrispondente alla durata critica, ovvero alla durata che dà luogo al massimo valore della portata al colmo (mm/h), A è la superficie complessiva del bacino idrografico (km²).

La portata solida è invece stata calcolata mediante le formulazioni di:

- Smart & Jaegge (applicabile per 3% < if < 20%)
- Richenmann (applicabile per 7% < if < 20%)
- Mizuyama e Shimohigashi (applicabile per 10% < if < 20%)
- Mizuyama (applicabile per 10% < if < 20%)

le quali legano la portata solida della corrente alla sua porta liquida Q_{LIQ} e alla pendenza media del fondo if .

Le formulazioni menzionate sono state utilizzate in funzione del loro campo di applicabilità, considerando che la pendenza media del torrente Grigna è del 17 %, e adottando per il calcolo della portata complessiva il valor medio dei risultati delle diverse formule, Sono stati dunque ottenuti i seguenti valori di portata complessiva solido-liquida (si noti che per portate al colmo con tempo di ritorno di 20 anni, il trasporto solido si considera trascurabile):

TR	Q_{LIQ} (m ³ /s)	Q_s (m ³ /s)	Q_{TOT} (m ³ /s)
20	58,63	-	58,63
100	75,42	13,55	88,97
200	82,58	14,85	97,42
500	92,03	16,54	108,56

Valori di portata al colmo per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni