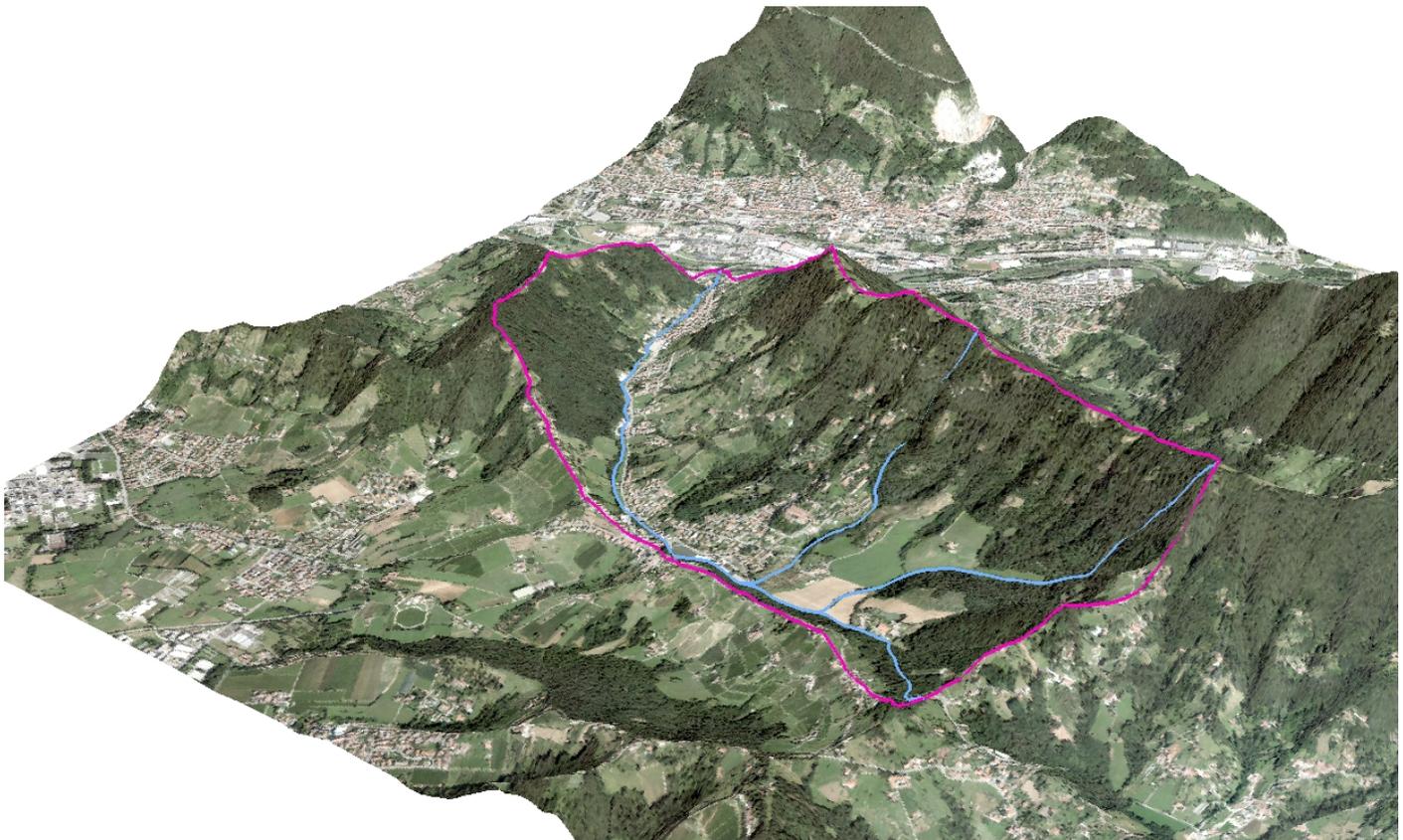


**STUDIO DI FATTIBILITA' FINALIZZATO ALLA VALUTAZIONE TECNICO-ECONOMICA
DEGLI INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL TORRENTE
GAVARNIA NEI COMUNI DI NEMBRO, SCANZOROSCIATE E VILLA DI SERIO**



RELAZIONE ILLUSTRATIVA- IDROLOGICA-IDRAULICA

Bergamo, novembre 2022

Ing. Pier Giuseppe FENAROLI



Geol. Michela PECCHIO



Dr. Ing. Pier Giuseppe FENAROLI

dr. Geol. Michela PECCHIO

INDICE

1. PREMESSA.....	4
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL BACINO DEL T. GAVARNIA ED ANALISI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICHE DELL'ASTA PRINCIPALE.....	5
3. ANALISI STORICA DEGLI EVENTI SIGNIFICATIVI: QUADRO INFORMAZIONI DESUMIBILI DAI DOCUMENTI DI PIANIFICAZIONE COMUNALE E DALLE TESTIMONIANZE RACCOLTE.....	8
4. RILIEVI TOPOGRAFICI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ASTA PRINCIPALE DEL T.GAVARNIA.....	16
5. ANALISI DEGLI ASPETTI IDROLOGICI DEL BACINO DEL T. GAVARNIA.....	18
5.1 Individuazione delle sezioni idrologiche di interesse.....	18
5.2 Caratterizzazione pluviografica dei sottobacini di interesse.....	18
5.3 Ricostruzione delle caratteristiche dell'evento del 24 maggio 2019.....	20
5.4 Definizione dei principali parametri morfometrici dei sottobacini.....	22
5.4.1 Parametri geometrici e tempo di corrivazione dei sottobacini.....	22
5.4.2 Analisi degli aspetti di uso del suolo per la caratterizzazione del coefficiente di deflusso.....	23
5.5 Stima delle portate di progetto.....	24
5.5.1 Stime mediante formule basate sulla pluviometria: formula razionale.....	24
5.5.2 Ricostruzione degli idrogrammi di piena mediante il modello della corrivazione.....	25
5.5.3 Scelta delle portate di progetto.....	30
6. ANALISI IDRAULICA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA.....	31
6.1 Ricostruzione della geometria dell'alveo.....	31
6.2 Modellazione matematica: codice di calcolo utilizzato e ipotesi adottate.....	31
6.3 Analisi dei manufatti interferenti.....	32
6.4 Tracciamento delle aree allagabili, definizione della pericolosità idraulica e disamina principali criticità individuate.....	33
6.5 Considerazioni orientative sui volumi necessari per eventuali opere destinate alla laminazione di colmi di piena.....	35
7. QUADRO DEI POSSIBILI INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA.....	38
7.1 TRATTO 1 SCANZOROSCIATE: da ponte via Misma - ponte SP65 - Confine comunale.....	39
7.2 TRATTO 2 VILLA DI SERIO-NEMBRO: da confine Scanzorosciate a tombinatura "COVERLAC".....	40
7.3 tratto 3 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da tombinatura "COVERLAC" a "OFFICINE DELLA GAVARNIA".....	40
7.4 tratto 4 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da "OFFICINE DELLA GAVARNIA" a ponte via Cattaneo (oratorio).....	41
7.5 tratto 5 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da ponte via Cattaneo (oratorio) a fiume Serio.....	41
8. STIMA COSTI DEGLI INTERVENTI IPOTIZZATI.....	42
9. DOCUMENTAZIONE PRODOTTA.....	43

ELENCO FIGURE FUORI TESTO

- Fig. 1: Inquadramento territoriale bacino T. Gavarnia
- Fig. 2: Stralcio della Carta Geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:25.000)
- Fig. 3: Delimitazione sottobacini T.Gavarnia
- Fig. 4: Bacini idrografici e celle "Discretizzazione spaziale piogge intense Arpa Lombardia
- Fig. 5: Evento 2019: Altezze ed intensità di pioggia nelle stazioni ARPA e CML considerate
- Fig. 6: Evento 2019: confronto tra misure e LSPP Arpa (originali e raggugliate) del sottobacino B04
- Fig. 7: Carta dell'uso del suolo (da DUSAF 2015 – Regione Lombardia)
- Fig. 8: Stima del coefficiente di deflusso per ciascuno dei sottobacini considerati
- Fig. 9: Delimitazione sottobacini T.Gavarnia con l'aggiunta del bacino B0 per l'ipotesi di una possibile vasca di laminazione a monte dell'affluente intermedio tra le località Giustiniana ed Immacolata, in Comune di Scanzorosciate

ELENCO ALLEGATI

Allegato A: MONOGRAFIE CAPOSALDI IGM-REGIONE LOMBARDIA

Allegato B: ELABORATI CODICE DI CALCOLO HECRAS

- Tabelle con portate, progressive e risultati delle simulazioni numeriche per $Tr=20, 50, 100, 200$ e 300 anni + stime per l'evento 2019 considerando le precipitazioni misurate a Villa di serio-CML e T.Boldone-ARPA
- Profilo longitudinale con livelli di piena $Tr=20$ e 100 anni
- Sezioni di calcolo con livelli di piena $Tr=20$ e 100 anni

Allegato C: STIMA COSTI DEGLI INTERVENTI

1. PREMESSA

Il presente rapporto illustra le conclusioni risultanti dalle indagini e dalle analisi svolte per valutare la Fattibilità tecnico-economica degli:

“INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL TORRENTE GAVARNIA NEI COMUNI DI NEMBRO, SCANZOROSCIATE E VILLA DI SERIO (BG)”

e rappresenta in particolare la conclusione della prima fase dell’incarico affidato agli scriventi da ERSAF Lombardia, finalizzato alla Progettazione Definitiva-Esecutiva di alcuni interventi prioritari, da realizzarsi nell’ambito di una finanziamento complessivo di 330 000 €, con circa 213 000 € effettivamente destinati all’esecuzione di lavori.

Nel seguente documento viene in particolare fornito:

- l’inquadramento geografico del bacino del torrente Gavarnia, corredato dalle risultanze delle indagini sulle caratteristiche geomorfologiche dell’alveo e delle sponde nel tratto di fondovalle (Cap. 2);
- l’analisi storica degli eventi alluvionali più significativi e dei loro effetti sul territorio, come desumibili dai documenti di pianificazione comunale e dalle testimonianze raccolte, con particolare riferimento al recente evento del 24 maggio 2019 (Cap. 3);
- la descrizione dei rilievi effettuati per la caratterizzazione dell’asta principale, con illustrazione di risultati e metodologie utilizzate (Cap.4);
- l’analisi degli aspetti idrologici con caratterizzazione pluviografica del bacino, definizione dei principali parametri morfometrici e stima delle portate di progetto (Cap. 5);
- l’analisi idraulica, con determinazione dei livelli di piena, tracciamento delle aree allagabili nel tratto esaminato e valutazione delle condizioni dei manufatti interferenti (Cap. 6).

Lo studio si conclude poi con la proposta degli interventi di manutenzione straordinaria che si reputano maggiormente necessari per la mitigazione delle problematiche di carattere idraulico (Cap.7) e la relativa stima dei costi (Cap. 8).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DEL BACINO DEL T. GAVARNIA ED ANALISI DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICHE DELL'ASTA PRINCIPALE

Il bacino idrografico del torrente Gavarnia nasce presso le Bocche del Gavarno nei pressi del Colle dei Pasta, propaggine del monte Misma in territorio di Scanzorosciate. Il suo corso si sviluppa inizialmente nel territorio di Gavarno Vescovado (frazione di Scanzorosciate) mentre nella porzione mediana e terminale il corso d'acqua segna il confine tra i comuni di Nembro a nord-est e Villa di Serio a sud-ovest (Fig.1).

Il bacino complessivo ha una estensione di circa 5.61 km² con quota massima di 688.12 m s.l.m. in corrispondenza del versante settentrionale e quota minima pari a circa 287 m s.l.m., alla foce nel fiume Serio.

Il torrente Gavarnia ha un pattern fluviale fortemente asimmetrico con uno sviluppo prevalente sul fianco orografico destro che ha portato alla creazione di una rete idrografica ben sviluppata; i versanti in sponda sinistra si presentano invece decisamente più ripidi e praticamente privi di affluenti significativi.

L'alveo principale presenta una sezione a fondo sostanzialmente arrotondato che, localmente, assume anche un andamento vagamente meandriforme in corrispondenza dei tratti dove la pendenza dell'alveo è meno significativa. Questa caratteristica morfologica si perde nella porzione terminale del corso d'acqua (da frazione Rinnovata fino alla confluenza del F.Serio) dove l'effetto dell'antropizzazione ha comportato negli anni una parziale rettifica del suo tracciato.

L'assetto geomorfologico del bacino del T.Gavarnia risulta fortemente influenzato non solo dalle caratteristiche litologiche e tettoniche locali, ma anche dagli interventi antropici che si sono susseguiti nel tempo.

Dal punto di vista geologico il bacino è caratterizzato dalla presenza dei litotipi del substrato roccioso riferibili alle coperture sedimentarie cretache ricoperte, in corrispondenza del fondovalle, dai depositi alluvionali recenti ed attuali.

L'assetto tettonico invece è caratterizzato dalla presenza di un sistema a pieghe e pieghe faglie con allineamento est-ovest che ha portato alla formazione della sinclinale rovescia che si sviluppa lungo tutto il versante settentrionale della Valle del Gavarno; verso sud le pieghe diventano più blande e senza particolari dislocazioni, fino ad assumere la forma di una caratteristica monoclinale con strati debolmente immergenti verso sud.

Come evidenziato nella Carta Geologica della Provincia di Bergamo (vedi stralcio in fig. 2) il torrente Gavarnia, impostato nel punto più depresso della monoclinale, risulta fortemente condizionato dall'assetto strutturale della zona dando origine ad un fondovalle caratterizzato da pendenze molto limitate, abbastanza atipiche per corsi d'acqua di tipo collinare o montano come quello in esame.

Si evidenzia inoltre che la limitata pendenza dell'alveo, ha consentito il formarsi e il permanere di una coltre colluviale che ricopre il substrato roccioso di natura calcarea (Sass de la Luna); tali depositi hanno portato alla formazione di un fondovalle abbastanza ampio che si sviluppa quasi totalmente in destra idrografica. A valle della frazione Rinnovata e fino alla confluenza nel fiume Serio, dove affiora il substrato roccioso anche se in modo discontinuo, le sponde ritornano ad essere più incise.

Alla luce delle considerazioni sopra esposte, e per le finalità del presente studio, si è ritenuto di dedicare degli specifici rilievi alla ricostruzione delle condizioni geomorfologiche di alveo e sponde del torrente Gavarnia nel tratto di interesse. In particolare, attraverso specifici sopralluoghi effettuati tra luglio e settembre 2022 nel tratto compreso tra la valle della Foppa in comune di Scanzorosciate e la confluenza nel fiume Serio, si è provveduto a classificare le condizioni di alveo e sponde considerando i seguenti aspetti:

Tipologia dell'alveo

- *alveo in erosione;*
- *alveo sovralluvionato;*
- *presenza di piante ceppaie;*
- *presenza di manufatti (ponti, tombinature);*

Tipologia delle sponde

- *muro in cls;*
- *muro in pietrame e malta;*
- *scogliera;*
- *sponda naturale.*

Condizioni delle sponde

- *sponda in erosione;*
- *sponda sottoescavata.*

Rimandando per i dettagli alle note ed alla simbologia riportate sull'atlante dell'ELABORATO C: CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA ALVEO E SPONDE, nel seguito richiamano le più significative tra le criticità riscontrate procedendo da monte verso valle.

In comune di Scanzorosciate, il tratto più soggetto a problematiche di dissesto è quello compreso tra il campo sportivo presente in destra idrografica a monte di via Pederzola e l'attraversamento della Strada Provinciale 65 (vedi ATLANTE C, FOGLIO 4). In questo settore:

- si sono osservati significativi fenomeni sia di erosione in alveo che di sovralluvionamento. Da segnalare a questo proposito l'erosione/sovralluvionamento presenti in corrispondenza dei ponti di via Pederzola e della SP65.
- in corrispondenza della sponda destra sono presenti fenomeni di erosione spondale a monte della passerella pedonale GV-03 e di sottoescavazione del muro di sponda in adiacenza al condominio di via Monte Presolana;

- sono presenti piante di medio-alto fusto in alveo che ostacolano il normale deflusso delle acque, specie in concomitanza di eventi meteorici significativi.

Un altro settore in cui sono state osservate criticità è situato immediatamente a monte della ditta Coverlac di Nembro illustrate nel FOGLIO 3 dell'ATLANTE C, dove sono stati rilevati:

- tratti di alveo in sovralluvionamento, di cui il più importante interessa un significativo tratto a monte della tombinatura della ditta Coverlac GV-09; secondo le testimonianze risulta che il materiale sia stato depositato nel corso dell'ultimo importante evento alluvionale, avvenuto il 24 maggio 2019.

Procedendo verso valle (vedi FOGLIO 2 dell'ATLANTE C) si segnala poi la presenza di:

- un tratto tombinato in corrispondenza del piazzale della ditta Officine della Gavarnia (manufatti GV-11, GV-12);
- un ponticello situato immediatamente a monte del deposito legname e destinato alla viabilità locale, in condizioni di forte ammaloramento (manufatto GV-13);
- fenomeni di sovralluvionamento nel tratto compreso tra il cimitero di Gavarno ed il ponte di via Cattaneo (GV-14, GV-15).

Nella porzione compresa tra l'abitato della frazione Rinnovata ed il fiume Serio (vedi FOGLIO 1 dell'ATLANTE C), il torrente Gavarnia si presenta per lunghi tratti canalizzato con sponde rivestite in cls e locali evidenze di sovralluvionamento nel tratto a monte della tombinatura di Piazza Rinnovata (GV-16, GV-18).

Da segnalare infine la presenza di fenomeni di erosione sia monte che a valle del ponte di attraversamento della SP 66 (GV-23), con evidenza di uno scalzamento della soglia di valle.

3. ANALISI STORICA DEGLI EVENTI SIGNIFICATIVI: QUADRO INFORMAZIONI DESUMIBILI DAI DOCUMENTI DI PIANIFICAZIONE COMUNALE E DALLE TESTIMONIANZE RACCOLTE

Le informazioni reperite riguardo agli eventi storici sono state ricavate oltre che da comunicazioni degli Enti istituzionali coinvolti, anche dalle testimonianze dei residenti.

Lo studio ha in primo luogo previsto il reperimento delle informazioni di carattere idrogeologico e di pianificazione comunale scaricabili dal geoportale di Lombardia, relativi ai comuni di Scanzorosciate, Villa di Serio e Nembro ricadenti nel bacino idrografico del T. Gavarnia:

- Componenti geologiche dei PGT comunali;
- studi per la definizione del reticolo idrico minore;
- mappe PAI-PGRA.

Tali informazioni, di carattere generale, sono poi state integrate esaminando la documentazione prodotta a seguito di vari sopralluoghi effettuati da Regione Lombardia e dai Comuni relativamente alle problematiche di dissesto idrogeologico che caratterizzano il bacino in esame. A questo proposito si citano i seguenti documenti:

- Verbale di sopralluogo effettuato da UTR-Regione Lombardia ed ERSAF in data 03/02/2022 per valutare le condizioni del T. Gavarnia in previsione di possibili interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria;
- Relazioni idrauliche pratiche UTR relative agli attraversamenti:
 - Passerella comunale (ex Impresa Zanchi) (Pratica n. 2678/A)
 - ponte SP65 KM 6-560 (manut.Straord.2003) (Pratica n. 2373/A)
 - ponte SP65 KM 6-560 (regolarizzaz.2012) (Pratica n. 2855/A)
 - Ponte FERRETTI N. (manca manufatto) (Pratica n. 1496/A)
 - Ponte ditta ARTIFONI 1587/A (Pratica n.)
 - ponte CO.VER.LAC. adeguamento (Pratica n. 1985/A)
 - Copertura CO.VER.LAC. (Pratica n. 454/A)
 - Ponticello Off. Gavarnia (Pratica n. 1826/A)
 - Copertura uso parcheggio Officine Gavarnia (ex Carrara L.) (Pratica n. 1246/A)
 - Passerella n.1 Prat. 1391/C (Pratica n. 1391/C)
 - Ponte pedonale Barcella R. (Pratica n. 1060/A)
 - Passerella n.2 Prat. 1391/C (Pratica n. 1391/C)
 - Passerella n.3 Prat. 1391/C (Pratica n. 1391/C)
- SCHEDA INFORMATIVA SULL'EVENTO METEOROLOGICO DEL 24/05/2019 AVVENUTO A VILLA DI SERIO (BG) luglio 2019 (Ufficio Tecnico comune di Villa di Serio del 4/07/2019);
- SCHEDA "RASDA" EVENTO METEORICO DEL 24/05/2019 (Ufficio Tecnico comune di Villa di Serio, Pratica n.22045 del 30/05/2019).
- COMUNE DI NEMBRO: I RETICOLI MINORI DI GAVARNO" (Relazione assessore G.Comotti Nembro, 2016)

- TORRENTE VALLE DEL GAVARNO (O RIO DI MAGUSAT) n° BG131 *Reticolo Idrico Principale (RIP) com. Scanzorosciate, Nembro, Villa di Serio - OSSERVAZIONI E INTERVENTI a seguito del dissesto idrogeologico*” (Relazione assessore G.Comotti Nembro, febbraio 2020);
- AGGIORNAMENTO SULLO STATO DI FATTO DEL TORRENTE GAVARNO IN LOCALITA’ COLOMBERA” (Relazione ex assessore G.Comotti Nembro, 28/2/2022)

Per approfondire il quadro delle informazioni desumibili dalla documentazione precedentemente elencata, sono poi stati effettuati anche diversi sopralluoghi in sito con i Tecnici comunali e della Protezione Civile, per raccogliere ulteriori informazioni in merito sia alla individuazione delle criticità osservate, sia agli eventuali interventi di Protezione Civile previsti.

Il quadro conoscitivo è stato infine completato anche a varie interviste ai residenti, risultate particolarmente utili per la ricostruzione (anche attraverso l’acquisizione di interessante documentazione fotografica e filmati) dell’evento alluvionale del 24 maggio 2019 che, a detta degli abitanti, risulta essere stato “... il più severo che si ricordi ...”.

Le prime notizie in merito ad eventi alluvionali sul T. Gavarnia risalgono al 1949 e sono state documentate dall’ Ing. Mondella, tecnico del Comune di Nembro, nella sua relazione “SISTEMAZIONE ALVEO GAVARNIA ALLA COLOMBERA BASSA” dell’aprile 1950.

In tale documento, oltre a segnalare i danni causati dall’evento avvenuto in località Colombera bassa, all’incirca all’incrocio tra la SP65 e via Colombera in comune di Nembro, si afferma che:

“ nelle ultime alluvioni del 1949, la corrente ha eroso un lunghissimo tratto della via comunale e ha coperto di breccie un lungo tratto appunto nella località segnalata la corrente ha eroso i mappali 2879, 2637, 838, 858, di Nembro ampliando per apporto quella in sponda sinistra (Villa di Serio) ... ”

Ed inoltre si indica il tipo di intervento previsto per la sistemazione della rete viaria danneggiata:

“... si è previsto di rimettere il torrente nella posizione iniziale scavando sulla sinistra e colmando sulla destra, per brevi tratti almeno per proteggere la strada ... ”.

Informazioni sugli eventi alluvionali più recenti sono state raccolte sia dagli operatori del Servizio di Protezione Civile comunale, sia da interviste effettuate ai residenti della zona da cui è risultato che sicuramente il più significativo degli ultimi anni è quello avvenuto nel pomeriggio del 24 maggio 2019 dove, nel giro di non più di mezz’ora, la zona di Gavarno-Rinnovata compresa tra il ponte della SP65 e il ponte di via Cattaneo è stata invasa da acqua, ramaglie e tronchi d’albero che hanno causato notevoli disagi ad aziende, abitazioni private e alla viabilità.

Nell’ELABORATO E: PGRA-PAI SEGNALAZIONE EVENTI STORICI si riporta una ricostruzione planimetrica di tale evento alluvionale, distinguendo tra “aree direttamente interessate dall’esonazione” e aree in cui si è verificato lo scorrimento delle acque lungo la SP 65 con altezze non superiori ai 10-15 cm. E’ stata poi inserita anche un’ulteriore classificazione per alcune aree sulle quali le testimonianze non hanno consentito di chiarire se sono state allagate

oppure no, ma che comunque risultano interposte tra Gavarnia e viabilità provinciale, interessata da scorrimento di acque meteoriche, pur con tiranti limitati.

Rimandando per i dettagli all'atlante del già citato ELABORATO E, nel seguito si riporta una sintesi delle principali problematiche individuate.

In località Gavarno-Vescovado di Scanzorosciate, vedi FOGLIO 4 - ATLANTE E, NEL 2019 l'esondazione del T. Gavarnia è avvenuta in corrispondenza del ponte della SP65, causando:

- l'allagamento di aree significative in sinistra idrografica del tratto compreso tra il "Parco bambini di Beslan" ed il ponte privato "Ferretti" (indicato in planimetria con la sigla GV-05) ed il coinvolgimento della strada provinciale con altezze d'acqua stimate in circa 30-40 cm;

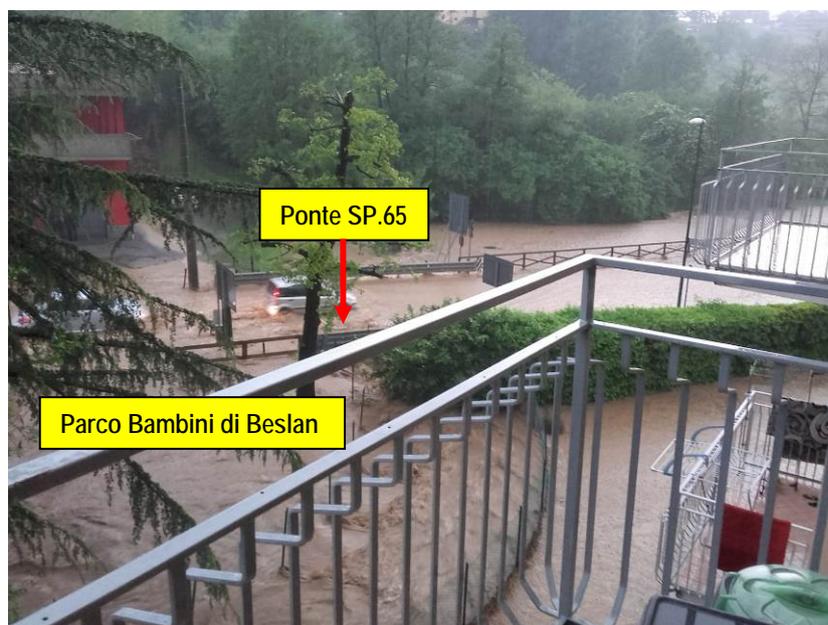


Foto 1: area allagata vista da primo piano condomino via M.Presolana



Foto 2: area allagata vista da via Mellona

- l'allagamento in destra idrografica del piano terra, adibito a garage, del condominio di via Monte Presolana, adiacente al torrente (foto 3);



Foto 3: allagamento del piano terra del condomino via M.Presolana

Procedendo verso valle, in direzione di Nembro/Villa di Serio (vedi FOGLIO 3 - ATLANTE E), l'esondazione del 2019 ha interessato principalmente l'area prativa presente in destra idrografica, tra il corso d'acqua e la strada provinciale (vedi foto 4).



Foto 4: area allagata in destra idrografica (vista dal civico 29 della SP65)

Riguardo alla sponda sinistra, caratterizzata in generale da sponde più acclivi, i contadini proprietari del campo in prossimità della passerella temporanea GV-06 hanno invece segnalato interessamenti della loro proprietà causati non solo dalla Gavarnia, nella porzione più pianeggiante, ma anche dal ruscellamento concentrato proveniente dal versante soprastante.

Nel tratto di passaggio dal comune di Scanzorosciate a quelli di Villa di serio e Nembro, da evidenziare le segnalazione dello scorrimento di acqua proveniente da monte lungo la SP65 (indicato con campitura gialla sull’elaborato E), che comunque in questa zona non sembra aver mai superato, anche nel momento più critico, i 10-15 cm di altezza.

Più a valle, all’altezza della ditta Coverlac di Nembro, i proprietari hanno riferito che il livello delle acque è “arrivato al limite”, ma non è tracimato né in corrispondenza del ponte (GV-08), né della tombinatura più a valle (GV-09). Secondo varie testimonianze, il materiale litoide che attualmente ingombra la sponda sinistra del tratto compreso tra ponte e tombinatura, con spessori che al momento dei sopralluoghi raggiungevano anche i 120 cm, si è depositato proprio in occasione dell’evento alluvionale del 2019, in particolare nella fase terminale dell’evento stesso. Nella relazione “AGGIORNAMENTO SULLO STATO DI FATTO DEL TORRENTE GAVARNO IN LOCALITA’ COLOMBERA”, prodotta dal comune di Nembro in data 28/2/2022, si ipotizza che proprio la presenza di tali depositi abbia causato i fenomeni di erosione in sponda destra che hanno portato al parziale crollo del muro arginale, recentemente ripristinato.

Allagamenti significativi hanno poi coinvolto l’abitazione al civico 80 della SP65 in comune di Nembro (vedi FOGLIO 2 - ATLANTE E), che secondo testimonianze dirette è stata interessata da livelli che hanno raggiunto l’altezza circa 1 m. In particolare, il proprietario, sig. Pezzotta, riferiva che l’acqua proveniva anche dalla strada Provinciale e dal reticolo non demaniale parallelo alla strada privata della Colombera.

Più a valle, dalle testimonianze fornite dal Sig. Rossi, residente al civico 81/c della SP65, non risulta che nel 2019 si siano verificati fenomeni di tracimazione in corrispondenza del ponte della galleria di emergenza ANAS (manufatto GV-10 in FOGLIO 2 - ATLANTE E); le acque avrebbero infatti quasi raggiunto l’intradosso del ponte e la sommità spondale, ma senza tracimare (vedi foto 5a). A valle del ponte (foto 5b) si nota invece l’esondatazione in destra, con fuoriuscita delle acque anche verso la strada, secondo gli abitanti enfatizzato dalla significativa presenza di ramaglie che avrebbe parzializzato la luce del ponte GV-11 della ditta Officine della Gavarnia (ubicato circa 180 m a valle del ponte ANAS, in comune di Villa di Serio).



Foto 5: allagamenti in zona galleria ANAS verso monte (a) e verso valle (b)

In corrispondenza del ponte GV-11 si è poi osservata l'esonazione diretta del torrente Gavarnia con interessamento di un'ampia porzione di territorio in sponda destra (vedi FOGLIO 2 - ATLANTE E) che ha coinvolto la strada provinciale e l'insediamento delle Officine Gavarnia (foto 6, 7).



Foto 6 Officine Gavarnia: situazione in corrispondenza del ponte GV-11 con tracimazione in sponda destra



Foto 7 Officine della Gavarnia: tracimazione immediatamente a monte del tratto tombinato (manufatto GV12)

Come visualizzato sulle successive foto 8-10, proseguendo verso valle l'esonazione è andata ad interessare anche il parcheggio a servizio del cimitero, il campo sportivo e l'oratorio di via Cattaneo (FOGLIO 2 - ATLANTE E).



Foto 8: allagamenti zona cimitero (Si precisa che il ponte del cimitero non ha presentato criticità).



Foto 9: zona oratorio di via Cattaneo il giorno seguente l'alluvione.

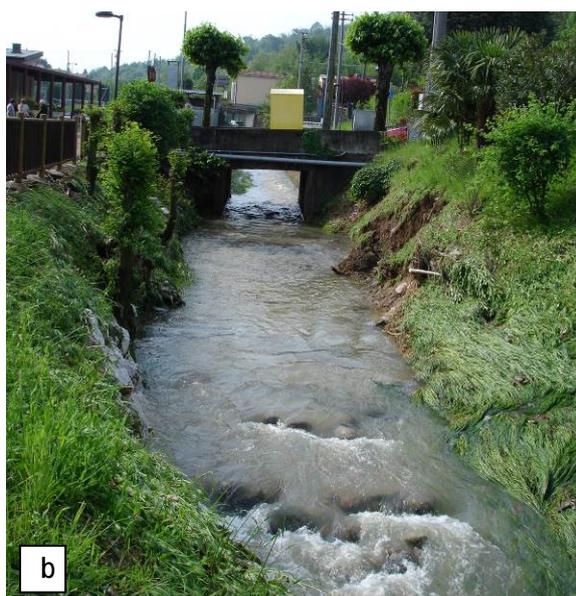


Foto 10: Ponte di via Cattaneo con indicazione del livello raggiunto dall'acqua durante l'alluvione (a) e smottamenti delle sponde a valle del ponte (b).

A valle di via Cattaneo e fino alla confluenza nel Serio (FOGLIO 1 - ATLANTE E), dalle informazioni raccolte per l'evento del 2019 non risulterebbero essersi verificati significativi fenomeni di esondazione.

Riguardo alla situazione "storica" generale, si evidenzia infine che le testimonianze degli abitanti riferiscono di ripetuti allagamenti delle proprietà private nelle zone di fondovalle, per effetto del rigurgito della rete di scolo delle acque meteoriche diretta verso il T. Gavarnia, anche in assenza di veri propri eventi di piena del torrente stesso.

Gli abitanti segnalano in particolare che tali criticità avvengono in concomitanza di temporali estivi particolarmente intensi, indicando tra i più significativi, oltre a quello del maggio 2019, gli eventi del settembre 2009 (con varie richieste di intervento dei vigili del fuoco), del giugno 2011 e dell'agosto 2012.

Le zone più soggette a questo tipo di problematiche riguardano le aree in Comune di Nembro a monte della SP 65 tra via Meucci e via Palazzo e quelle comprese tra Gavarnia ed SP65, nel settore tra via Cattaneo e Piazza Rinnovata.

In queste zone il problema principale è da ricondurre al fatto che il punto di scarico delle acque meteoriche nel Gavarnia è ubicato a quote modeste rispetto al fondo dell'alveo ed in alcuni casi proprio sul fondo dello stesso. Considerando poi il limitato dislivello presente tra lo scarico e le caditoie stradali di raccolta delle acque meteoriche, secondo le testimonianze è sufficiente un battente di circa 1 metro d'acqua nel Gavarnia per mettere in crisi la rete di smaltimento acque meteoriche, causando allagamenti in corrispondenza dei piani interrati della abitazioni situate in prossimità della strada.

Le problematiche della rete "acque meteoriche" esulano evidentemente dagli scopi specifici del presente studio, ma sono ovviamente da prendere in considerazione, soprattutto dai gestori delle rete stessa, qualora si intraprendano delle azioni per la riconfigurazione complessiva dell'assetto idraulico delle aree in questione.

4. RILIEVI TOPOGRAFICI PER LA CARATTERIZZAZIONE DELL'ASTA PRINCIPALE DEL T.GAVARNIA

In base alle problematiche da studiare, i rilievi per la caratterizzazione del Torrente Gavarnia hanno riguardato il tratto compreso tra il ponte di via Pederzola, all'altezza del campo sportivo della località Gavarno Vescovado (Scanzorosciate) e la confluenza nel Fiume Serio, in comune di Nembro.

In questo tratto sono state ricostruite 47 sezioni trasversali in corrispondenza dei punti critici e dei principali manufatti (ponti, tombinature). Qualche approfondimento è stato dedicato a due aree limitrofe al corso d'acqua (in sponda destra a monte delle ditte Coverlac e Officine Gavarnia), nella prospettiva di utilizzarle come aree per la realizzazione di sogli/briglie di trattenuta del trasporto solido e del materiale flottante.

Le risultanze dei rilievi sono poi state restituite su base topografica reperite presso i comuni; in particolare l'ubicazione delle sezioni e dei manufatti sono rappresentate in scala 1:2.000 sull'ELABORATO B1-RILIEVO TOPOGRAFICO: UBICAZIONI SEZIONI.

La geometria delle sezioni trasversali, restituite alla scala 1:100, è invece riportata nell'ELABORATO B2-RILIEVO TOPOGRAFICO: SEZIONI TRASVERSALI.

Per quanto riguarda gli aspetti metodologici, si può precisare che i rilievi topografici, eseguiti nel periodo agosto-settembre 2022, sono stati effettuati utilizzando la seguente strumentazione:

- Gps geodetico Leica GPS 1200
- Stazione totale robotizzata Leica VIVA TPS15

In particolare, i rilievi con GPS sono stati effettuati in modalità RTK (real time Kinematic), cioè cinematica in tempo reale, alla quale è associabile una precisione pari a:

- 10 mm + 1 ppm in orizzontale
- 20 mm + 1 ppm in verticale

In tale modalità il sistema consta di una stazione fissa (master o base) che comunica la propria posizione ed i dati dei satelliti ad un secondo ricevitore (stazione mobile-rover); grazie al controller palmare Leica RX1250 i dati e la posizione vengono sempre visualizzati in tempo reale. I due ricevitori GPS comunicano tra di loro attraverso il sistema radio modem.

Il rilievo con strumentazione "GPS" è stato poi integrato con l'ausilio della "stazione totale", così da permettere di eseguire il rilievo anche in zone impervie, vicino ai fabbricati e nelle zone con fitta vegetazione. Per ricostruire le luci dei ponti, diversi punti sono stati rilevati attraverso il sistema "no-prism", cioè con modalità Laser, senza l'ausilio del prisma infrarosso riflettore.

Riguardo alla determinazione dei riferimenti altimetrici, si precisa che le quote riportate sui rilievi sono state ottenute attraverso la seguente procedura:

- 1) rilievo in campo con la strumentazione GPS sopra descritta, con determinazione della quota ellissoidica WGS84 a seguito del collegamento con stazioni fisse gestite della rete ITALPOS;
- 2) determinazione della quota ortometrica mediante ricalibratura dei punti rilevati in campo sulla base delle informazioni fornite dalle schede monografiche della rete IGM (Istituto Geografico Militare) – Regione Lombardia (vedi allegati):
 - Nembro;
 - Pedrengo;
 - Seriate;
 - Gaverina Terme.

Va infine evidenziato che dal confronto con le quote riportate sulle basi cartografiche disponibili risultano delle discrepanze (con quote da GPS che risultano circa 60-80 cm superiori a quelle dei fotogrammetrici) presumibilmente imputabili alla metodologia originaria con cui è stata a suo tempo prodotta la cartografia. Si è comunque scelto di mantenere nei vari elaborati le quote risultanti dai rilievi topografici, in quanto congruenti con i sistemi di riferimento ormai attualmente utilizzati (ai quali dovranno evidentemente uniformarsi anche le future revisioni cartografiche).

5. ANALISI DEGLI ASPETTI IDROLOGICI DEL BACINO DEL T. GAVARNIA

5.1 Individuazione delle sezioni idrologiche di interesse

In considerazione sia delle caratteristiche morfologiche del bacino, sia dello scopo del presente studio, per l'individuazione delle sezioni idrologiche di interesse si è deciso di focalizzare l'attenzione sul tratto di alveo principale maggiormente urbanizzato e compreso tra la località Gavarno Vescovado (Scanzorosciate) e la confluenza nel Fiume Serio.

Al fine di caratterizzare opportunamente le portate di progetto per i vari sottotratti, nel bacino complessivo del torrente Gavarnia sono stati individuati 6 sottobacini significativi (vedi Fig.3):

- 1) sottobacino 01: a monte ponte Campo sportivo Loc. Gavarno Vescovado;
- 2) sottobacino 02: a monte ponte Strada Provinciale SP 65;
- 3) sottobacino 03: a monte ditta Coverlac;
- 4) sottobacino 04: a monte Officine Gavarnia;
- 5) sottobacino 05: a monte ponte oratorio via Cattaneo;
- 6) sottobacino 06: sbocco F.Serio.

Per ciascuno di essi si è provveduto:

- alla caratterizzazione pluviografica, con determinazione delle Linee Segnalazioni di Probabilità Pluviometrica (LSPP) da utilizzare per le successive stime;
- alla ricostruzione dei principali parametri morfometrici ed alla caratterizzazione del coefficiente di deflusso;
- alla stima delle portate di progetto da considerare per la valutazione dei livelli di piena per vari tempi di ritorno.

Tali valutazioni sono illustrate nei paragrafi successivi.

5.2 Caratterizzazione pluviografica dei sottobacini di interesse

Per la valutazione delle precipitazioni caratteristiche del territorio in esame si sono utilizzate le informazioni fornite da ARPA Lombardia, sulla base delle risultanze dei seguenti studi:

- *“Il regime delle precipitazioni intense sul territorio della Lombardia: Modello di Previsione Statistica delle Precipitazioni di Forte Intensità e Breve Durata”* – (Arpa Lombardia - Politecnico di Milano, febbraio 2005)
- *“PROGETTO STRADA - strategie di adattamento dei cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero”*: *Il monitoraggio degli eventi estremi come strategia di adattamento ai cambiamenti climatici - le piogge intense e le valanghe in Lombardia*” (Arpa Lombardia 2013).

in cui vengono formulati i criteri e i metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviale in Lombardia sviluppando la parametrizzazione della Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala-invariante.

A partire dai parametri determinati per le singole stazioni analizzate, ARPA ha provveduto a costruire l'atlante regionale delle piogge intense, caratterizzato da una griglia a maglia quadrata (lato 1.5 km) dove per ogni cella sono forniti i parametri della GEV per durate da 1 a 24 ore e per tempi di ritorno dai 10 ai 200 anni. (vedi Portale Idrologico Geografico di ARPA Lombardia).

Per il presente caso si è quindi proceduto ad individuare le celle di interesse per il bacino idrografico in esame che, come illustrato in fig. 4, corrispondono alle seguenti righe/colonne del nuovo atlante regionale delle piogge intense e sono caratterizzate dai seguenti valori dei parametri di interesse:

Parametri ARPA	Riga-Colonna Atlante ARPA								
	R98-C82	R99-C82	R98-C83	R99-C83	R97-C84	R98-C84	R99-C84	R98-C85	R99-C85
A1 - coeff. pluviometrico orario	29.690	29.680	29.620	29.420	29.460	29.410	29.340	29.330	28.980
N - coeff. di scala	0.2995	0.2999	0.2980	0.3032	0.2990	0.3005	0.3054	0.3023	0.3146
GEV - parametro "α"	0.3012	0.3018	0.3017	0.3030	0.2997	0.3009	0.3043	0.3014	0.3075
GEV - parametro "k"	-0.0069	-0.0071	-0.0063	-0.0062	-0.0085	-0.0080	-0.0015	-0.0074	-0.0008
GEV - parametro "ε"	0.8239	0.8233	0.8238	0.8230	0.8242	0.8236	0.8237	0.8236	0.8220

A partire da tali parametri e considerando le espressioni analitiche:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad h_T(D) = a_1 w_T D^n = a_T \cdot d^n$$

si possono facilmente determinare le LSPP per ciascuna cella e per vari tempi di ritorno, espresse nella più usuale forma $h = a_T \cdot d^n$.

Al fine di caratterizzare i parametri per ogni sottobacino considerato, si è provveduto a determinare le porzioni A_i di ciascuna cella ricadente all'interno del sottobacino, così da poterle associare un peso p_i calcolato in rapporto all'area totale sottesa A_{tot} e da poter poi calcolare le medie ponderate a_T e n_T :

$$p_i = A_i/A_{tot} \quad a_T = \sum p_i a_{i,T} \quad n_T = \sum p_i n_{i,T}$$

ottenendo le LSPP di calcolo illustrate nella successiva tabella.

BACINI	LSSPP – ARPA LOMBARDIA Tempo di ritorno [anni]									
	20		50		100		200		500	
	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>wT</i>	<i>a</i>	<i>a</i>	<i>n</i>
Gavarnia Bacino Q1 a monte ponte Campo sportivo	50.850	0.3011	59.309	0.3011	65.683	0.3011	72.063	0.3011	80.526	0.3011
Gavarnia Bacino Q2 a monte ponte Strada Provinciale	50.904	0.3008	59.371	0.3008	65.751	0.3008	72.137	0.3008	80.606	0.3008
Gavarnia Bacino Q3 a monte Coverlac	50.948	0.3005	59.423	0.3005	65.808	0.3005	72.198	0.3005	80.674	0.3005
Gavarnia Bacino Q4 a monte Officine Gavarnia	50.965	0.3006	59.443	0.3006	65.830	0.3006	72.223	0.3006	80.702	0.3006
Gavarnia Bacino Q5 a monte ponte oratorio	50.995	0.3006	59.480	0.3006	65.872	0.3006	72.270	0.3006	80.756	0.3006
Gavarnia Bacino Q6 sbocco F.Serio	51.016	0.3007	59.506	0.3007	65.902	0.3007	72.304	0.3007	80.795	0.3007

5.3 Ricostruzione delle caratteristiche dell'evento del 24 maggio 2019

Come anticipato nel Cap.3, l'evento più significativo che negli ultimi anni ha interessato il torrente Gavarnia si è verificato il 24 maggio 2019; esso risulta particolarmente significativo tanto che diverse testimonianze lo hanno definito come “ ... il più severo che si ricordi”.

Al fine di caratterizzarlo si sono innanzitutto acquisite le misure delle altezze di pioggia effettuate dalla rete regionale ARPA nelle stazioni limitrofe:

- Bergamo Goisis (misure ogni 10 minuti)
- Torre Boldone (misure ogni 10 minuti)
- Stezzano (misure ogni 10 minuti)
- Mornico (misure ogni 10 minuti)

Volendo poi ricercare informazioni geograficamente più vicine al bacino in esame, la raccolta dati è stata estesa alle stazioni della rete del CML (Centro Meteorologico Lombardo), associazione senza scopo di lucro che opera amatorialmente con l'obiettivo primario di studiare e migliorare le conoscenze sul clima e microclima della Lombardia.

Attraverso contatti intercorsi con i referenti dell'associazione si sono in particolare reperite le misure effettuate dal 23 al 25 maggio 2019 nelle seguenti stazioni:

- Villa di Serio, (via I° maggio, 275 m slm) con misure ogni 5 minuti,
- Alzano Lombardo (fraz. Alzano Sopra, 318 m slm) con misure ogni 5 minuti,
- Bergamo stadio (Borgo Santa Caterina, 265 m slm) con misure ogni 5 minuti,
- Seriate (via Paderno, 248 m slm) con misure ogni 5 minuti,
- Monte Misma (Croce versante Fiobbio, 1020 m slm) con misure ogni 5 minuti,
- Cenate Sopra (ubicaz. non dichiarata, 335 m slm) con misure ogni 15 minuti,

La rappresentazione grafica dei dati raccolti è visualizzata in Fig.5, dove sono riportate sia le piogge “cumulate” che le intensità di pioggia, ricavate dalle misure acquisite (ovviamente considerando l'intervallo di acquisizione specifico di ciascuna stazione).

Osservando la figura si rileva una notevole variabilità dei valori anche per stazioni non particolarmente lontane l'una dall'altra; si noti, ad esempio:

- che per Cenate Sopra e Monte Misma risultano precipitazioni decisamente meno significative di quelle invece registrate a Villa di Serio Torre Boldone, Alzano e Seriate;
- che le precipitazioni misurate a Bergamo-Goisis e Bergamo-stadio sono decisamente limitate, pur trattandosi di stazioni spazialmente poco distanti da quelle in cui sono stati registrati valori ben superiori (come ad es. Torre Boldone e Villa di Serio).

Tutto ciò conferma quanto in realtà già noto da letteratura e cioè che gli eventi intensi di brevissima durata e forte intensità sono in generale caratterizzati da notevole variabilità spaziale, con possibilità di concentrazione delle precipitazioni in aree anche molto ridotte.

Risulta dunque evidente che le valutazioni sulle precipitazioni nelle stazioni disponibili, purtroppo tutte al di fuori del bacino del T. Gavarnia, possono essere estese al bacino in esame solo a prezzo della consapevolezza di una significativa approssimazione della loro validità.

Ciò nonostante, considerati i notevoli effetti osservati lungo il torrente Gavarnia in quell'occasione, per la classificazione dell'evento del maggio 2019 si può empiricamente ritenere accettabile di far riferimento alle stazioni con le maggiori precipitazioni, anche se va ricordato che nelle esondazioni un ruolo significativo è stato svolto non solo dalle precipitazioni, ma anche dal trasporto di materiale, sia litoide che flottante, e dalle condizioni morfologiche dell'alveo, con presenza di sovralluvionamenti ed eccessiva vegetazione nella sezione di deflusso.

Volendo comunque arrivare ad una classificazione almeno orientativa dell'evento, si è proceduto ad un confronto tra misure registrate e LSPP illustrate in precedenza (ricavate bacino per bacino dalla regionalizzazione ARPA). Tale confronto è presentato in Fig.6, dove sono riportate

- le massime precipitazioni di durata fino a 120 minuti, calcolate a partire dalle registrazioni nelle stazioni di Villa di Serio, Alzano e Torre Boldone;
- l'andamento delle LSPP determinate in precedenza per il sottobacino B04, che sono comunque sostanzialmente analoghe a quelle degli altri sottobacini. Si noti che sono presentate sia quelle "originali", sia quelle "ragguagliate" all'estensione del bacino mediante la procedura "Wallingford", illustrata in dettaglio nel successivo paragrafo che descrive le stime delle portate di progetto.

Analizzando la Fig.6, e prendendo a principale riferimento i dati relativi alla stazione di Villa di Serio, si può osservare che alle durate fino a 30 minuti può essere associato un tempo di ritorno compreso tra i 20 ed i 50 anni rispetto alle LSPP basate sui dati dell'atlante ARPA, mentre decresce rapidamente per durate superiori.

Pur ricordando quanto già espresso sulla rappresentatività delle misure e sull'approssimazione delle valutazioni possibili, sulla base della considerazione precedenti si può concludere che all'evento verificatosi nel maggio 2019 sul bacino del torrente Gavarnia può almeno orientativamente essere associato un tempo di ritorno compreso tra i 20 e i 50 anni.

5.4 Definizione dei principali parametri morfometrici dei sottobacini

5.4.1 Parametri geometrici e tempo di corrivazione dei sottobacini

Tra i parametri più significativi per la caratterizzazione di un bacino idrografico sono innanzitutto da citare quelli che definiscono la sua configurazione “geometrica”:

- S = superficie del bacino;
- L = lunghezza dell'asta principale;
- Z_o = quota della sezione di chiusura del bacino;
- Z_{MED} = altitudine media del bacino;
- H = dislivello medio del bacino rispetto alla sezione di chiusura in metri = $(Z_{MED} - Z_o)$

Un ulteriore parametro, fondamentale per la stima delle portate di piena in corrispondenza di una sezione di interesse, è poi rappresentato dal “tempo di corrivazione”, definito come il tempo impiegato dall'acqua per giungere alla chiusura del bacino secondo il percorso idraulicamente più lungo. La formula più diffusa in Italia per il calcolo del tempo di corrivazione è quella di Giandotti (1934):

$$t_c = (4 S^{0.5} + 1.5 L) / 0.8 H^{0.5} \text{ ore}$$

dove :

- S = superficie del bacino in Km²,
- L = lunghezza dell'asta principale in km,
- H = altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura in metri.

Per ricavare le grandezze necessarie si è innanzitutto partiti dalla perimetrazione dei bacini idrografici di interesse (fig. 3); ciò ha consentito di determinare sia la superficie di ciascun sottobacino che la lunghezza dell'asta principale. Per determinare l'altitudine media si è invece proceduto mediante tecniche G.I.S. utilizzando il DTM (cella 5 x 5 m) scaricabile dal geoportale di Regione Lombardia.

I risultati sono illustrati nella successiva tabella, in cui si riepilogano i principali parametri rappresentativi dei vari sottobacini considerati.

Bacini Idrografici considerati	S_{bac} [Km ²]	L_{asta} [Km]	Z_{max} [m s.l.m.]	Z_{min} [m s.l.m.]	Z_{med} [m s.l.m.]	Δz [m]	T_c GIANDOTTI [ore]
Gavarnia Bacino Q1 a monte ponte Campo sportivo	2.49	2.35	688.12	325.00	437.97	112.97	1.16
Gavarnia Bacino Q2 a monte ponte Strada Provinciale	3.13	2.65	688.12	325.00	435.88	110.88	1.31
Gavarnia Bacino Q3 a monte Coverlac	3.88	3.50	688.12	310.00	426.71	116.71	1.52
Gavarnia Bacino Q4 a monte Officine Gavarnia	4.44	3.92	688.12	305.00	425.90	120.90	1.63
Gavarnia Bacino Q5 a monte ponte oratorio	4.96	4.45	688.12	300.00	420.44	120.44	1.77
Gavarnia Bacino Q6 sbocco F.Serio	5.61	5.31	688.12	286.96	416.35	129.40	1.92

5.4.2 Analisi degli aspetti di uso del suolo per la caratterizzazione del coefficiente di deflusso

Per la valutazione del coefficiente di deflusso sono state considerate le caratteristiche dell'“Uso del suolo” con riferimento alla carta “DUSAF-Regione Lombardia” che suddivide il territorio secondo le categorie elencate nella prima colonna della tabella successiva, illustrate anche in fig.7.

descrizione_Dusaf5 (Regione Lombardia 2015)	cd
Aree degradate non utilizzate e non vegetate	1.00
Boschi di latifoglie a densità' media e alta governati a ceduo	0.35
Boschi di latifoglie a densità' media e alta governati ad alto fusto	0.35
Cantieri	1.00
Cespuglieti	0.35
Cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	0.35
Cespuglieti in aree agricole abbandonate	0.35
Colture floro-vivaistiche a pieno campo	0.35
Colture floro-vivaistiche protette	0.75
Colture orticole a pieno campo	0.35
Colture orticole protette	0.75
Impianti di servizi pubblici e privati	1.00
Impianti sportivi	1.00
Insedimenti industriali, artigianali, commerciali	1.00
Oliveti	0.35
Orti familiari	0.35
Parchi e giardini	0.35
Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive	0.35
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	0.35
Reti stradali e spazi accessori	1.00
Seminativi arborati	0.35
Seminativi semplici	0.35
Tessuto residenziale discontinuo	1.00
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.75
Tessuto residenziale sparso	0.50
Vegetazione dei greti	0.35
Vigneti	0.35

Dopo aver associato ad ogni categoria il relativo valore di “coefficiente di deflusso” (vedi seconda colonna della tabella), attraverso la media ponderata dei valori corrispondenti ad ogni singola porzione del sottobacino è stato determinato il valore da considerare per il sottobacino stesso.

Il risultato di tale elaborazione è riportato in dettaglio in Fig. 8 e riepilogato nel seguito.

BACINI IDROGRAFICI	Coefficiente di deflusso Cd
bacino 01	0.420
bacino 02	0.427
bacino 03	0.429
bacino 04	0.426
bacino 05	0.427
bacino 06	0.434

5.5 Stima delle portate di progetto

Per acquisire gli elementi necessari alla valutazione di livelli di piena di progetto si è proceduto alla valutazione delle portate al colmo, mediante confronto dei valori risultanti:

- dal calcolo mediante la formula “razionale”;
- dalla ricostruzione degli idrogrammi di piena mediante il modello di corrivazione.

5.5.1 Stime mediante formule basate sulla pluviometria: formula razionale

Tra le formule che tengono conto delle caratteristiche pluviografiche del bacino in esame, particolarmente importante risulta essere la formula “razionale”. Essa, che nella sua prima formulazione risale al 19-esimo secolo (Mulvany, 1850), deriva dall'impostazione di un bilancio idrologico schematico dell'evento di piena, partendo dall'ipotesi che la massima portata sia prodotta da una precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino:

$$Q = 0.278 C_d h_c S/t_c = 0.278 C_d i_r S$$

dove:

- h_c = altezza di pioggia ragguagliata caduta durante un evento di durata pari al tempo di corrivazione (mm),
- S = superficie del bacino (Kmq),
- t_c = tempo di corrivazione del bacino (ore),
- C_d = coefficiente di deflusso,
- i_r = intensità di pioggia ragguagliata (mm/h).

Sostanzialmente il metodo “razionale” si fonda sull'uso della Linea Segnalatrice di Probabilità Pluviometrica (della pioggia ragguagliata) e sulle seguenti assunzioni:

- che, a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione t_c del bacino;
- che la portata al colmo sia causata da una precipitazione (ragguagliata) rappresentata da un ietogramma ad intensità costante, con valore ricavato dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T ;
- che la portata al colmo sia proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata i_r e della superficie del bacino S , attraverso un coefficiente C_d che comprende l'effetto delle perdite.

Va sottolineato che la formula “razionale”, essendo basata sull'adozione di precipitazioni di assegnata frequenza probabile, fornisce stime associabili al tempo di ritorno delle precipitazioni considerate.

Per l'applicazione a ciascun sottobacino di interesse si è innanzitutto trattato di valutare l'altezza di pioggia h_c corrispondente ad una durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino. Tale valore può facilmente essere ricavato dalle curve di possibilità pluviometrica determinate in precedenza.

Dopo aver determinato le altezze di pioggia h_c relative ad una ben determinata stazione, si deve poi tener conto del fatto che esse, ricavate per il punto in cui è collocato il pluviografo, non possono essere ritenute valide anche per aree di dimensioni non piccole attorno al pluviografo stesso. Infatti, poiché per la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica si parte dai valori estremi, e' probabile che per gli eventi selezionati il centro di scroscio coincida con la posizione

dello strumento e che invece, per gli stessi eventi, la precipitazione media su un'area finita attorno al pluviografo sia minore. Per tener conto di ciò si applica un “coefficiente di ragguglio”, che consente appunto di estendere all'area di interesse le informazioni ricavate per la stazione pluviografica considerata.

Per valutare il "coefficiente di ragguglio" sono state utilizzate le formule della "procedura Wallingford". Esse, ricavate dall'omonimo istituto inglese, forniscono il coefficiente ARF (Areal Reduction Factor), che rappresenta il rapporto tra altezza di pioggia raggugliata ad una determinata area e l'altezza di pioggia puntuale:

$$ARF = 1 - f_1 t^{-f_2}$$

$$f_1 = 0.0394 A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.0208 \ln (4.6 - \ln A) \quad \text{per } A < 20 \text{ Km}^2$$

$$f_2 = 0.40 - 0.03832 (4.6 - \ln A)^2 \quad \text{per } 20 < A < 100 \text{ Km}^2$$

con t espresso in ore e A espresso in Km².

Calcolata l'altezza di pioggia “raggugliata” si è potuta applicare la formula “razionale”, fino a pervenire alle stime per i tempi di ritorno considerati.

5.5.2 Ricostruzione degli idrogrammi di piena mediante il modello della corrivazione

Un modello del deflusso di pioggia concettualmente semplice, ma funzionale e largamente utilizzato, è il modello della corrivazione (o cinematico). Esso si basa sulle seguenti ipotesi:

- che la formazione della piena sia dovuta esclusivamente ad un trasferimento di massa liquida (nella letteratura tecnica con il termine “corrivazione” si intende appunto il moto dell'acqua su una superficie in forma di velo liquido);
- che ogni goccia d'acqua si muova sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile, che dipende soltanto dal punto in cui è caduta;
- che la velocità di una goccia non sia influenzata dalla presenza di altre gocce;
- che la portata alla sezione di chiusura si ottenga sommando tra loro le portate elementari, provenienti dalle diverse parti del bacino, che si presentano allo stesso istante alla sezione di chiusura.

Come riportato nella letteratura specifica (vedi ad es. Moisello 1998) il modello di corrivazione si basa essenzialmente su un idrogramma unitario che si esprime nella seguente forma:

$$h(t) = \frac{1}{A_{\text{bac}}} \left(\frac{dA(\tau)}{d\tau} \right)_{\tau=t}$$

oppure, ponendo $a(\tau) = dA/d\tau$:

$$h(t) = a(t) / A_{\text{bac}}$$

dove:

A_{bac} = area totale del bacino sotteso

t = istante di calcolo dell'idrogramma

$A(\tau)$ = curva Aree (A) – tempi (τ) del bacino, cioè la curva che fornisce, in corrispondenza di un qualsiasi tempo di corrivazione τ , l'area A della parte di bacino i cui punti hanno tutti tempo di corrivazione non superiore a τ

$a(\tau)$ = “curva di concentrazione del bacino”.

Nota l'espressione dell'idrogramma unitario, il valore $q(t)$ della portata in ogni istante t dell'idrogramma di piena può essere calcolato mediante il classico integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t h(t - \tau) i(\tau) d\tau$$

dove:

$h(t-\tau)$ = valore idrogramma unitario all'istante $t-\tau$

$i(\tau)$ = valore dell'intensità di pioggia "ragguagliata" all'istante τ

In realtà il metodo della corrivazione è stato introdotto nella pratica idrologica prima di riconoscere la sua identità nella forma sopra presentata. Come descritto nella letteratura tecnica (vedi ad es. Moisello 1998) nella sua forma originaria esso si basava su un'analisi in forma tabellare del contributo fornito istante per istante da ognuna delle aree parziali A_i comprese tra due linee isocorrive, cioè quelle che uniscono i punti del bacino con uguale tempo di corrivazione. (In pratica l'impostazione originaria corrisponde ad una discretizzazione dell'integrale di convoluzione sopra riportato).

Risulta a questo punto evidente che per l'applicazione del metodo di corrivazione è necessaria la determinazione della curva Aree-tempi del bacino, che deriva a sua volta dall'individuazione di un sufficiente numero di linee isocorrive all'interno del bacino stesso.

Nel caso in esame si è innanzitutto ritenuto di poter adottare la semplificazione proposta da Viparelli (1961), con la quale si impone che le linee isocorrive siano coincidenti con le linee isoipse del bacino, nell'ipotesi che il tempo di corrivazione di un punto qualsiasi sia proporzionale alla lunghezza del percorso compiuto dalla particella d'acqua e che questa a sua volta sia proporzionale alla differenza tra la quota altimetrica del punto e quella della sezione di chiusura del bacino.

Con questa ipotesi il tempo t_i corrispondente all'area sottesa da ciascuna isoipsa z_i è in definitiva valutabile con la seguente espressione:

$$t_i = t_c \times (Z_i - Z_0) / (Z_{MAX} - Z_0)$$

dove:

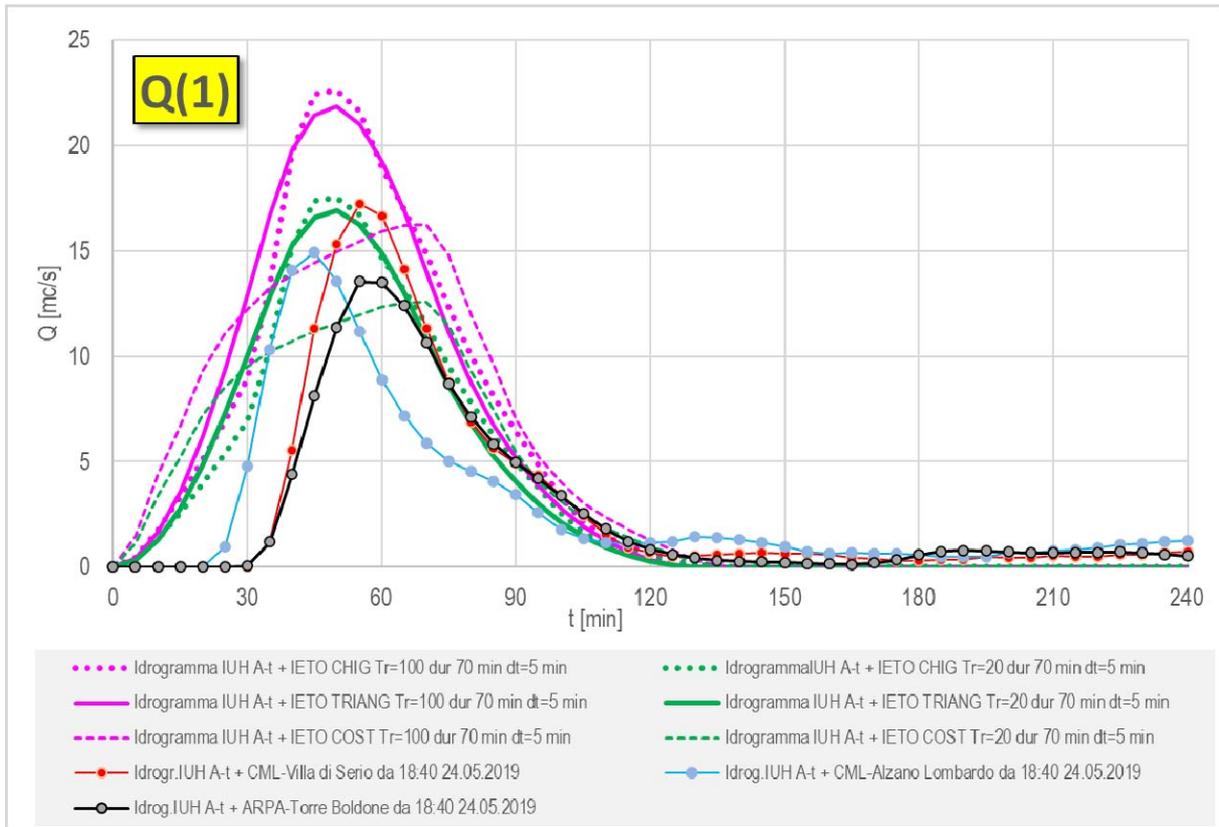
Z_{MAX} = quota massima del bacino

Z_0 = quota minima del bacino

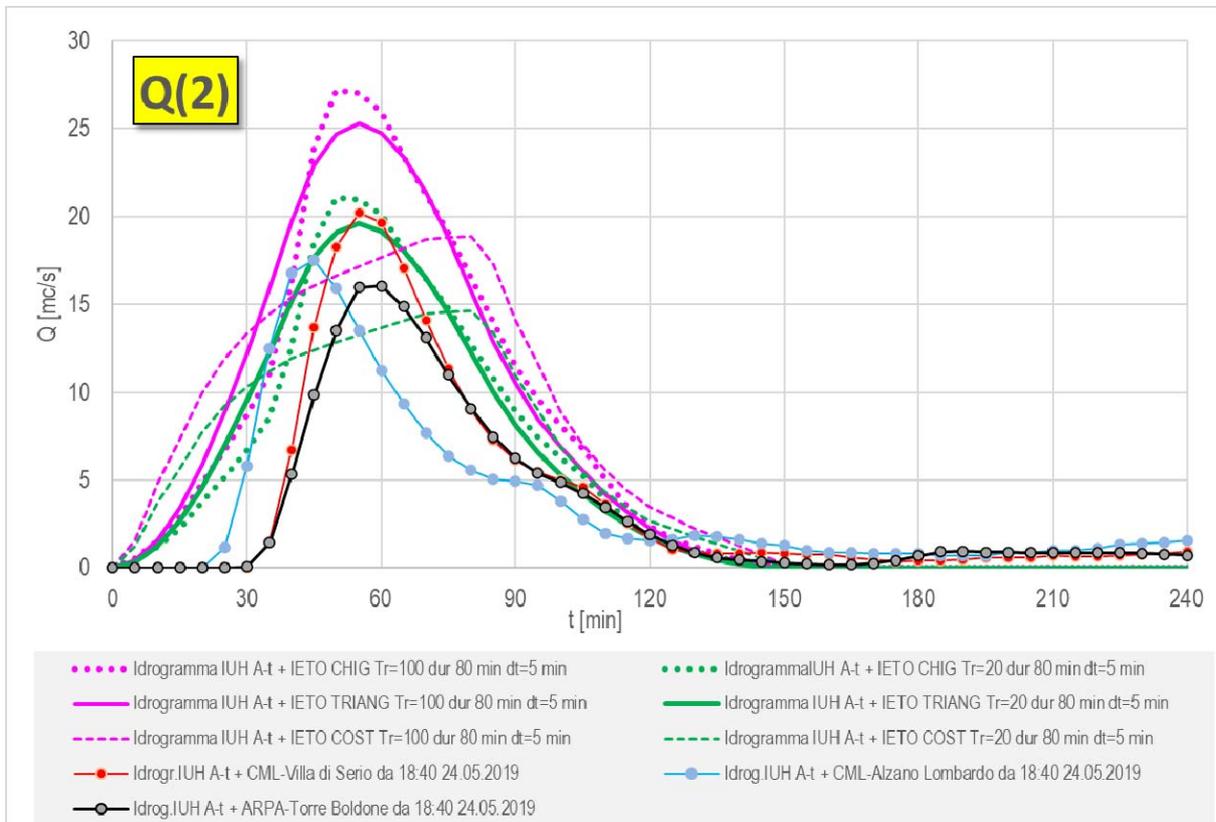
t_c = tempo di corrivazione del bacino

Disponendo di tali dati, si è allora proceduto alla ricostruzione degli idrogrammi di piena con 3 diverse ipotesi di ietogramma ("costante", "triangolare" e "Chicago", per gli ultimi 2 con un picco in corrispondenza dell'istante centrale $T_c/2$).

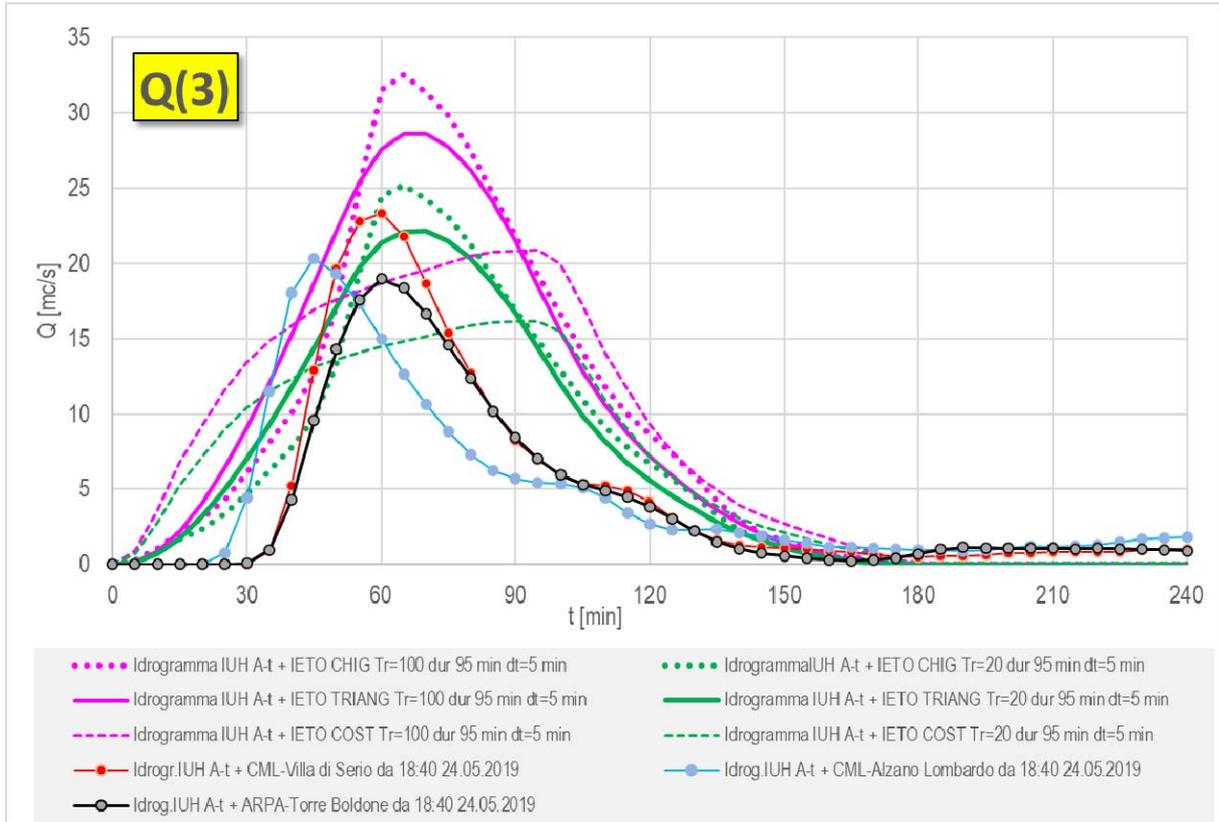
I risultati, bacino per bacino, sono illustrati nelle figure delle pagine successive, dove sono riportati gli idrogrammi calcolati per $T_r=20$ e 100 anni, uniti alle ricostruzioni effettuate per l'evento del 2019 sulla base delle precipitazioni registrate a Villa di Serio (CML), Alzano L.do (CML) e Torre Boldone (CML).



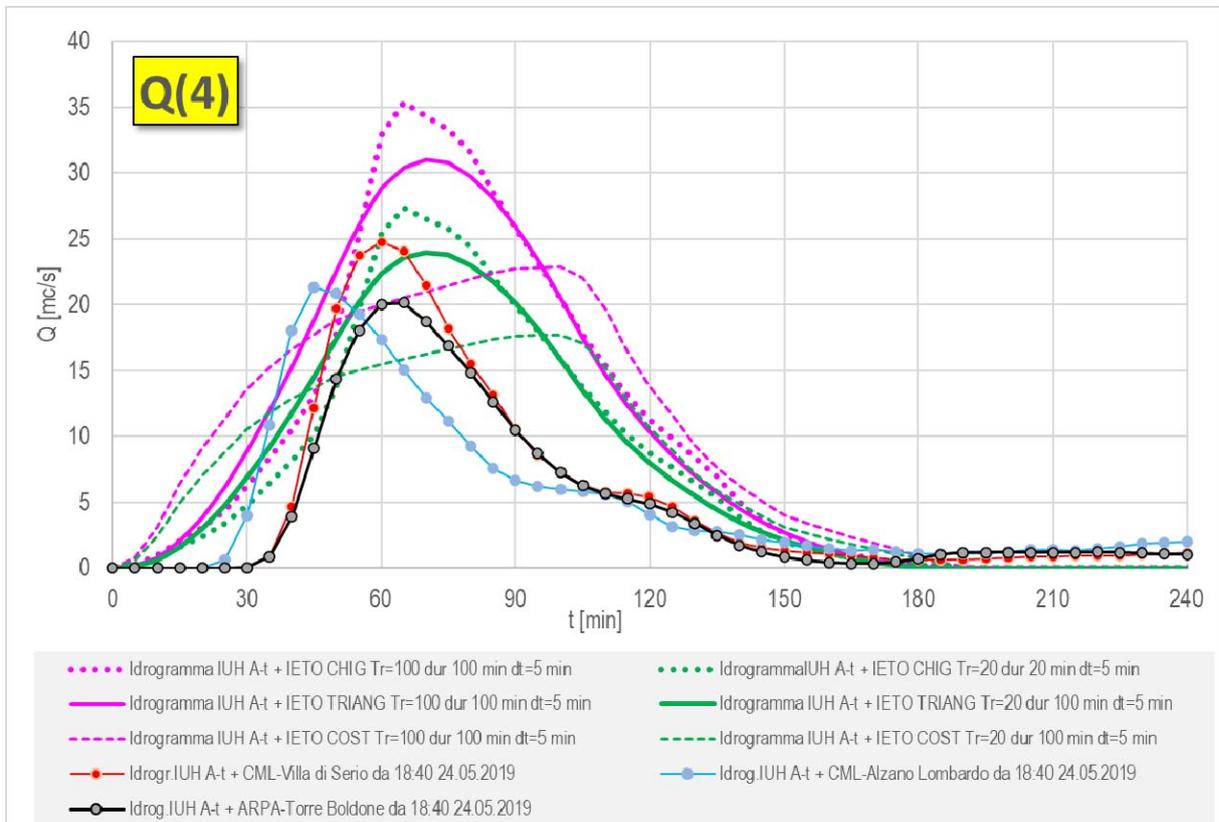
Idrogrammi di piena per il sottobacino B01



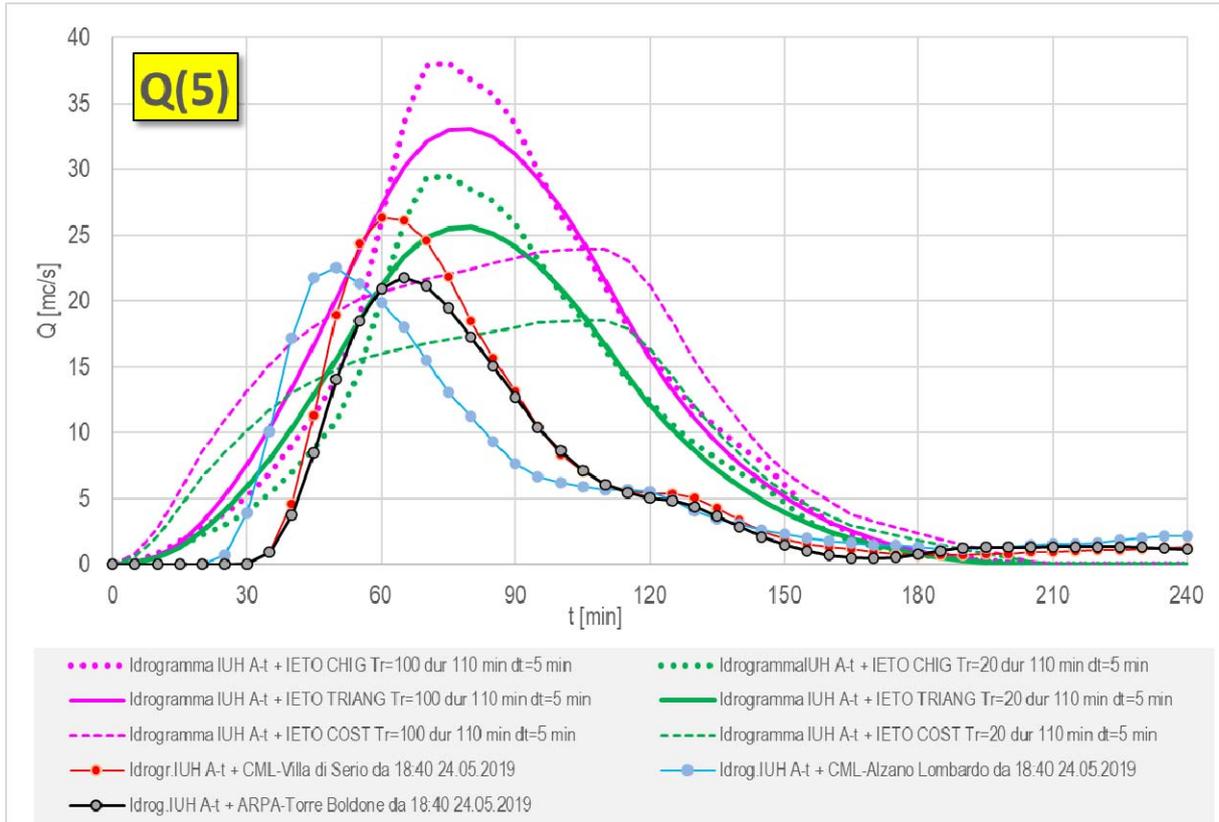
Idrogrammi di piena per il sottobacino B02



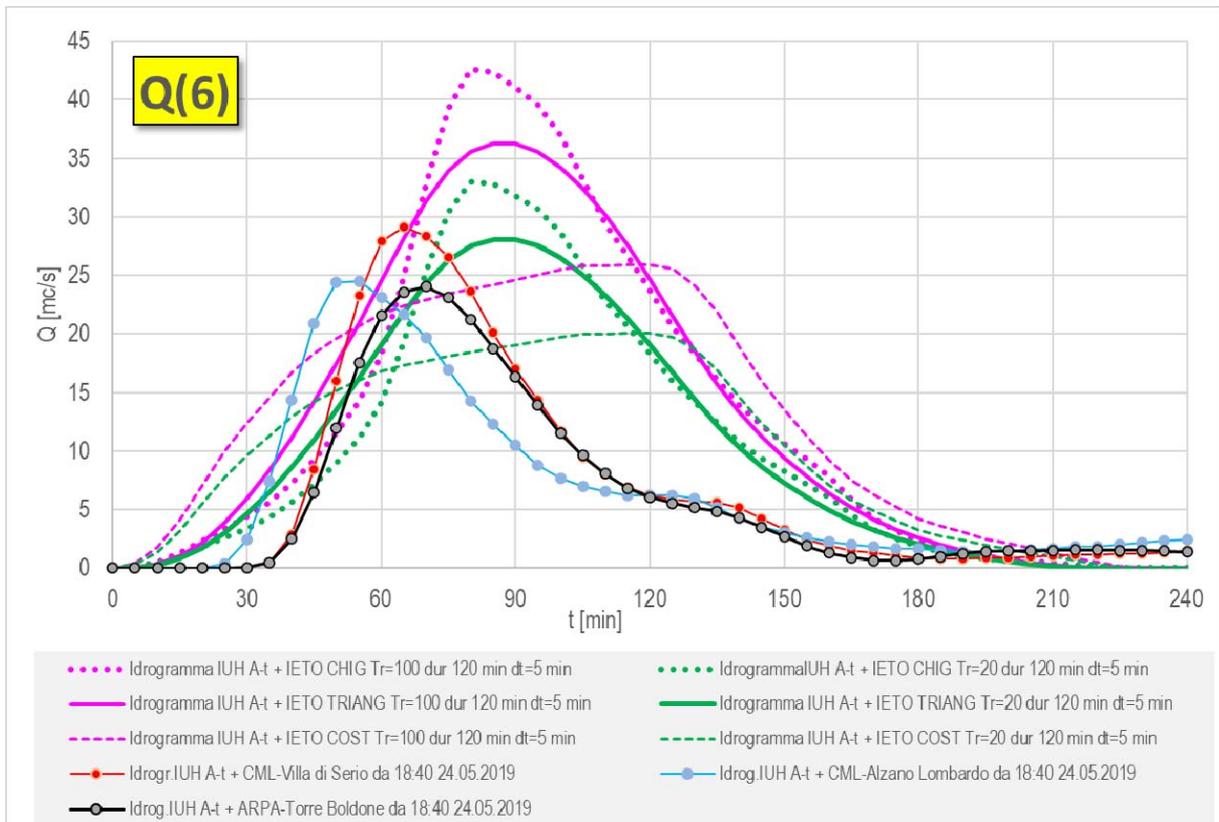
Idrogrammi di piena per il sottobacino B03



Idrogrammi di piena per il sottobacino B04



Idrogrammi di piena per il sottobacino B05



Idrogrammi di piena per il sottobacino B06

5.5.3 Scelta delle portate di progetto

I risultati delle elaborazioni effettuate ed illustrate nei precedenti paragrafi possono essere sintetizzate nella tabella seguente dove sono presentate sia tutte le valutazioni effettuate su base statistica a partire dalle LSPP derivanti dall'Atlante Regionale ARPA, sia la ricostruzione dell'evento 2019, effettuata considerando le precipitazioni misurate per le stazioni più significative.

Q [mc/s]	ietogr. Costante									ietogr. Triangolare									ietogr. Chicago								
	Tempo di ritorno (anni)									Tempo di ritorno (anni)									Tempo di ritorno (anni)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	2	5	10	20	50	100	200	500	2	5	10	20	50	100	200	500			
B1	6.8	9.3	11.0	12.6	14.7	16.3	17.9	19.9	9.2	12.5	14.8	16.9	19.8	21.9	24.0	26.8	9.5	13.0	15.3	17.5	20.4	22.6	24.8	27.7			
B2	7.9	10.8	12.8	14.6	17.1	18.9	20.7	23.2	10.6	14.5	17.1	19.6	22.8	25.3	27.8	31.0	11.4	15.6	18.4	21.0	24.6	27.2	29.8	33.3			
B3	8.7	11.9	14.1	16.1	18.8	20.9	22.9	25.6	12.0	16.4	19.3	22.1	25.8	28.6	31.4	35.0	13.6	18.6	22.0	25.2	29.4	32.5	35.7	39.9			
B4	9.6	13.1	15.4	17.7	20.6	22.9	25.1	28.0	13.0	17.7	20.9	24.0	28.0	31.0	34.0	38.0	14.8	20.2	23.9	27.4	31.9	35.3	38.8	43.3			
B5	10.0	13.7	16.2	18.5	21.6	23.9	26.3	29.4	13.8	18.9	22.3	25.6	29.9	33.1	36.3	40.5	15.9	21.8	25.7	29.5	34.4	38.1	41.8	46.7			
B6	10.8	14.8	17.5	20.1	23.4	25.9	28.4	31.8	15.2	20.8	24.5	28.1	32.7	36.3	39.8	44.4	17.8	24.4	28.8	33.0	38.5	42.6	46.8	52.3			

Q [mc/s]	Razionale con ragguglio									CML-Villa di Serio	CML-Alzano Lombardo	ARPA-Torre Boldone	CML-Villa di Serio	CML- Alzano	ARPA- Torre
	Tempo di ritorno (anni)														
	2	5	10	20	50	100	200	500							
B1	6.9	9.4	11.1	12.7	14.8	16.4	18.0	20.1	17.3	15.0	13.5	16.4	14.2	12.8	
B2	8.0	11.0	12.9	14.8	17.3	19.1	21.0	23.5	20.2	17.5	16.1	19.2	16.6	15.2	
B3	9.0	12.3	14.5	16.6	19.4	21.5	23.6	26.3	23.3	20.3	19.0	22.0	19.2	17.9	
B4	9.7	13.3	15.7	18.0	21.0	23.3	25.5	28.5	24.8	21.3	20.1	23.4	20.1	19.0	
B5	10.3	14.0	16.5	19.0	22.1	24.5	26.9	30.0	26.4	22.5	21.8	24.9	21.3	20.6	
B6	11.2	15.3	18.0	20.7	24.1	26.7	29.3	32.7	29.1	24.5	24.0	27.5	23.1	22.7	

Va infine specificato che per le successive analisi idrauliche si è scelto di far riferimento alle portate determinate considerando lo ietogramma "triangolare".

6. ANALISI IDRAULICA PER LA DETERMINAZIONE DEI LIVELLI DI PIENA

6.1 Ricostruzione della geometria dell'alveo

Per la caratterizzazione dell'alveo del torrente Gavarnia ai fini delle simulazioni numeriche, sono stati eseguiti degli appositi rilievi topografici (vedi Cap.4) che hanno riguardato il tratto compreso tra il ponte di via Pederzola, all'altezza del campo sportivo della località Gavarno Vescovado (Scanzorosciate) e la confluenza nel Fiume Serio, in comune di Nembro.

Come anticipato, sono state ricostruite 47 sezioni trasversali in corrispondenza dei punti critici e dei principali manufatti (ponti, tombinature); il dettaglio della loro geometria è riportato nell'ELABORATO B2-RILIEVO TOPOGRAFICO: SEZIONI TRASVERSALI.

6.2 Modellazione matematica: codice di calcolo utilizzato ed ipotesi adottate

Per il calcolo delle massime altezze idriche, come usuale nella normale pratica della modellazione matematica in campo idraulico, si è fatto riferimento alla condizione di moto permanente, ipotizzando per ogni sezione di calcolo un valore della portata pari alla massima di progetto, considerando accettabile simulare il comportamento idraulico del corso d'acqua durante il passaggio di un'onda di piena (moto vario) come una successione di fasi di moto permanente a portata costante per ciascuna di esse.

Le verifiche idrauliche sono state effettuate mediante l'ausilio del *software HecRAS 6.3.1* che consente il calcolo dell'andamento dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali e la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali, ecc.

Rimandando alla letteratura specialistica per i dettagli di tale codice di calcolo (oggetto di una copiosa bibliografia descrittiva), è però importante sottolineare che per l'applicazione al caso in esame ci si è basati sulle seguenti determinazioni:

1. la geometria dell'alveo è stata ricostruita partendo dalle risultanze del succitato rilievo topografico mediante il quale è stata determinata la geometria di 47 sezioni trasversali rappresentative del tratto di interesse.
2. come scabrezza caratteristica della sezione di deflusso, considerate le caratteristiche morfologiche dell'alveo e delle sponde, si è adottato in generale un coefficiente di scabrezza $n=0.030$ (k di Strickler = 33) per l'alveo; per le porzioni fuori alveo si è invece considerato $n=0.050$ (k di Strickler = 20);

I risultati della modellazione matematica sono illustrati in dettaglio nell'allegato B "ELABORATI CODICE DI CALCOLO HEC-RAS" dove sono riportate sia le tabelle con i risultati in tutte le sezioni di calcolo e le varie portate considerate, sia i profili longitudinali e le sezioni trasversali con i livelli calcolati per le portate con $Tr=20$ e 100 anni.

6.3 Analisi dei manufatti interferenti

Dalle simulazioni numeriche diversi manufatti di attraversamento risultano non adeguati al transito della portata di progetto (funzionamento in pressione o tracimazione dell'opera).

L'adeguatezza dei manufatti è stata valutata sulla base di quanto prescritto nella "Direttiva Infrastrutture del PAI dell'Autorità di Bacino del Po"; l'analisi specifica di ogni manufatto è riportata nell'ELABORATO D: MONOGRAFIE ATTRAVERSAMENTI. Nel seguito si riporta una tabella riepilogativa della situazione risultante.

CODICE sezione MONTE	sigla	ubicazione	Z intradosso [m slm]	Tr=100 anni					Z intradosso 2/3 luce [m slm]	Fr100 su 2/3 luce
				portata [m3/s]	liv monte [m slm]	franco [m]	velocità [m/s]	funzionalità idraulica		
46.00	GV-01	Ponte via Pederzola - Scanzorosciate	328.77	21.88	328.02	0.75	2.23	NON_adequato - compatibile	328.26	0.24
43.00	GV-02	Ponte via monte Misma-Scanzorosciate	327.85	21.88	326.77	1.08	1.82	adequato - compatibile	---	---
40.00	GV-03	Passerella comunale (ex Imp. Zanchi) - Scanzorosciate	325.75	23.50	324.78	0.97	2.03	NON_adequato - compatibile	---	---
39.20	GV-04	Ponte SP65 KM 6-560 - Scanzorosciate	322.48	25.30	323.64	-1.16	1.72	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
37.00	GV-05	Ponte FERRETTI - Scanzorosciate	322.10	25.54	321.57	0.53	3.23	NON_adequato - compatibile	---	---
35.00	GV-06	Passerella temporanea - Scanzorosciate	319.09	26.26	319.78	-0.69	1.36	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
33.00	GV-07	Ponte ditta ARTIFONI - Scanzorosciate	319.31	26.48	319.20	0.11	3.19	NON_adequato - compatibile	---	---
30.00	GV-08	Ponte CO.VER.LAC. (Nembro-Villa di Serio)	315.33	28.02	315.61	-0.28	1.65	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
27.20	GV-09	Copertura CO.VER.LAC. (Nembro-Villa di Serio)	313.29	28.37	313.70	-0.41	1.76	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
23.00	GV-10	Ponte accesso galleria ANAS (Nembro-Villa di Serio)	310.91	29.92	311.22	-0.31	1.82	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
21.00	GV-11	Ponticello Offic.Gavarnia (Nembro-Villa di Serio)	308.72	30.97	309.61	-0.89	1.17	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
20.20	GV-12	Copertura uso parcheggio Offic.Gavarnia (Nembro-Villa di Serio)	308.22	31.09	309.23	-1.01	2.28	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
19.00	GV-13	Ponticello privato a valle deposito legname (Nembro-Villa di Serio)	306.16	31.89	306.82	-0.66	2.05	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
16.20	GV-14	Ponte cimitero (Nembro-Villa di Serio)	306.42	32.47	304.86	1.56	2.39	adequato - compatibile	---	---
15.20	GV-15	Ponte via Cattaneo-Oratorio (Nembro-Villa di Serio)	303.27	33.06	304.61	-1.34	1.61	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
12.00	GV-16	Ponteprivato (Nembro-Villa di Serio)	301.77	33.74	301.62	0.15	3.56	NON_adequato - compatibile	---	---
11.00	GV-17	Passerella n.1 pista ciclopedonale (Nembro-Villa di Serio)	302.17	33.90	301.17	1.00	3.27	adequato - compatibile	---	---
10.00	GV-18	Tombinatura P.zza Rinnovata (Nembro-Villa di Serio)	300.57	34.04	300.45	0.12	3.96	NON_adequato - compatibile	---	---
6.00	GV-19	Passerella privata (Nembro-Villa di Serio)	297.53	34.57	298.40	-0.87	2.84	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
5.00	GV-20	Passerella privata (Nembro-Villa di Serio)	297.34	34.67	297.71	-0.37	2.71	NON_adequato - NON_compatibile	---	---
4.00	GV-21	Ponte pedonale Barcella R. (Nembro-Villa di Serio)	298.61	34.99	296.43	2.18	3.43	adequato - compatibile	---	---
3.00	GV-22	Passerella n. 2 pista ciclopedonale (Nembro-Villa di Serio)	297.85	35.37	294.26	3.59	4.81	adequato - compatibile	---	---
2.00	GV-23	Ponte SP66 (Nembro-Villa di Serio)	293.57	36.06	293.59	-0.02	1.63	NON_adequato - NON_compatibile	293.17	-0.42
1.00	GV-24	Passerella n.3 pista ciclopedonale (Nembro-Villa di Serio)	294.32	36.25	288.37	5.95	6.50	adequato - compatibile	---	---
					290.43	3.89	---			

Riepilogo Analisi idraulica dei manufatti di attraversamento (T = 100 anni)

Va sottolineato che la situazione così definita deriva da una ricostruzione della geometria dell'alveo e dei manufatti congruente con la scala "generale" che caratterizza il presente studio di fattibilità; risultati anche diversi potranno eventualmente essere ottenuti da approfondimenti specifici per ciascun attraversamento, che però devono essere evidentemente demandati ai concessionari di ciascun manufatto.

6.4 Tracciamento delle aree allagabili, definizione della pericolosità idraulica e disamina principali criticità individuate

Il tracciamento delle aree allagabili è stato effettuato con riferimento a 3 diversi scenari (Tempi di ritorno $T=20$, 100 e 200 anni), combinando i livelli derivanti della modellazione matematica effettuata con i dati plano-altimetrici disponibili (fotogrammetrici comunali scala 1:2000 e rilievi topografici). Si precisa a questo proposito che nel tracciamento si è tenuto conto del fatto che le "quote rilievo" risultano mediamente superiori di circa 60-80 cm rispetto alle "quote fotogrammetrico" a causa, molto probabilmente, della metodologia originaria con cui è stata a suo tempo prodotta la cartografia (vedi anche Cap. 4).

Rimandando per il dettaglio all'Atlante dell'ELABORATO F: AREE ALLAGABILI TR 20, 100 E 200 ANNI, nel seguito sono descritte, procedendo da monte verso valle, le principali risultanze con particolare riferimento ai tratti maggiormente critici.

In corrispondenza del ponte della SP65 della località Gavarno Vescovado di Scanzorosciate, la Gavarnia risulta esondare su entrambe le sponde anche per piene limitate (FOGLIO 4 dell'ELABORATO F). In particolare si evidenzia che:

- per $Tr = 20$ anni il ponte della SP 65 (GV-04) risulta in pressione, provocando il parziale allagamento (con tiranti comunque limitati), sia del "Parco bambini di Beslan" in sinistra idrografica, sia degli insediamenti in sponda destra (ad es. il piano terra del Condominio di via Presolana);
- per $Tr = 100$ e 200 anni invece, a causa delle problematiche di "rigurgito" del ponte della SP65, le aree allagabili si ampliano significativamente coinvolgendo interamente il Parco giochi e la porzione compresa tra la strada provinciale ed il torrente Gavarnia in direzione di Nembro/Villa di Serio.

Procedendo verso valle (FOGLIO 3 dell'ELABORATO F) si osserva che nel tratto fino alla località Colombaia di Nembro:

- per tempi di ritorno ventennali la piena si mantiene sostanzialmente entro le sponde (l'unico manufatto che risulta sormontato è la passerella temporanea GV-06);
- per Tr pari a 100 e 200 anni il livello di piena interessa significativamente la sponda destra verso la strada provinciale, andando ad interessare anche edifici ed attività produttive presenti in località Colombaia.

Particolarmente critico risulta poi il tratto in destra idrografica compreso tra via Colombera a nord e via Palazzo a sud (da sez. R19.6-HR27.1 a sez. R21-HR25 sul FOGLIO 2 dell'ELABORATO F), dove le case presenti in sponda destra risultano allagate anche per tempi di ritorno ventennali.

Si segnala inoltre il tratto compreso tra la ditta "Officine della Gavarnia" ed il ponte di via Cattaneo in prossimità dell'oratorio (da sez. R25-HR21 a sez. R30.1-HR15.1 sul FOGLIO 2 dell'ELABORATO F), dove:

- per $Tr = 20$ anni risultano in pressione i ponti GV-13 e GV-15 e si producono estesi allagamenti delle porzioni più pianeggianti presenti a monte del ponte del Cimitero e del campo sportivo dell'oratorio.
- per $Tr = 100$ e 200 anni si verificano esondazioni più significative con sormonto dei manufatti presenti in questo tratto, ad eccezione del ponte del Cimitero (GV-14); l'area interessata si sviluppa prevalentemente in destra idrografica e coinvolge completamente la strada provinciale, il parcheggio in prossimità delle scuole, l'oratorio ed alcuni edifici appena a valle di via Cattaneo.

Nel tratto compreso tra via Cattaneo e la confluenza nel F. Serio (FOGLIO 1 dell'ELABORATO F), i calcoli non evidenziano criticità particolari ed i livelli di piena considerati risultano sostanzialmente all'interno delle sponde.

Da segnalare solo:

- il possibile interessamento, per piene centennali, di una porzione limitata della pista ciclabile in corrispondenza del manufatto GV-21;
- l'allagamento risultante in sponda destra tra i manufatti GV-18 e GV-21, dove i livelli indicano esondazioni per $Tr=200$ anni;
- il funzionamento in pressione del manufatto di attraversamento della SP66 (GV-23) per Tr pari a 100 anni.

Infine, dal confronto tra la mappatura derivante dai calcoli e la ricostruzione dell'evento alluvionale del maggio 2019 (indicata con linea blu sull' ELABORATO F), si conferma l'eccezionalità di quanto accaduto nel 2019, tant'è vero che diverse testimonianze lo hanno classificato come "*...il più severo che si ricordi...*".

Bisogna peraltro sottolineare, al di là dell'intensità delle precipitazioni (per le quali nel § 5.3 si è stimato un tempo di ritorno $Tr = 20-50$ anni), che le testimonianze concordano nell'attribuire un ruolo significativo al fenomeno del trasporto solido (sia litoide che flottante) ed alla abbondante presenza di vegetazione nella sezione di deflusso.

Per quanto riguarda la pericolosità idraulica si ritiene che una ragionevole valutazione possa essere effettuata con riferimento alle aree allagabili indicate sull'ELABORATO F ed alle classi del PGRA:

- P3/High (scenario frequente)..... aree allagabili $Tr = 20$ anni
- P2/Medium (scenario poco frequente) aree allagabili $Tr = 100$ anni
- P1/Low (scenario raro)..... aree allagabili $Tr = 200$ anni

6.5 Considerazioni orientative sui volumi necessari per eventuali opere destinate alla laminazione di colmi di piena

Pensando a dei possibili interventi per la laminazione delle piene del torrente Gavarnia bisogna innanzitutto esprimere alcune considerazioni di carattere generale, e cioè che:

- analizzando la morfologia del fondovalle del bacino (Fig.9) si può osservare che non sono presenti aree sub pianeggianti di estensione adeguata per lo scopo, se non forse quella nella parte iniziale del bacino, in corrispondenza dell'affluente di destra intermedio alle località Giustiniana ed Immacolata in Comune di Scanzorosciate.
- le risorse connesse alle progettazioni previste dal presente incarico risultano evidentemente insufficienti per poter prevedere una vera e propria vasca di laminazione, sia per i costi associabili alla realizzazione degli elementi strutturali di un'opera di quel tipo, sia per quelli presumibilmente conseguenti all'acquisizione di aree pregiate per la loro vocazione vitivinicola;
- l'ubicazione di una vasca nella posizione suindicata avrebbe nella pratica una ridotta efficacia su eventi più intensamente localizzati nella parte medio bassa del bacino e con minore interessamento della porzione alla testata, come secondo alcune testimonianze pare sia accaduto nel 2019.

Pur con tali premesse, si è comunque ritenuto utile effettuare un'analisi finalizzata a quantificare almeno orientativamente i volumi di laminazione necessari per la riduzione dei colmi di piena.

A tale scopo si è impostata una modellazione matematica della laminazione degli idrogrammi di piena con varie ipotesi di portata "laminata", cioè ammessa a valle dell'eventuale dispositivo di laminazione. Tale modellazione è stata innanzitutto sviluppata per la sezione di chiusura del sottobacino a monte della possibile vasca di laminazione precedentemente ipotizzata (vedi Q0 in Fig.9), cioè in corrispondenza della confluenza nella Gavarnia dell'affluente in destra intermedio tra le località Giustiniana ed Immacolata, in Comune di Scanzorosciate.

Volendo comunque arrivare ad un quadro complessivo della situazione per tutto il bacino, i volumi di laminazione sono stati calcolati anche per le sezioni Q1÷Q6 precedentemente considerate per la stima delle portate di piena, utilizzate per la valutazione dei livelli e delle aree allagabili nel tratto di torrente esaminato.

Con le stesse modalità e con gli stessi parametri illustrati nei precedenti § 5.4-5.5 si è dunque proceduto alla ricostruzione dell'idrogrammi per $Tr=100$ anni nelle sezioni Q0÷Q6 considerando per ciascuna delle diverse durate delle precipitazioni (1, 1.5, 2, 2.5, 3, 4, 5, 6 ore oltre a quella corrispondente al tempo di corrvazione dello specifico sottobacino) ed una loro distribuzione su ietogrammi "costante", "triangolare" e "Chicago".

Per ciascun idrogramma così ottenuto è stato infine impostato il classico bilancio dei volumi:

$$V_{\text{INVASATO}}(t) = V_{\text{ENTRANTE}}(t) - V_{\text{USCENTE}}(t)$$

dove:

V_{ENTRANTE} = volume di piena entrante corrispondente all'idrogramma di piena;

V_{USCENTE} = volume uscente dal sistema corrispondente alla portata "laminata" ipotizzata;

V_{INVASATO} = volume di invaso nel sistema di accumulo.

considerando varie possibili portate "laminare" in uscita (5, 10, 15, 20, 30 m³/s) ed andando a ricercare la durata cui corrisponde il maggior volume invasato.

Una sintesi di tutti i calcoli effettuati è riportata nella tabella seguente, dove sono riepilogati i risultati ottenuti per gli idrogrammi centenari calcolati ipotizzando ietogrammi "triangolare" e "Chicago".

Tr [anni] =		100 calcoli con ietogramma CHIC					100 calcoli con ietogramma TRIANG				
Q(0)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	34920	16217	5610			33832	16181	5487		
62.7 min	durata critica	180 min	150 min	120 min			120 min	60 min	60 min		
		3.00 h	2.50 h	2.00 h			2.00 h	1.00 h	1.00 h		
Q(1)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	44986	23018	10140	2220		43656	22268	10102	2085	
69.5 min	durata critica	180 min	150 min	150 min	150 min		120 min	69 min	60 min	60 min	
		3.00 h	2.50 h	2.50 h	2.50 h		2.00 h	1.15 h	1.00 h	1.00 h	
Q(2)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	65209	37640	20557	9170		63743	35496	19084	8510	
78.7 min	durata critica	240 min	180 min	180 min	150 min		180 min	90 min	60 min	60 min	
		4.00 h	3.00 h	3.00 h	2.50 h		3.00 h	1.50 h	1.00 h	1.00 h	
Q(3)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	90149	56702	34683	19847		89035	53174	31611	17895	
91.2 min	durata critica	300 min	240 min	240 min	180 min		240 min	120 min	90 min	60 min	
		5.00 h	4.00 h	4.00 h	3.00 h		4.00 h	2.00 h	1.50 h	1.00 h	
Q(4)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	108682	71183	45617	28217	5725	108387	66565	41564	24430	4957
97.6 min	durata critica	300 min	240 min	240 min	240 min	240 min	240 min	120 min	98 min	60 min	60 min
		5.00 h	4.00 h	4.00 h	4.00 h	4.00 h	4.00 h	2.00 h	1.63 h	1.00 h	1.00 h
Q(5)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	127999	86146	57557	37832	11387	128370	81075	52817	33134	9761
106.5 min	durata critica	360 min	300 min	240 min	240 min	240 min	300 min	150 min	106 min	90 min	60 min
		6.00 h	5.00 h	4.00 h	4.00 h	4.00 h	5.00 h	2.50 h	1.77 h	1.50 h	1.00 h
Q(6)	Qlaminazione [mc/s]	5	10	15	20	30	5	10	15	20	30
Tc =	VOL MAX [m3]	156772	108792	76299	53092	21224	158347	103185	70353	47033	17420
115.0 min	durata critica	360 min	300 min	300 min	240 min	240 min	360 min	180 min	115 min	90 min	60 min
		6.00 h	5.00 h	5.00 h	4.00 h	4.00 h	6.00 h	3.00 h	1.92 h	1.50 h	1.00 h

La tabella fornisce un quadro orientativo complessivo riferito a tutte le sezioni considerate, ma volendo far riferimento alla sezione Q0, cioè a quella che può ritenersi l'ubicazione più realisticamente fattibile, si può osservare che per ottenere una portata uscente limitata a 5 m³/s risulta sostanzialmente necessario un volume di circa 35 000 m³.

Utilizzando le stesse procedure già illustrate nei § 5.4-5.5 si sono infine valutate le portate di piena dei sottobacini "residui" B1÷B6 (cioè con l'esclusione della porzione corrispondente al sottobacino B0).

Nella tabella successiva è infine riportato un confronto tra portate centenarie nelle varie condizioni e nell'ipotesi di una vasca di laminazione nella posizione Q0 (Fig. 9) con volume in grado di limitare a 5 m³/s la portata avviata verso valle:

sezione - bacino	Portate [mc/s]			
	bacino originario con ietogr. Triangolare e Tr=100 anni	bacino "residuo" con ietogr. Triangolare e Tr=100 anni	Q _{LAMINATA} in B0	Tr=100 anni post laminazione
Q0	19.9	---	5.0	5.0
Q1	21.9	6.5	5.0	11.5
Q2	25.3	12.0	5.0	17.0
Q3	28.6	17.3	5.0	22.3
Q4	31.0	20.2	5.0	25.2
Q5	33.1	23.0	5.0	28.0
Q6	36.3	27.0	5.0	32.0

In conclusione, si può affermare che tali risultati forniscono un quadro sufficientemente affidabile degli elementi da considerare per una valutazione generale, ma è opportuno sottolineare che essi dovranno essere adeguatamente approfonditi nel caso si decida di procedere ad un'effettiva progettazione di eventuali opere di laminazione.

7. QUADRO DEI POSSIBILI INTERVENTI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA

Per la mitigazione delle problematiche di carattere idraulico che interessano il tratto in esame e che sono state individuate:

- a partire dalle risultanze dei calcoli idraulici descritti nel precedente capitolo 6;
- sulla base delle indicazioni derivanti da informazioni e testimonianze relative al recente evento del maggio 2019;
- considerando le osservazioni effettuate nel corso dei sopralluoghi sull'attuale condizione morfologica di alveo e sponde;

si sono individuati gli interventi principali illustrati nel seguito, che possono essere suddivisi in 2 categorie:

- “strutturali”;
- “manutentivo-forestali”

Per gli interventi “strutturali” sono previste le seguenti tipologie:

- scogliere in massi ciclopici a protezione delle sponde;
- interventi di “corazzamento” del fondo alveo attraverso la realizzazione di selciatoone in grossi massi;
- sottomurazioni da realizzare in corrispondenza di tratti di muro arginale particolarmente ammalorati;
- interventi per la trattenuta del trasporto solido effettuati attraverso la realizzazione di briglia/soglia dotata di pettine per la trattenuta del materiale litoide e flottante e lavori di sbancamento (nella porzione in destra compresa tra alveo e SP65), per il recupero di volumi da destinare al deposito di materiale trasportato dalle piene.

Gli interventi “manutentivo-forestali” sono invece costituiti da:

- asportazione del materiale sovralluvionato in alveo;
- pulizia alveo da vegetazione diffusa e/o decespugliamento;
- rimozione ceppaie;
- taglio piante medio-alto fusto.

Rimandando per l'individuazione planimetrica all'Atlante dell'ELABORATO G: PLANIMETRIA INTERVENTI, nel seguito si riporta una descrizione sintetica di quanto previsto.

Va in generale sottolineato che oltre agli interventi proposti è senz'altro necessario prendere in considerazione le problematiche dei vari manufatti interferenti (vedi § 6.3), per ciascuno dei quali va innanzitutto previsto un approfondimento specifico con opportuni rilievi di particolare dettaglio, che però devono essere evidentemente demandati ai rispettivi concessionari.

7.1 TRATTO 1 SCANZOROSCIATE: da ponte via Misma - ponte SP65 - Confine comunale

Per migliorare il deflusso delle acque nel tratto compreso tra il ponte di via Misma e la SP65, si prevede l'esecuzione dei seguenti interventi di tipo "strutturale" (FOGLIO 4 - ATLANTE G):

- in sponda destra realizzazione di scogliera in massi ciclopici per il consolidamento della sponda che presenta segni evidenti di cedimento e anche a protezione della strada nel tratto compreso tra via Misma e la passerella pedonale GV-03;
- sempre in sponda destra, sottomurazione del muro scalzato che delimita il cortile di proprietà del condominio di via Presolana; nel medesimo tratto è previsto anche il corazzamento del fondo alveo con la realizzazione di selciatoone in grossi massi, anche a ripristino dello sfondamento di una presumibile pavimentazione preesistente;
- in sponda sinistra, nel tratto compreso tra l'immissione della valletta laterale a monte del condominio di via Presolana ed il ponte della SP65, si prevede la risagomatura della sponda per migliorare l'indirizzamento delle acque a monte del ponte e la realizzazione di una scogliera in massi ciclopici a protezione della sponda stessa con miglioramento, per quanto possibile, dell'imbocco al ponte della SP65.

Gli interventi con carattere principalmente "manutentivo-forestale" prevedono invece:

- la pulizia da vegetazione diffusa e da sovralluvionamento in alveo a partire dal ponte della SP65, per una lunghezza di circa 40 metri verso valle;
- la rimozione di circa 15 piante a medio-alto fusto nel tratto compreso tra via Misma e la SP65; su buona parte delle quali, come riferito dai tecnici della Protezione Civile, si era già previsto di intervenire (rimandando solo per problematiche organizzative).

Riguardo al ponte della SP65, in considerazione della particolare criticità delle condizioni di funzionalità idraulica riscontrate per il ponte stesso, va senz'altro sottolineato che gli interventi previsti dal presente studio devono essere considerati come una "mitigazione temporanea", e che interventi risolutivi non possono prescindere da una riconfigurazione complessiva delle quote del manufatto e della viabilità ad esso connessa, evidentemente con il coinvolgimento dei vari Enti interessati ed in particolare della Concessionaria Provincia di Bergamo.

Più a valle, in direzione di Nembro/Villa di Serio, sono previsti solo interventi di tipo "manutentivo-forestale" con l'asportazione del materiale in alveo nei tratti soggetti a sovralluvionamento (lunghezza complessiva pari a circa 120 m) e la rimozione di alcune ceppaie che interferiscono con il normale flusso della corrente (FOGLI 3 e 4 - ATLANTE G).

Si segnala infine, al limite tra il comune di Scanzorosciate e Nembro (vedi FOGLIO 3 - ATLANTE G), anche la presenza di problematiche di tipo fognario connesse al funzionamento della rete acque miste, per la quale risultano "sfioramenti" anomali dei reflui verso il torrente Gavarnia, che creano anche problematiche di tipo ambientale che compromettono la vita della microfauna acquatica.

Tali problematiche esulano evidentemente dagli scopi del presente studio rientrando invece nelle competenze del gestore della rete fognaria, che peraltro pare stia già valutando la questione assieme all'amministrazione comunale di Nembro.

7.2 TRATTO 2 VILLA DI SERIO-NEMBRO: da confine Scanzorosciate a tombinatura “COVERLAC”

Per mitigare i fenomeni di trasporto solido che hanno causato problemi di sovralluvionamento in occasione delle ultime piene, circa 30 metri a monte del ponte della ditta Coverlac (GV-8), come illustrato sul FOGLIO 3 e 4 - ATLANTE G, si propone la realizzazione di:

- una briglia/soglia in cls e massi ciclopici dotata di pettine per la trattenuta del materiale litoide e flottante e destinata al parziale deposito del trasporto solido; per le sponde a monte della briglia è previsto il consolidamento mediante realizzazione di scogliera in massi ciclopici.
- riprofilatura dell'area pianeggiante presente in sponda destra tra l'alveo e la SP65 con sbancamento finalizzato a creare un “volume polmone” da destinare al deposito di materiale litoide e flottante durante gli eventi di piena; per proteggere la strada che risulterebbe a questo punto confinante con l'area sbancata, si prevede la realizzazione di un consolidamento della scarpata con scogliera in massi ciclopici.

Nel medesimo tratto sono previsti anche interventi di tipo “manutentivo-forestale” con pulizia dell'alveo da vegetazione diffusa e da sovralluvionamento per una lunghezza di circa 130 metri ed il taglio di piante a medio-alto fusto che attualmente ingombrano l'alveo (FOGLIO 3 – ATLANTE G).

7.3 tratto 3 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da tombinatura “COVERLAC” a “OFFICINE DELLA GAVARNIA”

Nella porzione pianeggiante presente circa 20 metri a monte della ditta “officine della Gavarnia”, si propone la realizzazione di un intervento analogo a quello illustrato per il “tratto 2”, destinato a limitare l'apporto di materiale (sia litoide che legato alla vegetazione, come tronchi e ramaglie), proveniente da monte.

Come illustrato nel FOGLIO 2 dell'ELABORATO G è in particolare prevista:

- la realizzazione di una briglia/soglia in cls e massi ciclopici dotata di pettine per la trattenuta del materiale litoide e flottante e destinata al parziale deposito del trasporto solido; per le sponde a monte della briglia si prevede il consolidamento almeno parziale mediante scogliera in massi ciclopici.
- il recupero di un volume destinato al deposito del materiale trasportato dalla piena, ottenuto mediante sbancamento dell'area pianeggiante presente tra l'alveo e la sede stradale, con protezione delle scarpate mediante scogliera in grossi massi.

Nel medesimo tratto sono previsti anche interventi di tipo “manutentivo-forestale”, attraverso:

- la pulizia dell'alveo da vegetazione diffusa e da sovralluvionamento nel tratto a cavallo del ponte della galleria di emergenza ANAS (manufatto GV-10) e nella porzione d'alveo a monte del manufatto GV-11 per una lunghezza complessiva di circa 110 m;
- il taglio di 2 ceppaie in alveo, la cui presenza è stata riscontrata a ridosso dei manufatti di attraversamento sopra menzionati.

7.4 tratto 4 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da “OFFICINE DELLA GAVARNIA” a ponte via Cattaneo (oratorio)

In questo settore gli interventi “strutturali” prevedono:

- la sottomurazione, di un tratto del muro in cls presente in sponda destra a valle del ponte del cimitero (GV-14); la lunghezza è stata indicativamente stimata in 50-60 m, ma potrà essere valutata con maggior dettaglio solo dopo l’asportazione dell’abbondante materiale presente attualmente in alveo, soprattutto in sponda destra;
- la sistemazione dell’erosione presente su entrambe le sponde a valle del ponte di via Cattaneo, attraverso la realizzazione di scogliere in massi ciclopici.

L’intervento si completa poi con la pulizia da vegetazione diffusa e da sovralluvionamento in alveo nel tratto compreso tra il ponte del cimitero (GV-14) e quello di via Cattaneo (GV-15).

7.5 tratto 5 VILLA DI SERIO- NEMBRO: da ponte via Cattaneo (oratorio) a fiume Serio

In tale tratto è prevista la rimozione del sovralluvionamento in alveo a monte di Piazza Rinnovata nel tratto compreso tra i manufatti GV-16 e GV-18.

8. STIMA COSTI DEGLI INTERVENTI IPOTIZZATI

Le valutazioni effettuate per la stima dei costi di realizzazione degli interventi sono illustrate nell' ALLEGATO C – STIMA COSTI DEGLI INTERVENTI, dove si è ritenuto opportuno esplicitare separatamente l'incidenza dei conferimenti a discarica, soprattutto alla luce dei notevoli importi che ne conseguono.

Tale aspetto potrà ovviamente essere approfondito in coordinamento con gli Enti interessati al momento dell'effettiva progettazione delle opere, magari ricercando soluzioni ed accordi per perseguire un reimpiego almeno parziale del materiale estratto.

Rimandando per i dettagli all' ALLEGATO C" le risultanze delle stime possono essere riepilogate nella seguente tabella riassuntiva.

LAVORI	Importo lavori		Stima oneri per la sicurezza 3.0%	Importo a base d'appalto (compresa sicurezza)
	totale lavori esclusa sicurezza	di cui per conferimenti a discarica		
Totale TRATTO 1 - Scanzo: da ponte via Misma- ponte SP65 - confine Scanzo (sez. R18-HR31)	142 163.08 €	70 977.08 €	4 264.89 €	146 427.97 €
Totale TRATTO 2 - VSerio-Nembro: da confine Scanzo a tominatura Co.ver.Lac. (inclusa)	186 297.57 €	118 011.28 €	5 588.93 €	191 886.50 €
Totale TRATTO 3 - VSerio-Nembro: da tominatura Co.ver.lac. ad officine Gavarnia	177 934.04 €	106 587.72 €	5 338.02 €	183 272.06 €
Totale TRATTO 4 - VSerio-Nembro: da officine Gavarnia a ponte via Cattaneo (oratorio)	70 547.94 €	33 869.40 €	2 116.44 €	72 664.37 €
Totale TRATTO 5 - VSerio-Nembro: da ponte via Cattaneo (oratorio) a F.Serio	11 430.54 €	9 439.20 €	342.92 €	11 773.46 €
TOTALE	588 373.17 €	338 884.68 €	17 651.20 €	606 024.36 €

9. DOCUMENTAZIONE PRODOTTA

La documentazione complessivamente collegata al presente rapporto è costituita dai seguenti elaborati:

Elaborato A- RELAZIONE ILLUSTRATIVA- IDROLOGICA-IDRAULICA

- FIGURE FUORI TESTO
- ALLEGATO A: MONOGRAFIE CAPOSALDI IGM-REGIONE LOMBARDIA
- ALLEGATO B: ELABORATI CODICE DI CALCOLO HECRAS
- ALLEGATO C: STIMA COSTI DEGLI INTERVENTI

Elaborato B.1- RILIEVO TOPOGRAFICO: UBICAZIONE SEZIONI

Elaborato B.2- RILIEVO TOPOGRAFICO: SEZIONI TRASVERSALI

Elaborato C - CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA ALVEO E SPONDE

Elaborato D - MONOGRAFIE ATTRAVERSAMENTI

Elaborato E - P.G.R.A.-P.A.I.-SEGNALAZIONI EVENTI STORICI

Elaborato F - AREE ALLAGABILI TR=20, 100 E 200 ANNI

Elaborato G - PLANIMETRIA INTERVENTI

Bergamo, novembre 2022

Ing. Pier Giuseppe FENAROLI



Geol. Michela PECCHIO



FIGURE FUORI TESTO

Fig. 1: Inquadramento territoriale bacino T. Gavarnia

Fig. 2: Stralcio della Carta Geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:25.000)

Fig. 3: Delimitazione sottobacini T.Gavarnia

Fig. 4: Bacini idrografici e celle “Discretizzazione spaziale piogge intense Arpa Lombardia

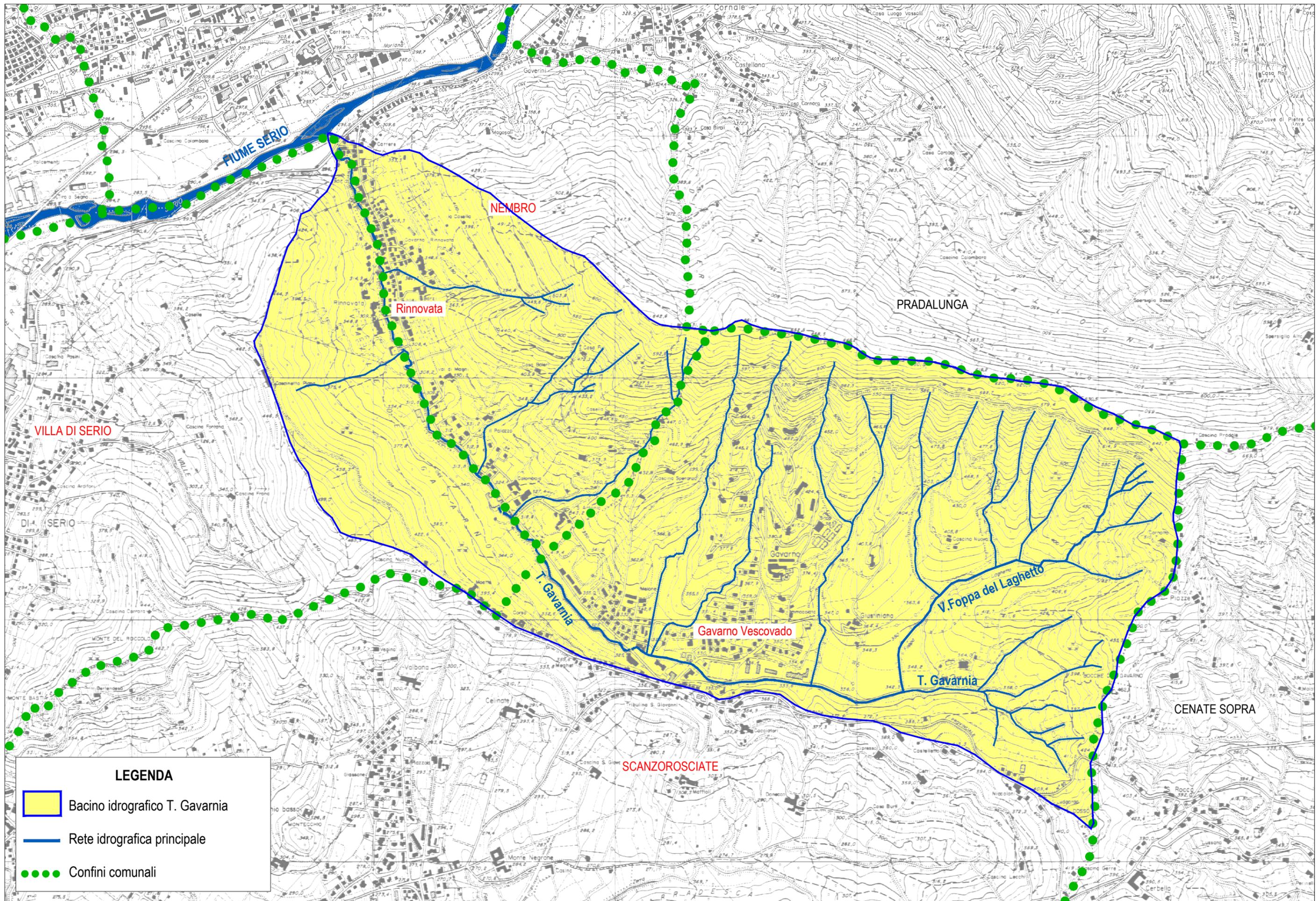
Fig. 5: Evento 2019: Altezze ed intensità di pioggia nelle stazioni ARPA e CML considerate

Fig. 6: Evento 2019: confronto tra misure e LSPP Arpa (originali e raggugliate) del sottobacino B04

Fig. 7: Carta dell’uso del suolo (da DUSAF 2015 – Regione Lombardia)

Fig. 8: Stima del coefficiente di deflusso per ciascuno dei sottobacini considerati

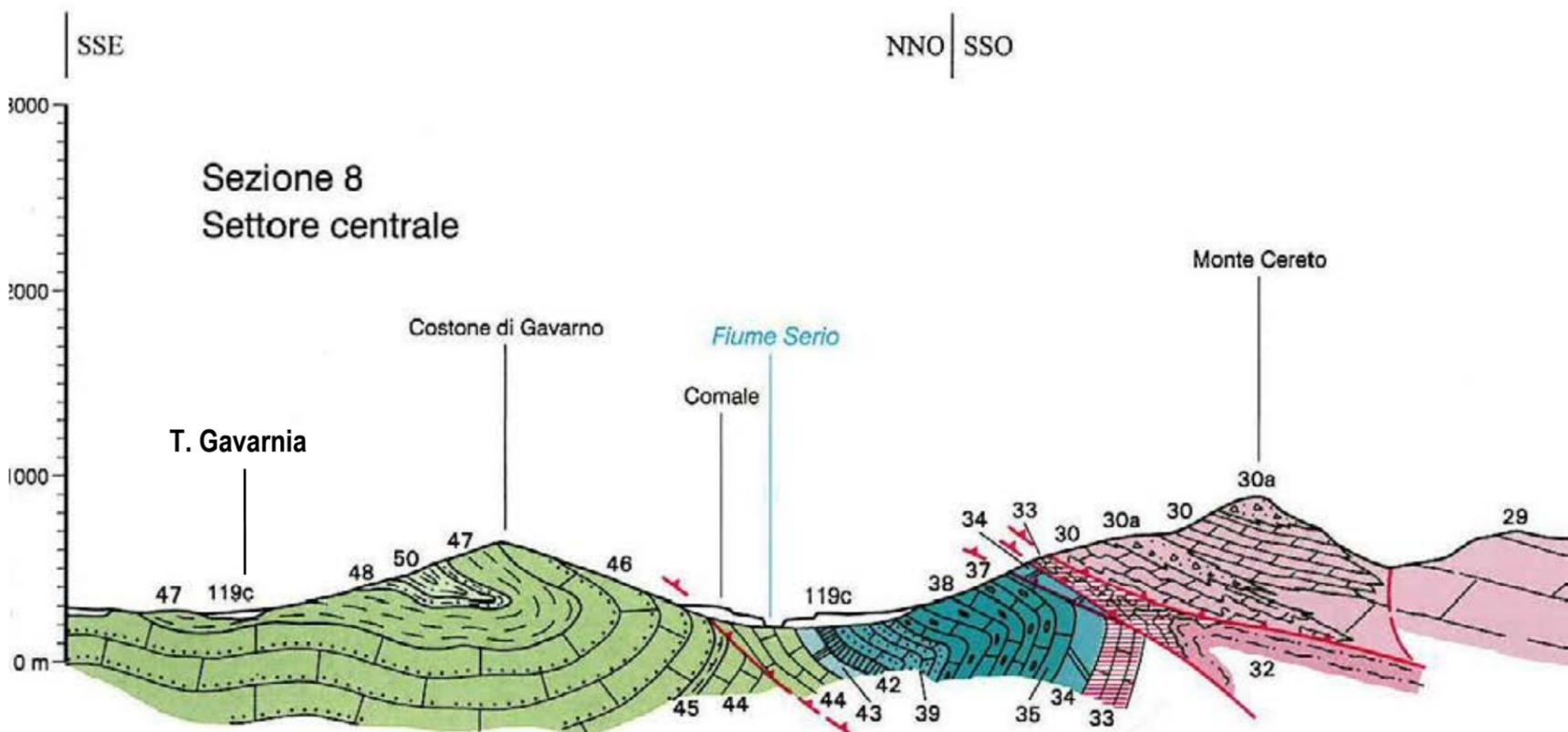
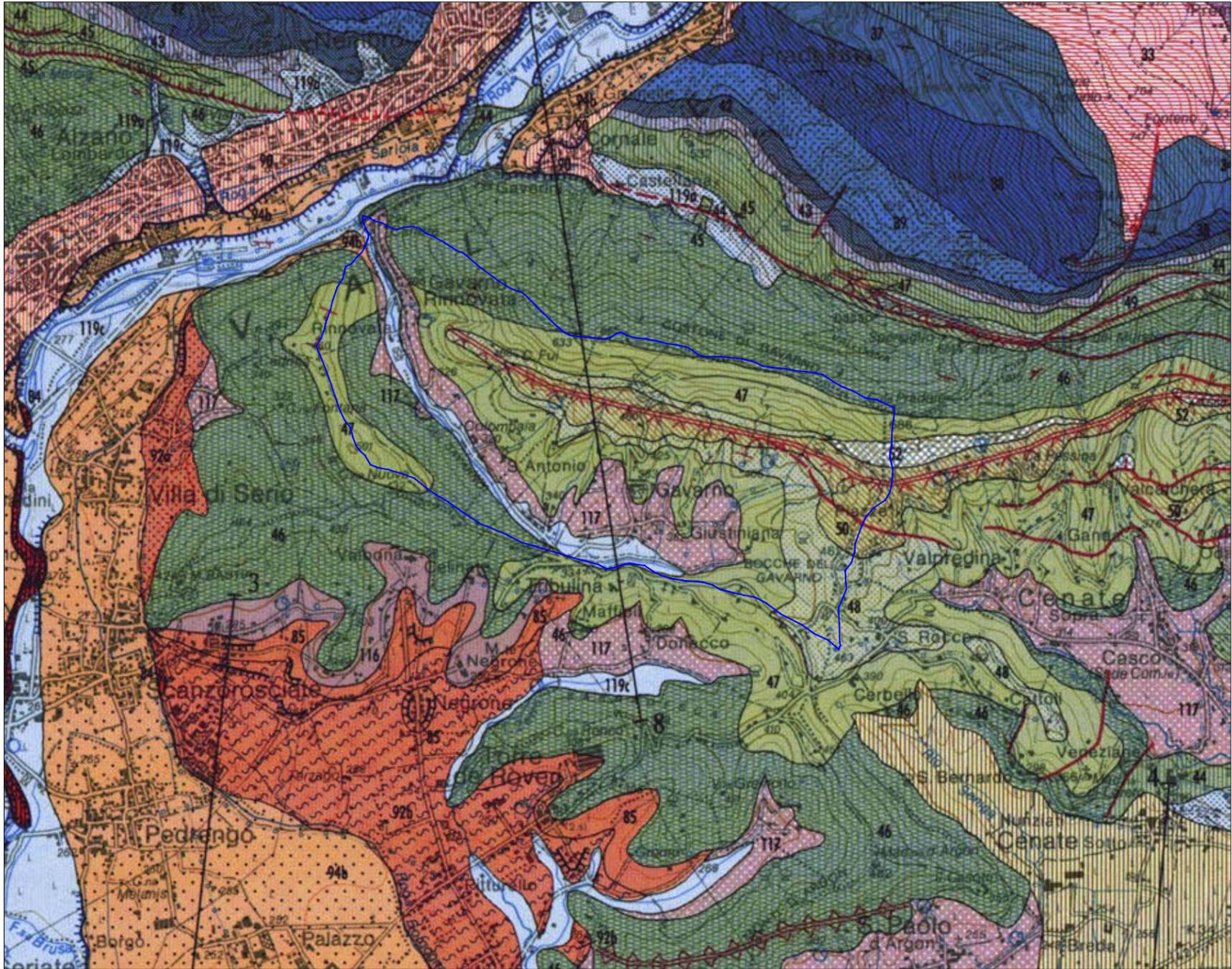
Fig. 9: Delimitazione sottobacini T.Gavarnia con l’aggiunta del bacino B0 per l’ipotesi di una possibile vasca di laminazione a monte dell’affluente intermedio tra le località Giustiniana ed Immacolata, in Comune di Scanzorosciate



LEGENDA

- Bacino idrografico T. Gavarnia
- Rete idrografica principale
- Confini comunali

Fig. 1:
Inquadramento territoriale bacino T. Gavarnia



LEGENDA

119c: Unità Postglaciale (Depositi alluvionali); **117:** Complesso di Palazzago (Depositi di versante); **116:** Complesso Alteritico; **50:** Peliti Rosse; **48:** Peliti nere superiori; **47:** Unità Cenomaniense; **46:** Sass de la Luna;

Fig. 2: Stralcio della Carta Geologica della Provincia di Bergamo (scala 1:25.000)

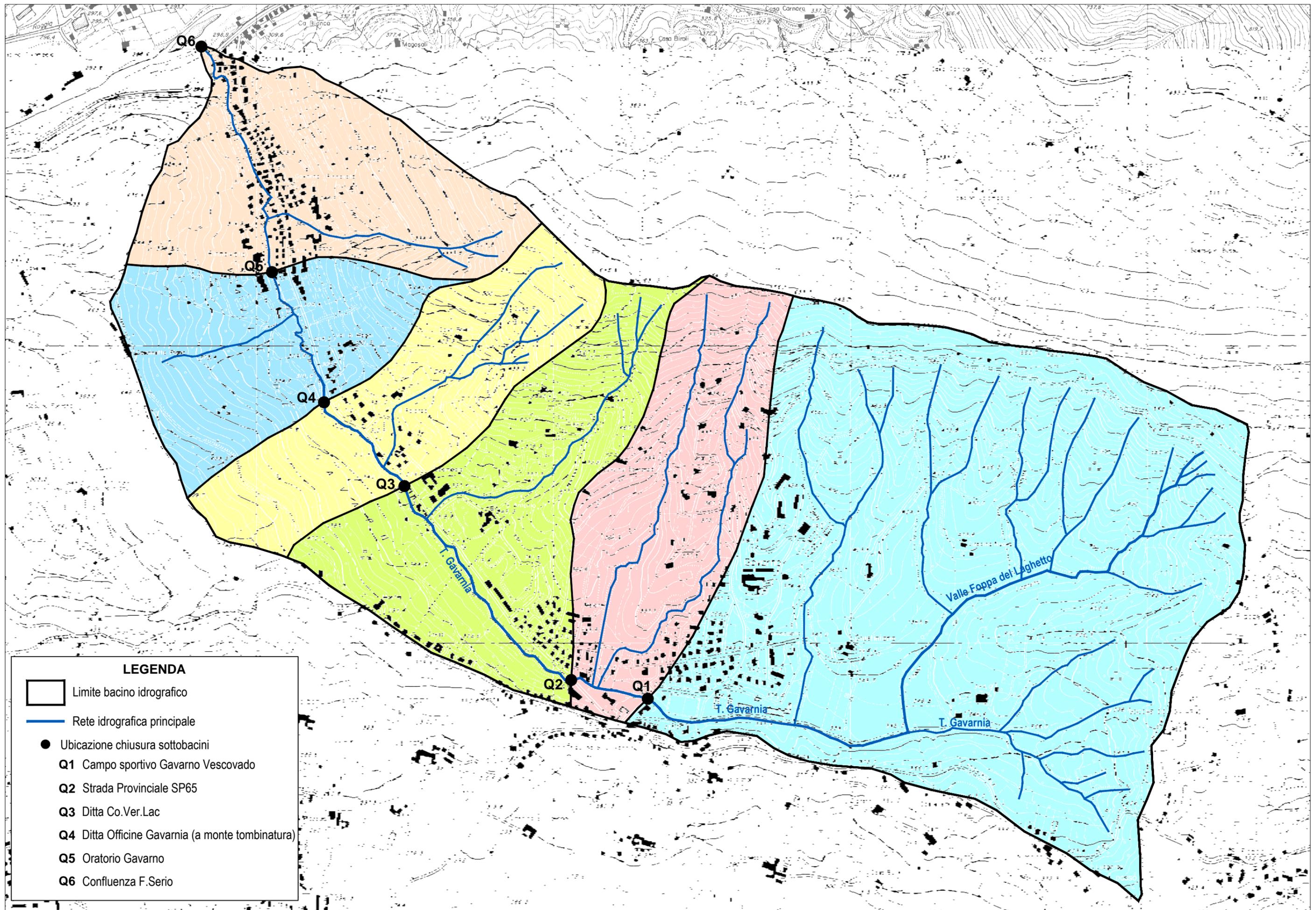


Fig. 3:
Delimitazione sottobacini idrografici T. Gavarnia

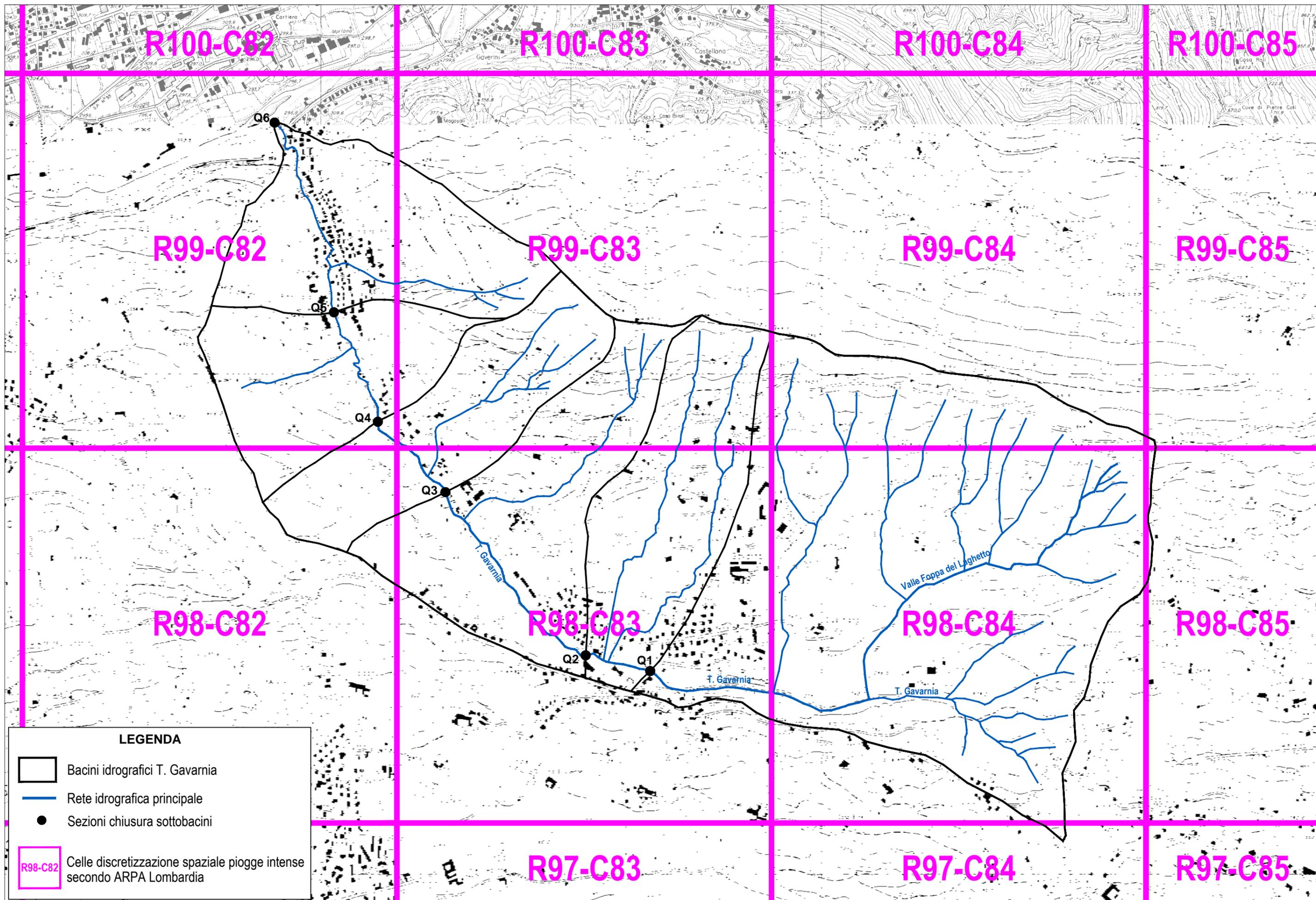


Fig. 4: Bacino T. Gavarnia: celle "discretizzazione spaziale ARPA Lombardia"

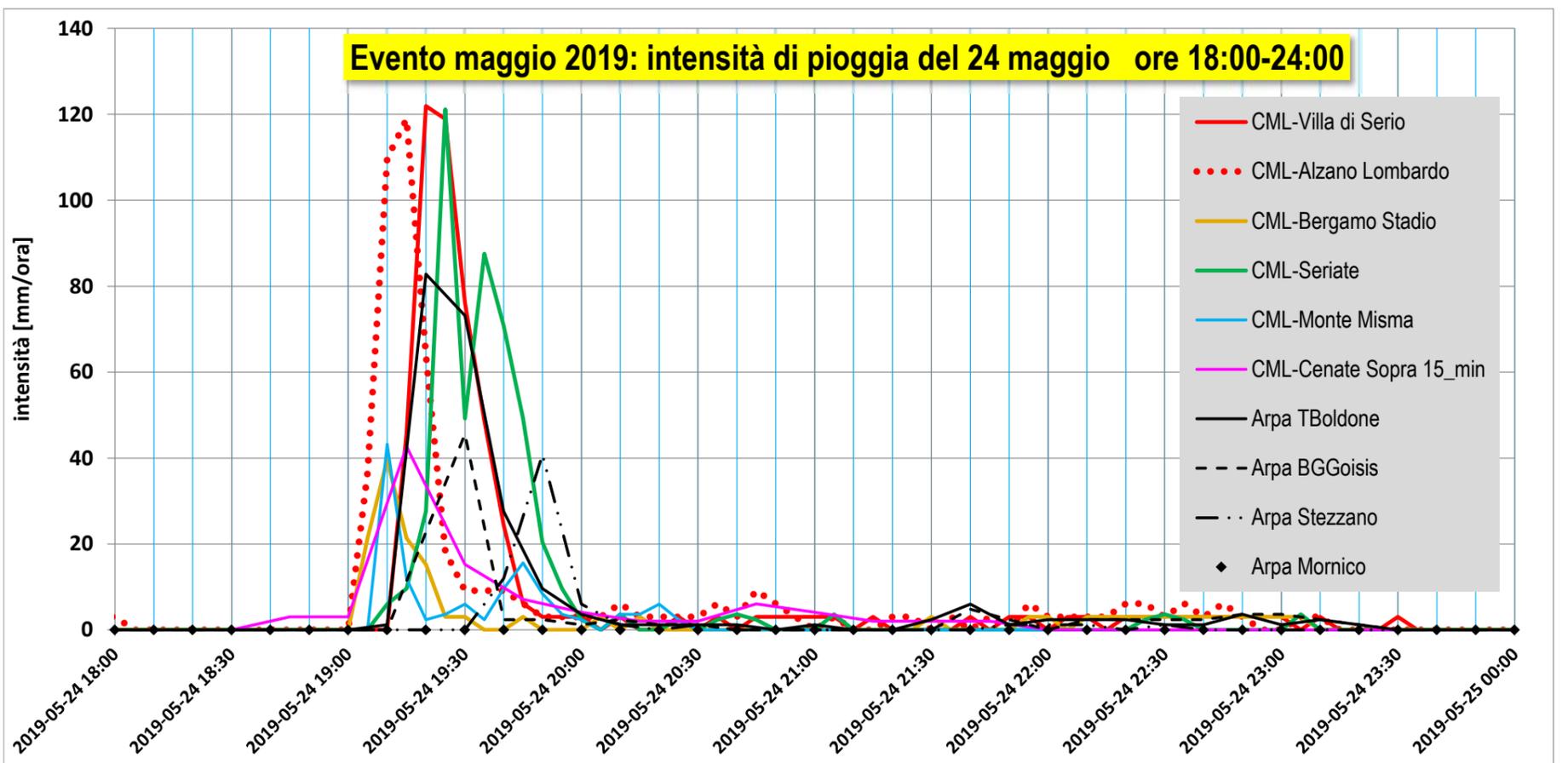
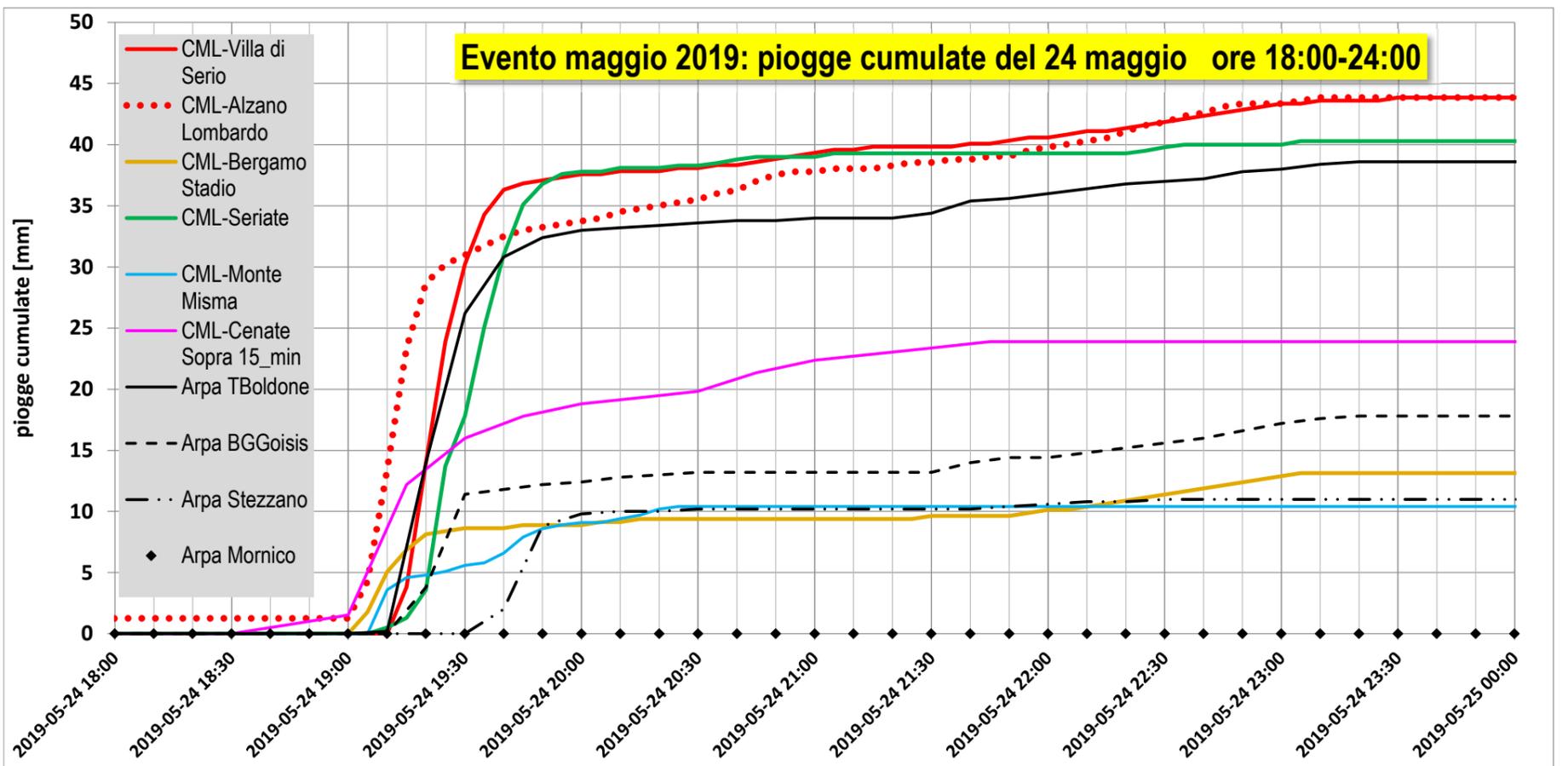
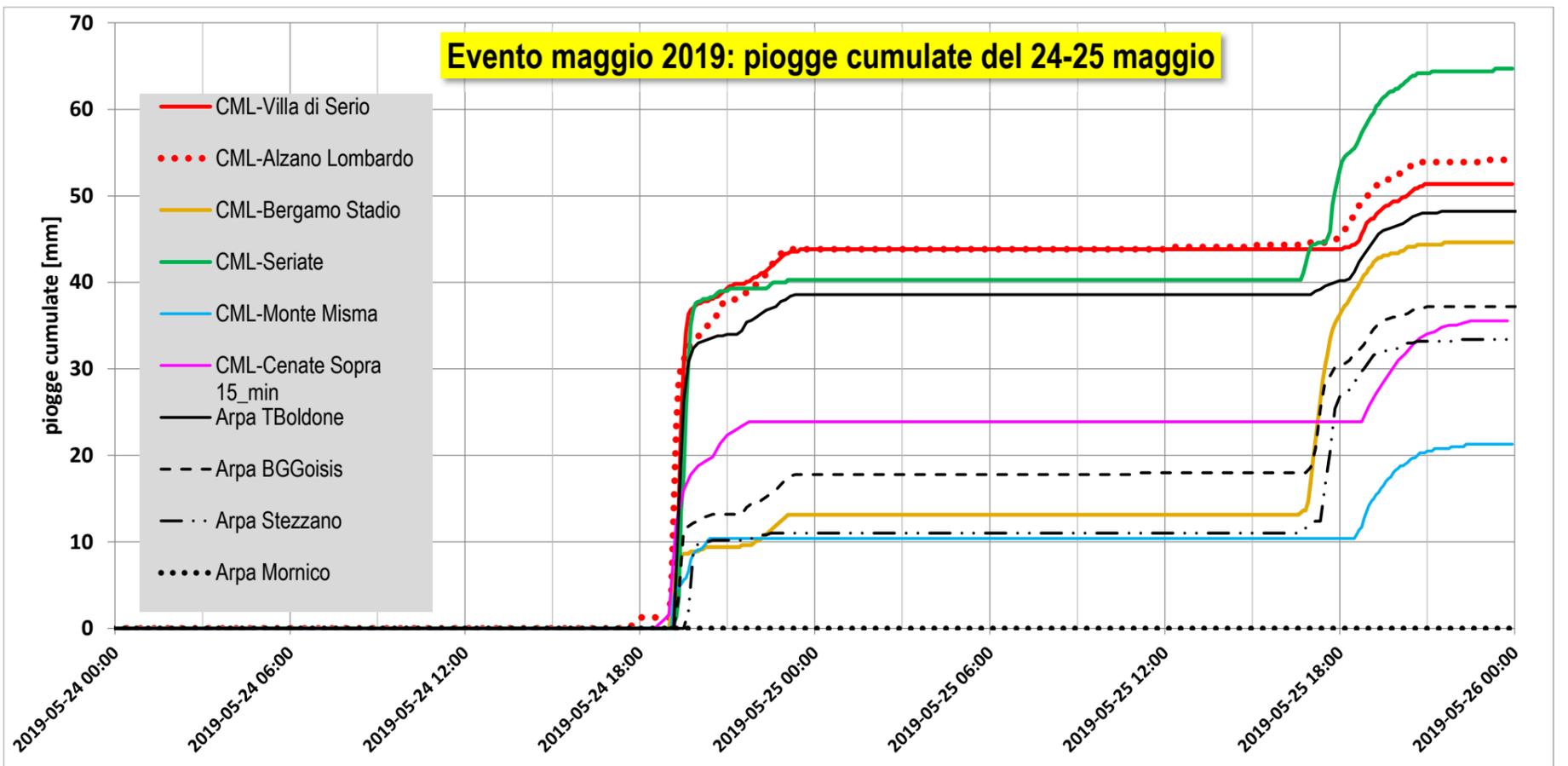


Fig. 5: Evento 2019: Altezze ed intensità di pioggia nelle stazioni ARPA e CML considerate

Q4 LSPP NON ragguagliate

	2	5	10	20	50	100	200	500
a	27.544	37.691	44.450	50.965	59.443	65.830	72.223	80.702
n1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
n2	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006

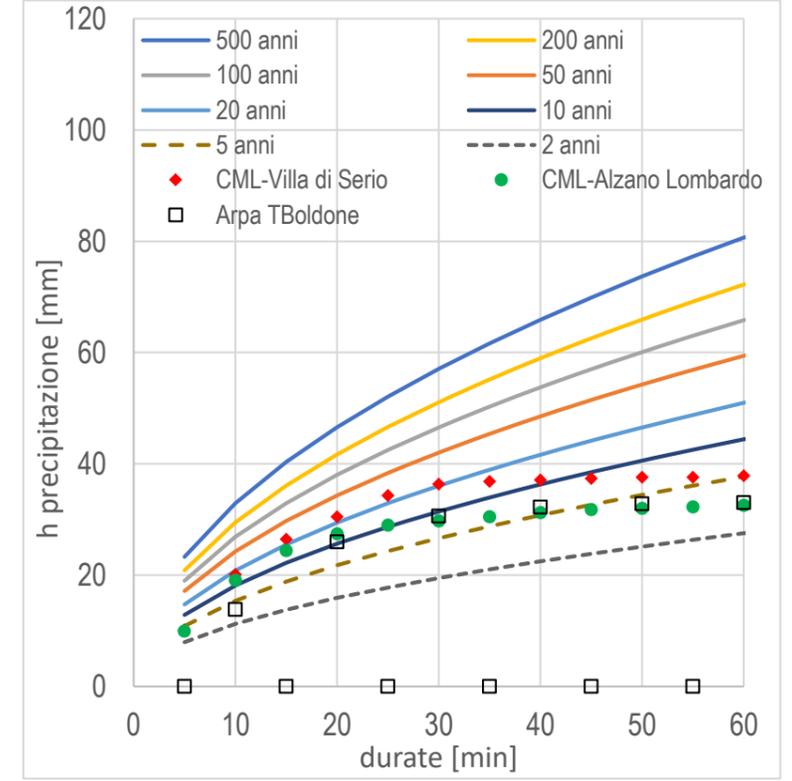
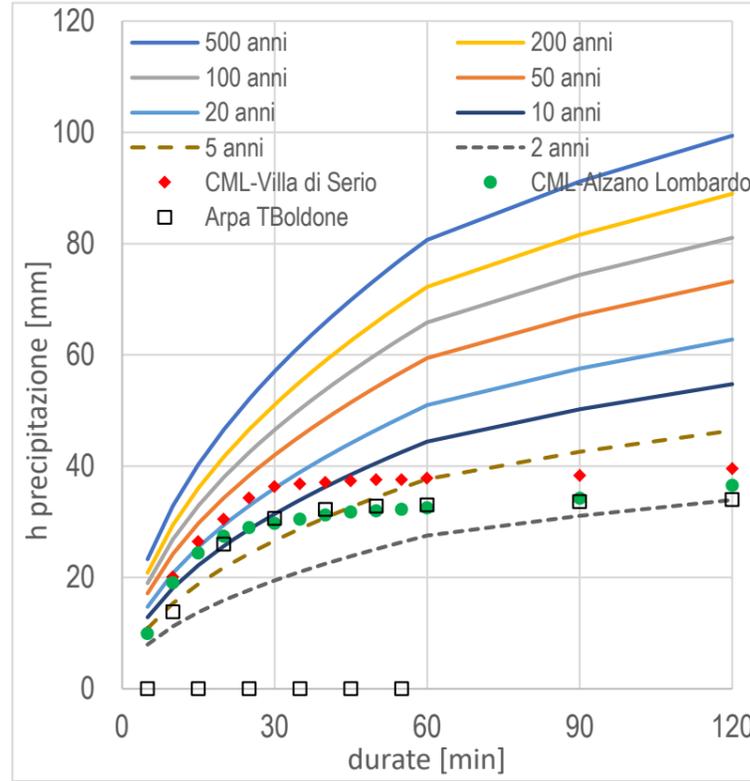
durate [min]	h precipitazione [mm]							
	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
5	7.95	10.88	12.83	14.71	17.16	19.00	20.85	23.30
10	11.24	15.39	18.15	20.81	24.27	26.88	29.48	32.95
15	13.77	18.85	22.22	25.48	29.72	32.92	36.11	40.35
20	15.90	21.76	25.66	29.42	34.32	38.01	41.70	46.59
25	17.78	24.33	28.69	32.90	38.37	42.49	46.62	52.09
30	19.48	26.65	31.43	36.04	42.03	46.55	51.07	57.06
35	21.04	28.79	33.95	38.92	45.40	50.28	55.16	61.64
40	22.49	30.77	36.29	41.61	48.53	53.75	58.97	65.89
45	23.85	32.64	38.49	44.14	51.48	57.01	62.55	69.89
50	25.14	34.41	40.58	46.52	54.26	60.09	65.93	73.67
55	26.37	36.09	42.56	48.79	56.91	63.03	69.15	77.27
60	27.54	37.69	44.45	50.96	59.44	65.83	72.22	80.70
90	31.11	42.58	50.21	57.57	67.15	74.36	81.59	91.16
120	33.93	46.42	54.75	62.77	73.22	81.08	88.96	99.40

23-05-2019 - 25-05-2019

h precipitazione [mm]	CML-Villa di Serio		CML-Alzano Lombardo		Arpa TBoldone	
	2019	2019	2019	2019	2019	2019
10.16	9.91	---	---	---	---	---
20.07	19.05	13.80	---	---	---	---
26.42	24.38	---	---	---	---	---
30.48	27.43	26.00	---	---	---	---
34.29	28.95	---	---	---	---	---
36.32	29.71	30.60	---	---	---	---
36.83	30.47	---	---	---	---	---
37.08	31.23	32.20	---	---	---	---
37.33	31.74	---	---	---	---	---
37.58	31.99	32.80	---	---	---	---
37.58	32.24	---	---	---	---	---
37.83	32.49	33.00	---	---	---	---
38.33	34.25	33.60	---	---	---	---
39.58	36.53	34.00	---	---	---	---

'D:\LAVORO\Lav_var\ERSAF\2022-Gavarnia\Calcoli[Dati_ARPA-CML.xlsm]h_max_5-120!\$AU\$2:\$GR\$51

intensità [mm/h]	CML-Villa di Serio		CML-Alzano Lombardo		Arpa TBoldone	
	2019	2019	2019	2019	2019	2019
121.9	118.9	---	---	---	---	---
120.4	114.3	82.8	---	---	---	---
105.7	97.5	---	---	---	---	---
91.4	82.3	78.0	---	---	---	---
82.3	69.5	---	---	---	---	---
72.6	59.4	61.2	---	---	---	---
63.1	52.2	---	---	---	---	---
55.6	46.8	48.3	---	---	---	---
49.8	42.3	---	---	---	---	---
45.1	38.4	39.4	---	---	---	---
41.0	35.2	---	---	---	---	---
37.8	32.5	33.0	---	---	---	---
25.6	22.8	22.4	---	---	---	---
19.8	18.3	17.0	---	---	---	---



Q4 LSPP ragguagliate

	2	5	10	20	50	100	200	500
a	26.012	35.594	41.977	48.130	56.136	62.168	68.205	76.212
n1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
n2	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006	0.3006

durate [min]	h precipitazione [mm]							
	2 anni	5 anni	10 anni	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni	500 anni
5	7.51	10.28	12.12	13.89	16.21	17.95	19.69	22.00
10	10.62	14.53	17.14	19.65	22.92	25.38	27.84	31.11
15	13.01	17.80	20.99	24.06	28.07	31.08	34.10	38.11
20	15.02	20.55	24.24	27.79	32.41	35.89	39.38	44.00
25	16.79	22.98	27.10	31.07	36.24	40.13	44.03	49.19
30	18.39	25.17	29.68	34.03	39.69	43.96	48.23	53.89
35	19.87	27.19	32.06	36.76	42.87	47.48	52.09	58.21
40	21.24	29.06	34.27	39.30	45.84	50.76	55.69	62.23
45	22.53	30.83	36.35	41.68	48.62	53.84	59.07	66.00
50	23.75	32.49	38.32	43.94	51.25	56.75	62.26	69.57
55	24.90	34.08	40.19	46.08	53.75	59.52	65.30	72.97
60	26.01	35.59	41.98	48.13	56.14	62.17	68.21	76.21
90	29.38	40.21	47.42	54.37	63.41	70.23	77.05	86.09
120	32.04	43.84	51.70	59.28	69.14	76.57	84.01	93.87

23-05-2019 - 25-05-2019

h precipitazione [mm]	CML-Villa di Serio		CML-Alzano Lombardo		Arpa TBoldone	
	2019	2019	2019	2019	2019	2019
10.16	9.91	---	---	---	---	---
20.07	19.05	13.80	---	---	---	---
26.42	24.38	---	---	---	---	---
30.48	27.43	26.00	---	---	---	---
34.29	28.95	---	---	---	---	---
36.32	29.71	30.60	---	---	---	---
36.83	30.47	---	---	---	---	---
37.08	31.23	32.20	---	---	---	---
37.33	31.74	---	---	---	---	---
37.58	31.99	32.80	---	---	---	---
37.58	32.24	---	---	---	---	---
37.83	32.49	33.00	---	---	---	---
38.33	34.25	33.60	---	---	---	---
39.58	36.53	34.00	---	---	---	---

intensità [mm/h]	CML-Villa di Serio		CML-Alzano Lombardo		Arpa TBoldone	
	2019	2019	2019	2019	2019	2019
121.9	118.9	---	---	---	---	---
120.4	114.3	82.8	---	---	---	---
105.7	97.5	---	---	---	---	---
91.4	82.3	78.0	---	---	---	---
82.3	69.5	---	---	---	---	---
72.6	59.4	61.2	---	---	---	---
63.1	52.2	---	---	---	---	---
55.6	46.8	48.3	---	---	---	---
49.8	42.3	---	---	---	---	---
45.1	38.4	39.4	---	---	---	---
41.0	35.2	---	---	---	---	---
37.8	32.5	33.0	---	---	---	---
25.6	22.8	22.4	---	---	---	---
19.8	18.3	17.0	---	---	---	---

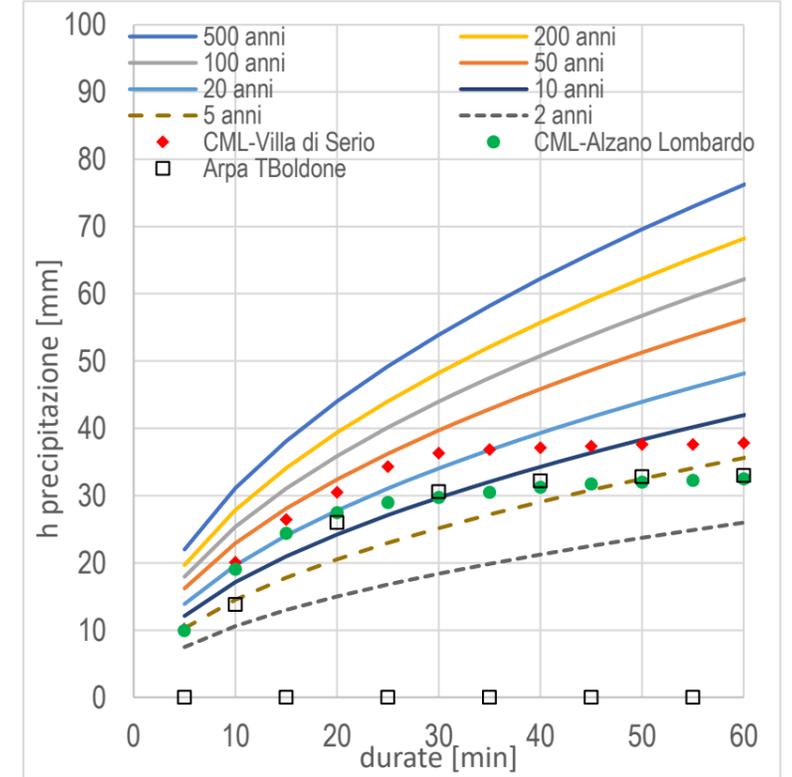
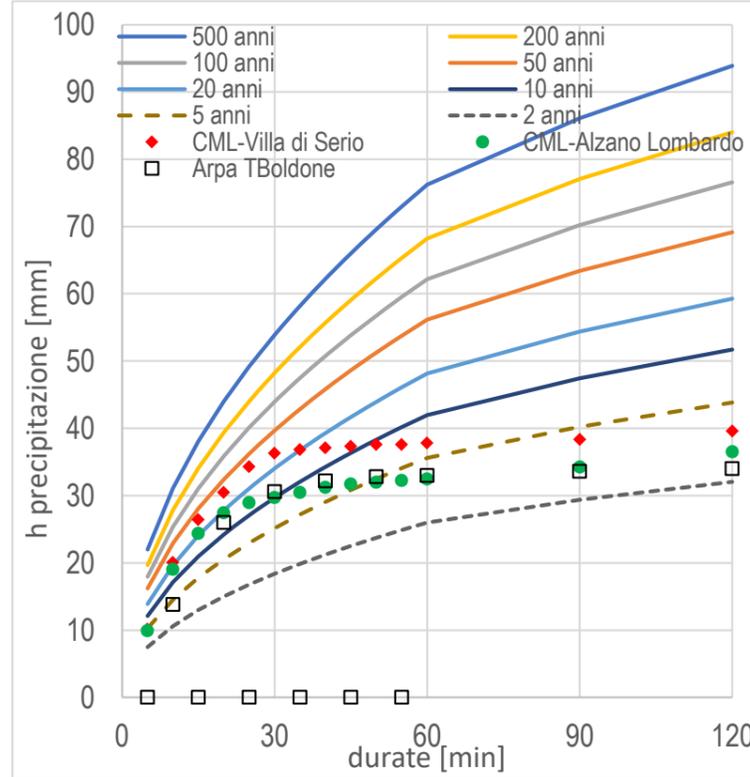


Fig. 6: Evento 2019: confronto tra misure e LSPP Arpa (originali e ragguagliate) del sottobacino B04

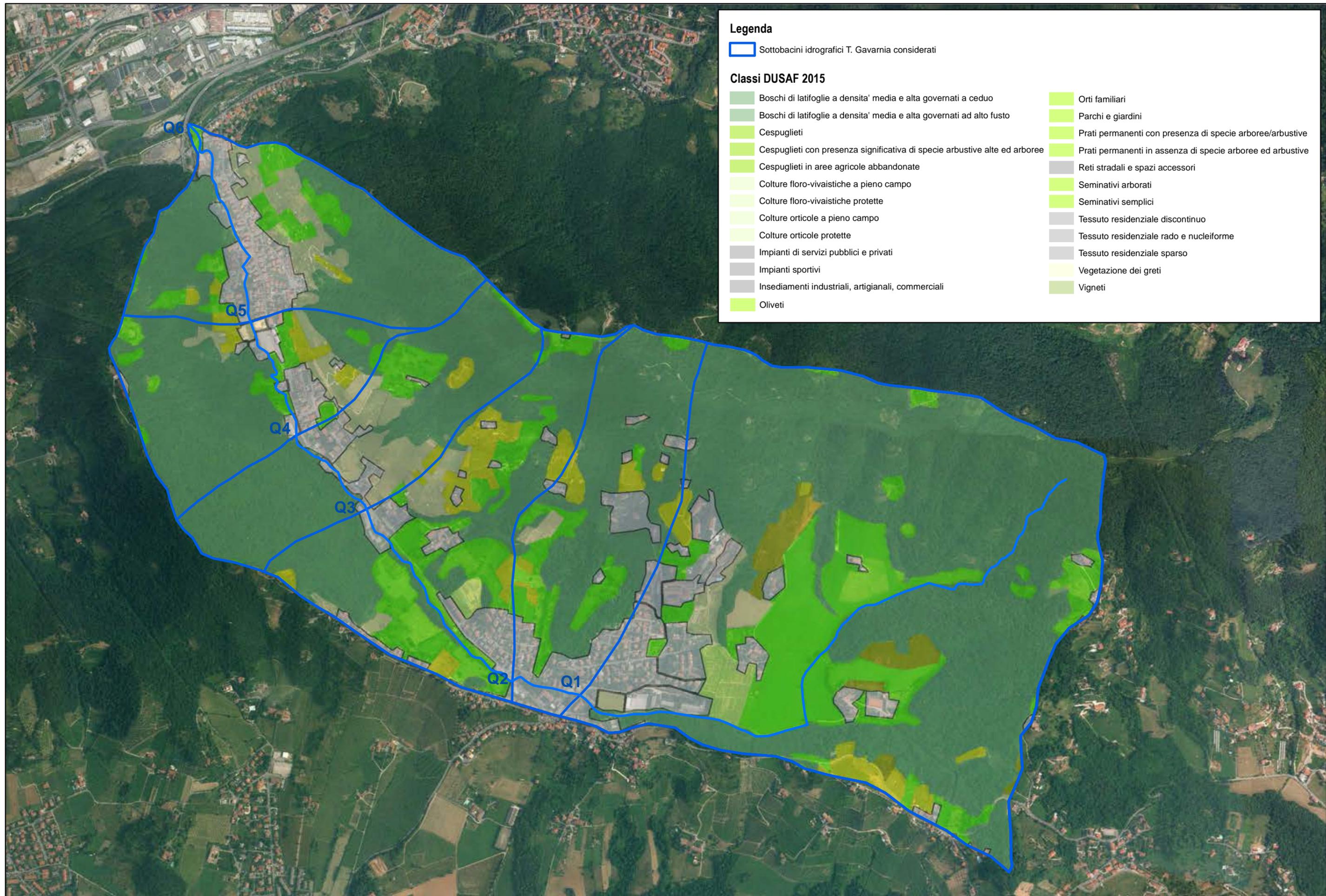


Fig. 7:
Carta dell'uso del suolo (da DUSAF 2015 - Regione Lombardia)

descrizione_Dusaf5 (Regione Lombardia 2015)	cd Calcolo	area [m ²]					
		Q06 foceSerio	Q05 oratorio	Q04 OffGavarnia	Q03 Coverlac	Q02 ponte SP	Q01 pte CampoSportivo
Aree degradate non utilizzate e non vegetate	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Boschi di latifoglie a densita' media e alta governati a ceduo	0.35	3255197.87	2908348.37	2571077.05	2199940.96	1909740.48	1542268.17
Boschi di latifoglie a densita' media e alta governati ad alto fusto	0.35	5493.06	5493.06	5493.06	5493.06	5493.06	5493.06
Cantieri	1.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cespuglieti	0.35	7020.49	7020.49	4544.40	4544.40	4544.40	46.99
Cespuglieti con presenza significativa di specie arbustive alte ed arboree	0.35	66433.09	56014.51	52136.56	51605.71	32237.35	11231.73
Cespuglieti in aree agricole abbandonate	0.35	48067.37	47010.24	39278.31	39278.31	14125.64	14125.64
Colture floro-vivaistiche a pieno campo	0.35	41961.37	41961.37	41961.37	41961.37	41961.37	41961.37
Colture floro-vivaistiche protette	0.75	1619.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Colture orticole a pieno campo	0.35	8178.71	8178.71	8178.71	8178.71	0.00	0.00
Colture orticole protette	0.75	3229.97	3229.97	3229.97	3229.97	0.00	0.00
Impianti di servizi pubblici e privati	1.00	16671.32	16420.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Impianti sportivi	1.00	8033.65	8033.65	8033.65	8033.65	8033.65	8033.65
Insedamenti industriali, artigianali, commerciali	1.00	36250.53	36250.53	29509.73	29492.55	29492.55	29492.55
Oliveti	0.35	78867.38	78867.38	78867.38	78867.38	78867.38	78867.38
Orti familiari	0.35	17741.57	17741.57	10629.43	9284.40	7372.38	7372.38
Parchi e giardini	0.35	7446.99	7446.99	4121.86	3577.44	3577.44	3577.44
Prati permanenti con presenza di specie arboree ed arbustive	0.35	104018.97	92309.48	69139.73	33723.31	33723.31	33464.05
Prati permanenti in assenza di specie arboree ed arbustive	0.35	658042.83	601418.21	599298.61	591826.13	427427.77	365066.24
Reti stradali e spazi accessori	1.00	23331.03	21263.68	15492.10	12671.82	9547.21	9547.21
Seminativi arborati	0.35	118961.85	59359.48	50469.83	35287.50	31100.06	20656.13
Seminativi semplici	0.35	148631.55	144605.26	119766.05	51872.70	18139.51	18139.51
Tessuto residenziale discontinuo	1.00	560130.44	430046.99	392293.06	347268.56	272732.43	183704.36
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.75	87178.59	87178.59	85010.06	85010.06	61216.41	54146.89
Tessuto residenziale sparso	0.50	105449.63	85003.90	81697.39	78365.47	57743.47	17365.07
Vegetazione dei greti	0.35	56.11	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Vigneti	0.35	206955.42	197138.42	174328.10	163150.97	83106.91	49347.26
		5614969.00	4960341.34	4444556.41	3882664.44	3130182.79	2493907.08
	cd medio	0.434	0.427	0.426	0.429	0.427	0.420

Fig. 8:
stima del coefficiente di deflusso
in corrispondenza dei bacini considerati

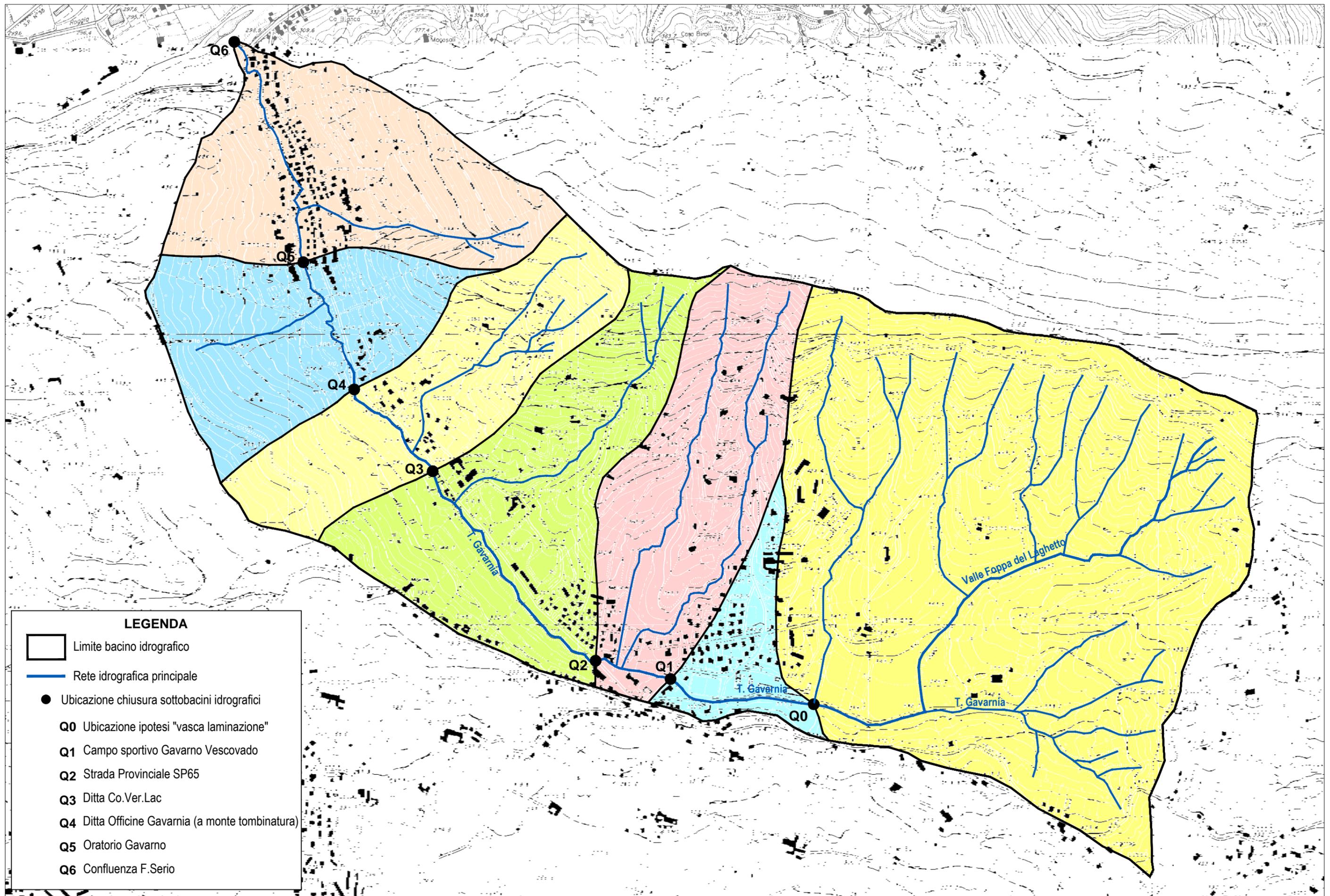


Fig. 9:
 Delimitazione sottobacini T.Gavarnia con l'aggiunta del bacino B0 per l'ipotesi di possibile vasca di laminazione a monte dell'affluente intermedio tra le località Giustiniana ed Immacolata a Scanzorosciate