

TITOLO

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

ELABORATO

**R2. RELAZIONE METODOLOGICA DI VERIFICA
IDRAULICA**

SCALA

/

NOME TORRENTE

/

COMMITTENTE

COMUNITA' MONTANA LARIO ORIENTALE - VALLE SAN MARTINO
Via Vasena, 4 23856 Sala al Barro - Galbiate (LC)
cm.larioorientale_vallesmartino@pec.regione.lombardia.it

PROGETTISTI



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

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



Studio Tecnico Agostoni

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

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

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

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

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

1.0	PREMESSA	2
2.0	INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI E DELLE CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE.....	3
3.0	STIMA DELLE PORTATE DI PIENA.....	5
3.1	DEFINIZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA.....	5
3.2	CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	7
3.3	DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	8
3.4	CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA	10
4.0	VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO.....	10
5.0	VERIFICA IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI	11
6.0	CONCLUSIONI	13



1.0 PREMESSA

Il presente studio a scala di sottobacini idrografici ha l'obiettivo di definire, sulla base dei dati idrogeologici, idraulici e morfologici dei bacini ricadenti nel territorio della Comunità Montana Lario Orientale – Valle San Martino, le principali criticità esistenti lungo il reticolo principale, sia dal punto di vista idraulico che idrogeologico, e la conseguente caratterizzazione delle opere di difesa del suolo prioritarie per la messa in sicurezza delle situazioni più problematiche.

Parte dello studio si è occupato dell'analisi delle criticità idrauliche presenti in corrispondenza delle opere di attraversamenti lungo le aste principali nei sottobacini compresi nella suddetta area di studio.

Nell'area di interesse ricadono in totale 165 attraversamenti; ai fini del presente studio è stata condotta la verifica idraulica di 48 attraversamenti, corrispondenti a quelli che ricadono nelle aree di rischio R3 (aree a rischio elevato) e R4 (aree a rischio molto elevato) nell'ambito della Direttiva 2007/60/CE e tenendo in considerazione anche eventuali segnalazioni di punti particolarmente critici nella pianificazione d'emergenza comunale vigente.

La geometria e le caratteristiche delle sezioni in corrispondenza degli attraversamenti, considerate ai fini della verifica idraulica, sono state definite durante i sopralluoghi mediante dei rilievi con disto digitale modello Leica D210, integrati con misure con cordella metrica e metro (per ogni bacino oggetto di studio si vedano gli elaborati LCOXX_E2 e LCOXX_E3).

La verifica puntuale di compatibilità idraulica sulla sezione degli attraversamenti è stata condotta secondo i dettami della Direttiva n.2 del PAI, in riferimento alle portate di piena del corso d'acqua (comprehensive del trasporto solido) stimate per un tempo di ritorno pari a 100 anni e 200 anni e mediante il tracciamento del profilo idrico in condizioni di moto uniforme.

Secondo la suddetta direttiva, il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte deve essere non inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e comunque mai inferiore a 1 m; il valore di tale franco deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non è rettilineo e comunque per almeno 40 m, nel caso di luci superiori a tale valore.

I risultati delle analisi idrauliche per ciascun ponte sono stati organizzati in apposite schede di sintesi (si vedano gli elaborati LCOXX_E4), riportanti le caratteristiche e la geometria degli attraversamenti soggetti a verifica e i principali parametri idraulici ed idrologici che sono stati calcolati ai fini della definizione delle quote idrometriche per piene con diversi tempi di ritorno. Per ogni monografia dei bacini è stata redatta una scheda riassuntiva delle criticità (cfr. El. LCOXX_E6), nella quale vengono sintetizzati in forma tabulare i risultati delle verifiche idrauliche condotte e segnalate eventuali note riguardanti le criticità riscontrate in corrispondenza dei ponti durante il pedonamento delle aste fluviali.

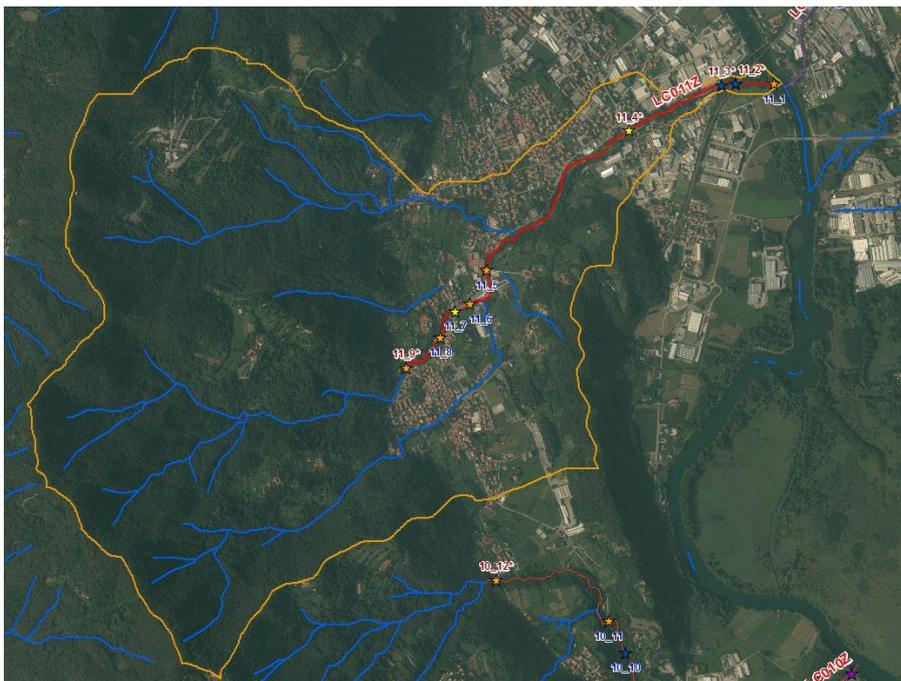
Nel seguito saranno illustrati le metodologie e i criteri adottati ai fini della verifica idraulica degli attraversamenti oggetto del presente studio.



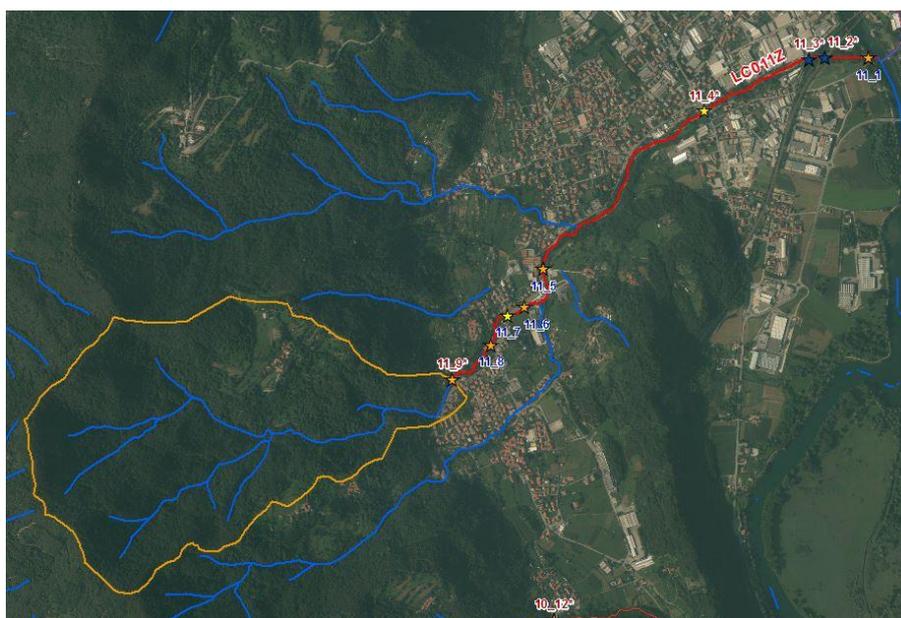
2.0 INDIVIDUAZIONE DEI BACINI IDROGRAFICI E DELLE CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE

Per ciascun attraversamento incluso nell'ambito d'analisi è stato innanzitutto definito il bacino idrografico d'influenza, definito come il bacino sotteso dalla sezione in esame che corrisponde alla sezione di chiusura del bacino stesso.

Nel presente studio idraulico non sono stati determinati tutti i bacini sottesi da tutti i ponti soggetti a verifica, ma vengono individuate lungo ciascuna asta fluviale un numero limitato di sezioni di chiusura, scelte in maniera ragionevole, utilizzate poi per determinare i bacini idrografici d'influenza.



Esempio di individuazione di bacino idrografico per i ponti 11_2 e 11_3 (torrente Greghentino)



Esempio di individuazione di bacino idrografico per il ponte 11_9 (torrente Greghentino)

In questo modo per gli attraversamenti che si trovano a monte della generica sezione di chiusura, la verifica idraulica risulta essere cautelativa. Nel caso in cui un ponte è risultato non verificato con il suddetto criterio, si è proceduto all'ulteriore verifica idraulica considerando il bacino idrografico chiuso in corrispondenza della sezione in esame.

Successivamente all'individuazione dei bacini idrografici, si è proceduto mediante l'ausilio di sistemi GIS, alla determinazione delle loro principali caratteristiche fisiche e morfometriche, utili ai fini della stima della portata di piena del corso d'acqua. In particolare esse sono riassunte nel seguente elenco:

- SUPERFICIE DEL BACINO SOTTESA
- ALTITUDINE MASSIMA DEL BACINO
- ALTITUDINE DELLA SEZIONE DI CHIUSURA
- ALTITUDINE MEDIA DEL BACINO
- LUNGHEZZA DELL'ASTA PRINCIPALE
- PENDENZA MEDIA DELL'ASTA PRINCIPALE

Per quanto riguarda l'altitudine media di ciascun bacino idrografico, essa è stata calcolata suddividendo l'area del bacino in fasce ad intervallo altimetrico costante di 100 m ed effettuando una media pesata dell'altitudine media di ciascuna fascia rispetto alla superficie corrispondente alla relativa fascia altimetrica, ovvero applicando la seguente relazione:

$$H_m = \frac{\sum H_i S_i}{S}$$

dove:

- H_i altitudine media della fascia altimetrica i -esima (m s.l.m.)
 S_i superficie della porzione di bacino idrografico compresa nella fascia altimetrica i -esima (km²)
 S superficie complessiva del bacino idrografico (km²)

Applicando tale espressione si ottiene un valore di altitudine media del bacino idrografico.

La pendenza media dell'asta principale è stata stimata come rapporto tra il dislivello fra il punto a quota più elevata e quello a quota più bassa dell'asta principale e la sua lunghezza:

$$i_{media} = \frac{Z_{max} - Z_{min}}{L}$$

dove:

- Z_{max} altitudine del punto a quota più elevata lungo l'asta principale (m s.l.m.)
 Z_{min} altitudine del punto a quota più bassa lungo l'asta principale (m s.l.m.)
 L lunghezza dell'asta principale misurata dalla sorgente al punto di chiusura del bacino (m)

3.0 STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

Nelle sezioni di interesse non sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo, perciò non è possibile operare un'analisi statistica diretta di frequenza delle piene che consenta di determinare le stime di portata richieste.

Non disponendo delle necessarie osservazioni di portata e per superare le difficoltà riscontrate dalla scarsità di dati idrologici di base reperibili, l'analisi è stata condotta utilizzando modelli di trasformazione degli afflussi meteorici (precipitazioni atmosferiche di prefissate caratteristiche) in deflussi alla sezione di chiusura del bacino.

Per la determinazione delle portate di progetto si è fatto ricorso all'utilizzo dei metodi di analisi dei deflussi superficiali di tipo approssimato e indiretto.

In mancanza di misure dirette dei valori di portata risulta importante l'utilizzo delle comuni formule per la definizione del valore di massima piena. In questo specifico caso si è utilizzata la FORMULA DEL METODO RAZIONALE:

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

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

Per l'applicazione di tale metodo si è considerato il bacino del torrente come una singola unità basandosi sulle seguenti ipotesi:

- ◆ distribuzione uniforme della precipitazione su tutto il bacino;
- ◆ linearità del modello A-F impiegato (ingressi e uscite di uguale rarità);
- ◆ tempo di formazione del colmo di piena pari a quello della fase di riduzione;
- ◆ tempo di ritorno T della portata stimata uguale a quello dell'intensità di pioggia;
- ◆ durata dell'intensità di pioggia uguale al tempo di corrvazione t_c del bacino.

Nei paragrafi successivi verranno illustrate le metodologie e le formulazioni utilizzati ai fini della stima dei parametri necessari per l'applicazione della suddetta formula del Metodo Razionale.

3.1 DEFINIZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ CLIMATICA

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di possibilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione h alla sua durata t , per un assegnato tempo di ritorno T .

Tale curva è rappresentata dall'equazione:

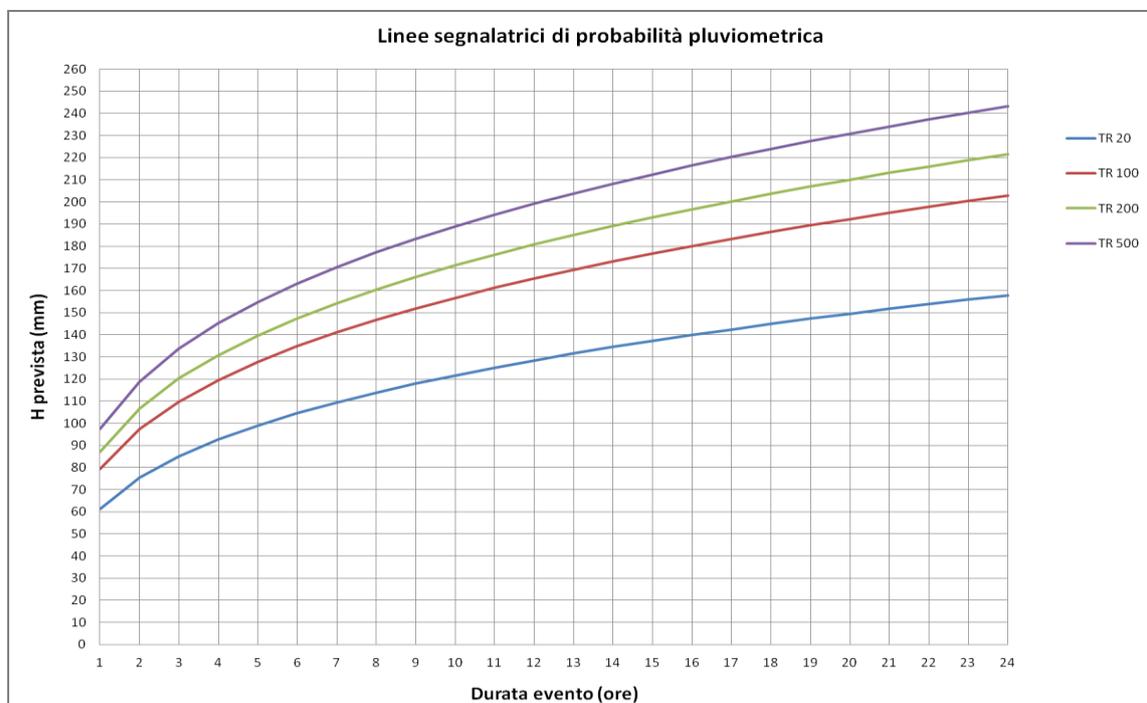
$$h(d,T) = a \cdot d^n$$

dove si assume che la durata sia quella che dà luogo al massimo valore della portata al colmo (durata critica).

Data la scarsa disponibilità di dati pluviometrici e la mancanza di serie storiche di dati di pioggia relativi ai bacini in esame che possano giustificare un accurato studio statistico dei dati pluviometrici, per ottenere una stima dei parametri il più possibile corretta, il valore di a ed n è stato desunto direttamente da valori stimati dall'Autorità di Bacino ed in particolare dall'allegato 3 alla Direttiva PAI: *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni relative alle celle del reticolo chilometrico.*

Considerando i valori di tali parametri nelle celle nelle quali è compreso il bacino idrografico si sono stimati i valori medi dei parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica, e successivamente impiegati nella stima della portata di piena centenaria e duecentenaria del torrente.

Infatti, noti i valori dei parametri a ed n è possibile ricavare i valori di intensità delle precipitazioni relative a diverse durate; inserendo in un modello afflussi-deflussi tali valori è possibile determinare le portate di colmo per assegnati tempi di ritorno. La durata dell'evento da considerare è quella cosiddetta critica, cioè quella che è causa di una portata pari a quella del colmo di piena.



Es. di curve di possibilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni – Torrente Greghentino

Poiché il tempo di corrivazione del bacino T_c , oltre che il tempo che impiega la precipitazione dalla parte più distante del bacino a raggiungere la sua sezione di chiusura, rappresenta il tempo dall'inizio della precipitazione oltre il quale tutta la precipitazione caduta sul bacino contribuisce alla formazione del deflusso, la formazione del deflusso dipende dal tempo di corrivazione di ciascun bacino. La durata critica dell'evento meteorico è pertanto assunta pari al tempo di corrivazione T_c del bacino.

La procedura fin'ora esposta rappresenta l'approccio più tradizionale adottato per la stima delle altezze di pioggia. Tuttavia il PAI si basa su basi conoscitive piuttosto datate: i dati idrologici sono infatti aggiornati al 1986 e non tengono conto delle trasformazioni del territorio e del cambiamento del regime pluviometrico nel frattempo intercorsi.

Il Servizio Idrografico di Arpa Lombardia mette a disposizione tutti i parametri necessari per il calcolo delle linee segnalatrici per durate da 1 a 24 ore, basati su dati aggiornati all'anno 2001. La parametrizzazione delle

linee segnalatrici con i suddetti parametri, sviluppata nell'ambito del Progetto Strada, assume per i dati idrologici una distribuzione di probabilità del valore estremo a tre parametri GEV (Generalized Extreme Value) valutata analiticamente più adatta della distribuzione di Gumbel:

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

dove:

- a_1 rappresenta il coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale per la durata di riferimento;
- w_T rappresenta il fattore di crescita in frequenza;
- n rappresenta l'esponente di scala;
- α , ε e k rappresentano i parametri caratteristici della distribuzione di probabilità;
- T è il tempo di ritorno.

Tramite il Servizio Idrografico attivando un apposito livello e interrogando un punto si ottengono i valori di tutti i parametri necessari per il calcolo dell'altezza di pioggia prevista per un dato tempo di ritorno. Una volta noti questi valori, sono state dunque calcolate le portate di piena per diversi tempi di ritorno con lo scopo di confrontarle con le portate di piena ottenute precedentemente dalle elaborazioni utilizzando i parametri forniti dall'allegato 3 della Direttiva PAI.

3.2 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Per il calcolo della portata di massima piena innanzitutto va stimato il tempo di corrivazione, che è il tempo necessario perché le acque di afflusso meteorico raggiungano la sezione di chiusura del bacino, rispetto alla quale viene eseguito il calcolo della portata di massima piena.

Il calcolo del tempo di corrivazione è stato effettuato utilizzando la formula di Giandotti la quale si ritiene meglio si adatti alla valutazione relativa ai bacini montani:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_0)}}$$

dove:

- A superficie bacino (km²)
- L lunghezza asta principale (km)
- H_m altitudine media bacino (m s.l.m.)
- H_0 altitudine minima bacino (m s.l.m.)

L'espressione restituisce il valore del tempo di corrivazione del bacino in ore.

3.3 DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il coefficiente di deflusso c è dato dal rapporto tra il volume defluito dal bacino in un dato intervallo di tempo ed il relativo afflusso costituito dalla precipitazione totale.

La stima del coefficiente di deflusso è però estremamente difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata; generalmente si utilizzano dei valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica.

Nel presente studio idraulico la determinazione di tale coefficiente ha tenuto conto in modo implicito di tutti gli elementi che possono determinare la relazione tra portata al colmo e intensità di pioggia. Il coefficiente di deflusso dipende dalle caratteristiche geomorfologiche del bacino nonché dalla sua copertura vegetale e la sua determinazione, è possibile solamente quando si disponga sia di serie storiche di pioggia, ma anche di portata.

La poca disponibilità di dati in tal senso ha reso obbligatoria la determinazione di tale valore facendo riferimento alla bibliografia. Un'indicazione dei valori da attribuire al fattore di trattenuta del terreno è fornita dalla letteratura scientifica come di seguito riportato.

TIPO DI SUOLO	Coefficiente c	
	USO DEL SUOLO	
	COLTIVATO	BOSCO
Suolo con infiltrazione elevata, normalmente sabbioso o ghiaioso	0,20	0,10
Suolo con infiltrazione media, senza lenti argillose; suoli limosi e	0,40	0,30
Suolo con infiltrazione bassa, suoli argillosi e suoli con lenti argillose vicine alla superficie, strati di suolo sottile al di sopra di roccia impermeabile	0,50	0,40

Coefficienti di deflusso raccomandati da Handbook of Applied Hydrology, Ven Te Chow, 1964

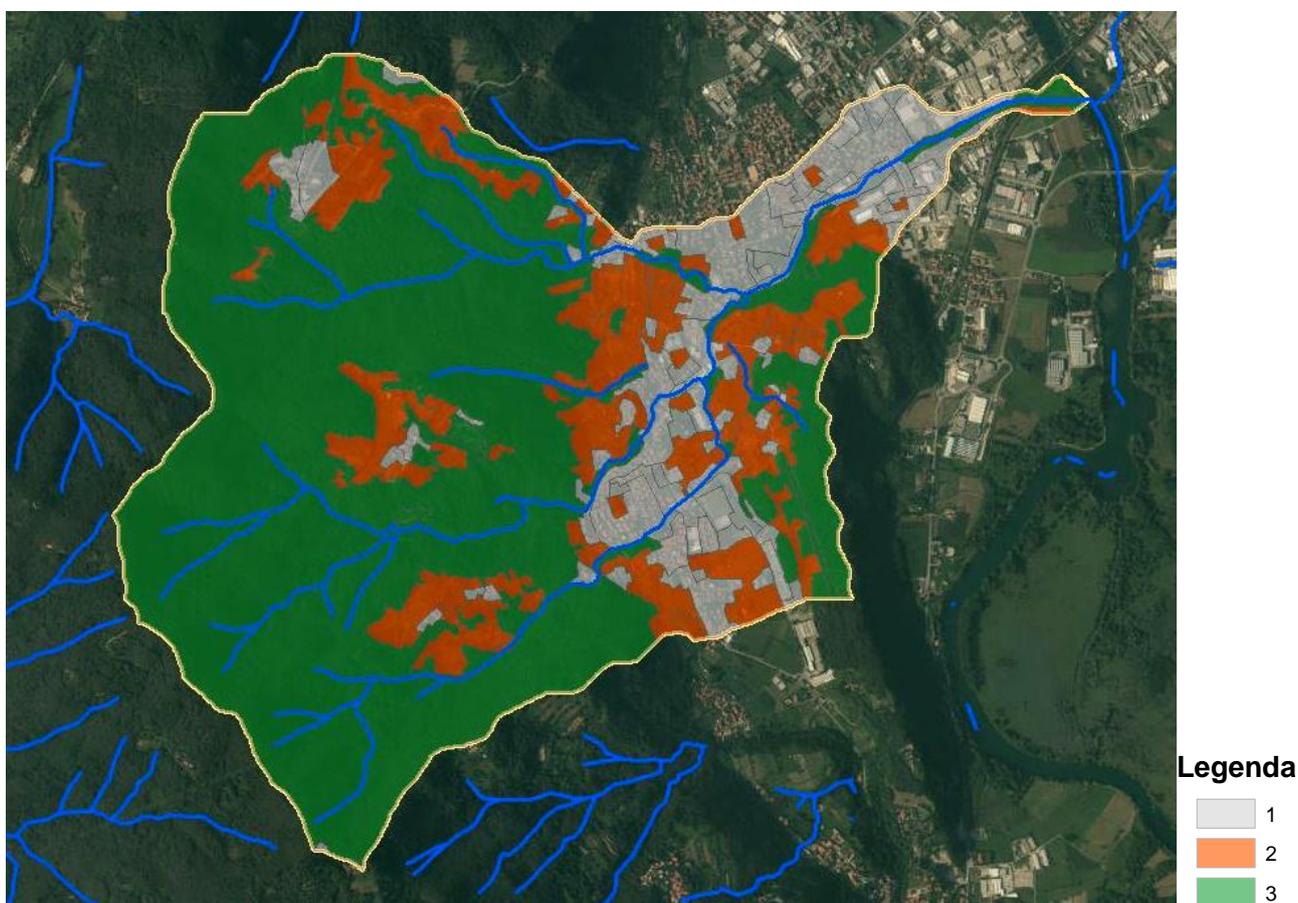
CARATTERISTICHE DEL BACINO	Coefficiente c
Superfici pavimentate o impermeabili (strade, aree coperte, ecc.)	0,70 – 0,95
Suoli sabbiosi a debole pendenza (2%)	0,05 – 0,10
Suoli sabbiosi a pendenza media (2 - 7%)	0,10 – 0,15
Suoli sabbiosi a pendenza elevata (7%)	0,15 – 0,20
Suoli argillosi a debole pendenza (2%)	0,13 – 0,17
Suoli argillosi a pendenza media (2 - 7%)	0,18 – 0,22
Suoli argillosi a pendenza elevata (7%)	0,25 – 0,35

Coefficienti di deflusso raccomandati da American Society of Civil Engineers e da Pollution Control Federation, con riferimento prevalente ai bacini urbani

In questo studio i valori dei coefficienti di deflusso sono stati assegnati a seconda dell'uso del suolo e delle sue caratteristiche geomorfologiche. Ad ogni zona con caratteristiche omogenee viene assegnato un valore di c ; la media dei valori, pesata sull'area delle zone omogenee, costituisce il coefficiente di deflusso da assegnare al bacino.

Utilizzando i dati di uso del suolo DUSAF forniti dal Geoportale di Regione Lombardia, è stato possibile suddividere i bacini in esame in tre diverse categorie:

- CLASSE 1 - AREE ANTROPIZZATE, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,75, giustificato dall'evidenza che le aree antropizzate in esame non sono densamente urbanizzate, ma vi è la presenza di diverse aree verdi, giardini ecc.;
- CLASSE 2 - AREE AGRICOLE, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,40;
- CLASSE 3 - TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,30.



Esempio di suddivisione del bacino in categorie di uso del suolo ai fini del calcolo del coefficiente di deflusso (torrente Greghentino)

Il coefficiente di deflusso per ciascun bacino idrografico è stato dunque calcolato come media pesata sull'area delle tre categorie esposte sopra:

$$c = \frac{S_1 \cdot 0,75 + S_2 \cdot 0,4 + S_3 \cdot 0,3}{S}$$

dove:

- S_1 superficie delle aree antropizzate comprese nel bacino (km²)
- S_2 superficie delle aree agricole comprese nel bacino (km²)
- S_3 superficie dei territori boscati e degli ambienti seminaturali compresi nel bacino (km²)
- S superficie del bacino (km²)

3.4 CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA

Le elaborazioni fin qui esposte hanno permesso di determinare la trasformazione dell'evento meteorico in afflusso alla sezione di chiusura dei bacini idrografici attraverso l'applicazione della formula razionale come precedentemente esposto:

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

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

Le portate di piena sono state determinate per diversi tempi di ritorno sia utilizzando i valori di precipitazione ricavati utilizzando la Direttiva PAI, sia i valori di precipitazione stimati sulla base delle indicazioni fornite del Servizio Idrografico di Arpa Lombardia, come descritto nei paragrafi precedenti.

Le portate al colmo ottenute utilizzando le due diverse metodologie sono risultate differenti nell'ordine del 10 % circa (6-7 mc/s per i casi esaminati). Tuttavia, per tutti gli attraversamenti analizzati, sono state ottenute portate al colmo più elevate utilizzando i parametri stimati dall'Autorità di Bacino ed in particolare dall'allegato 3 alla Direttiva PAI: *Distribuzione spaziale delle precipitazioni intense - Parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni relative alle celle del reticolo chilometrico.*

Ai fini della verifica idraulica dei ponti oggetto di studio, sono stati dunque tenuti in considerazione i valori di portata massima stimati con la suddetta metodologia, con lo scopo di utilizzare valori più cautelativi e a favore di sicurezza.

4.0 VALUTAZIONE DEL TRASPORTO SOLIDO

Poiché gli eventi idrometeorologici sono in genere preceduti e/o seguiti da fenomeni di trasporto di materiale solido, considerare la sola fase liquida non può essere ritenuto un procedimento esaustivo per l'individuazione delle portate da utilizzare nell'ambito della verifica idraulica degli attraversamenti.

Non esiste un modo univoco per determinare la portata solida transitante attraverso una sezione. Nel corso degli anni, su base sperimentale, sono state elaborate diverse equazioni che includono vari parametri e che non hanno valenza assoluta ma si adattano al meglio ad alcune situazioni specifiche. Il risultato delle sperimentazioni è una funzione algebrica che lega la portata solida della corrente a diversi parametri geometrici o idrodinamici che influenzano il fenomeno.

La valutazione del trasporto solido per un corso d'acqua naturale presenta però numerosi fattori di incertezza, generalmente connessi con l'indeterminazione dei dati e dei parametri ed anche con la forte dispersione dei risultati che si ottiene utilizzando differenti formule

Esistono molte formule, ricavate in condizioni diverse. Le più utilizzate sono raccolte nella seguente tabella in forma semplificata.

Autore	Formulazione semplificata	Campo d'applicazione
Schoklitsch	$Q_s = 0,94 * Q_{liq} * if^{1,5}$	5% < if < 9%
Smart & Jaegge	$Q_s = 2,55 * Q_{liq} * if^{1,6}$	3% < if < 20%
Richenmann	$Q_s = 5,83 * Q_{liq} * if^2$	7% < if < 20%
Mizuyama e Shimohigashi	$Q_s = 8,36 * Q_{liq} * if^2$	10% < if < 20%
Mizuyama	$Q_s = 5,5 * Q_{liq} * if^2$	10% < if < 20%

dove:

Q_{liq} portata liquida in corrispondenza della sezione considerata (m³/s)

if pendenza media del fondo (%)

La quantificazione del trasporto solido è stata effettuata utilizzando le diverse formulazioni sopracitate, in funzione del loro campo di applicabilità e considerando la pendenza dei tratti in esame. Si è scelto di adottare il valore di portata solida ottenuto come media dei valori relativi alle diverse formulazioni utilizzate; è stato dunque possibile ottenere i valori di portata complessiva solido-liquida ($Q_{tot} = Q_{liq} + Q_s$).

Nei casi in cui la pendenza media dell'asta principale è risultata essere superiore al 20%, per la valutazione del trasporto solido non sono state utilizzate le formule contenute nella tabella sovrastante (in quanto non applicabili). In questi casi, si assume in via cautelativa che il trasporto solido rispetto al quale effettuare il calcolo del franco idraulico sugli attraversamenti è pari ad un incremento del 30% della portata liquida.

5.0 VERIFICA IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI

La verifica delle sezioni di deflusso in corrispondenza degli attraversamenti è stata condotta prendendo in considerazione portate di piena del corso d'acqua stimate per un tempo di ritorno pari a 100 anni e 200 anni e mediante il tracciamento del profilo idrico in condizioni di moto uniforme.

In condizioni di moto uniforme la velocità media V_0 è legata alle caratteristiche dell'alveo (pendenza, scabrezza, forma della sezione trasversale) e della corrente (profondità, area della sezione liquida, raggio idraulico) dalla legge del moto uniforme, che si esprime a mezzo della formula di Chezy:

$$V_0 = c\sqrt{R_i i}$$

dove c è il coefficiente d'attrito, R_i è il raggio idraulico e i la pendenza del fondo.

Il raggio idraulico è calcolato come rapporto tra l'area di deflusso e il perimetro bagnato, mentre il valore di c può essere calcolato mediante la seguente formula utilizzando il coefficiente di scabrezza m della formula di Kutter per tenere in considerazione le caratteristiche di scabrezza del fondo dell'alveo:

$$c = \frac{100\sqrt{R_i}}{m + \sqrt{R_i}}$$

Il valore del coefficiente m , misura globale di resistenza al moto, è stato scelto a seguito di un'accurata ricognizione dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo.

NATURA DELLE PARETI	γ	m
1. Pareti di cemento perfettamente lisciate o di tavole piallate o tubazioni di eternit	0,06	0,12
2. Pareti di cemento lisciate o di tavole piallate o tubazioni di acciaio senza saldatura	0,10	0,15
3. Pareti di intonaco ordinario, grès ceramico, lamiera sottile con chiodature poco sporgenti, ghisa nuova	0,16	0,20
4. Tubazioni in cem. lisciate, con diametro $> 0,40$ m, o tubazioni in lamiera con molte chiodature	0,18	—
5. Calcestruzzo piano, tubi di cem. con giunture frequenti, ghisa in servizio corrente	0,23	0,25
6. Pareti in cem. non bene lisciate, o pareti di tavole grezze, o di muratura ordinaria molto accurata, o in terra molto regolare, o tubi di ghisa in servizio da molti anni, o tubi in lamiera con moltissime chiodature	0,36	—
7. Pareti di cemento male lisciate, o di pietrame ordinario	0,46	0,55
8. Terra irregolare, calcestruzzo grezzo o vecchio, cement-gun, ghisa vecchia	0,85	0,75
9. Canali in terra con lievi depositi di sabbia sul fondo, o con pareti di muratura in cattive condizioni, o con pareti metalliche o rivestite di lamiera con chiodatura ordinaria	1,00	1,25
10. Terra a sez. irregolare con erbe sporgenti, fiumi naturali in letto regolare	1,30	1,75
11. Canali in terra in cattive condizioni, vegetazione sul fondo e sulle sponde, o depositi irregolari di massi e ghiaia .	1,75	2,50
12. Canali di terra in abbandono, con sezione quasi interamente ostruita dalla vegetazione, o corsi naturali con alveo in ghiaia	2,30	3,00

Coefficienti γ formula di Bazin e coefficienti m della formula di Kutter (da "Manuale tecnico del geometra e del perito agrario" – ed. Signorelli Milano 1973)

Dalla formula di Chezy, ricordando che la portata è data dal prodotto di area di deflusso e velocità della corrente, si può ricavare facilmente che:

$$Q = A_0 c \sqrt{R_i i}$$

dove A_0 rappresenta l'area di deflusso.

Questa relazione lega in modo univoco la portata Q all'altezza h della corrente in condizioni di moto uniforme e può essere chiamata, adottando una locuzione tradizionale dell'idraulica, scala delle portate dell'alveo.

Una volta determinata la scala delle portate, è stato possibile valutare le altezze idriche che si verificano al passaggio di portate comprensive del trasporto solido con tempi di ritorno di 100 e 200 anni in corrispondenza di ciascuna sezione considerata.

Si è dunque proceduto alla determinazione delle altezze idrometriche relative alla sezione di verifica corrispondenti ai valori stimati di portata comprensiva del contributo solido, per i tempi di ritorno di 100 e 200 anni.

CRITERI DI VERIFICA

Al fine della verifica idraulica degli attraversamenti si è scelto di far riferimento ai contenuti del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che fissa i criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico (Direttiva 4).

Nonostante tale normativa abbia attinenza con le infrastrutture ricadenti all'interno delle fasce "A" e "B" (in particolare i ponti e i rilevati di accesso), vi si è fatto riferimento per la determinazione di un metodo di verifica codificato, necessario a valutare la compatibilità degli attraversamenti presenti sui corsi d'acqua oggetto di studio, anche se non ricadenti in tale delimitazione.

Secondo i criteri di verifica contenuti nella direttiva citata, la sezione viene considerata verificata quando il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte risulta maggiore di 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente e in ogni caso superiore a 1 m; inoltre il valore di tale franco deve essere assicurato per almeno 2/3 della luce quando l'intradosso del ponte non è rettilineo.

Tali criteri sono più stringenti rispetto alla natura sia dei corsi d'acqua in esame che dei manufatti in oggetto, pertanto si è deciso di specificare se un attraversamento risulta idraulicamente insufficiente per il non rispetto del franco minimo pari a 1 metro o se perché inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica.

Vista la natura montana dei bacini e le dinamiche torrentizie dei corsi d'acqua che sono caratterizzate da velocità molto elevate e conseguentemente da altezze cinetiche rilevanti, i ponti per i quali il franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso è inferiore a 0,5 volte l'altezza cinetica della corrente, pur verificato il franco minimo pari a 1.00 m, sono segnalati con campitura gialla.

6.0 CONCLUSIONI

Dalle considerazioni fatte e dai calcoli delle portate e dei livelli idrici esposti nei paragrafi precedenti è stato possibile fare una ricognizione di quali sono gli attraversamenti per i quali la sezione idraulica risulta idonea a garantire il deflusso dell'ondata di piena con tempi di ritorno di 100 e 200 anni.

I risultati delle valutazioni analitiche sono stati riassunti in apposite schede riassuntive delle criticità (cfr. El. LCOXX_E6) e cartografati nelle tavole riassuntive delle criticità rilevate (cfr. Tav. LCOXX_T2). Si evidenzia che le suddette schede riportano oltre che i risultati delle verifiche idrauliche anche note riguardanti la presenza di situazioni problematiche come presenza di vegetazione e/o accumulo di materiale in corrispondenza della luce dei manufatti.

I risultati sono stati divisi in diverse categorie, sulla base della loro situazione di criticità:

- Ponti per i quali le caratteristiche geometriche della sezione idraulica non sono sufficienti a garantire il passaggio delle portate di progetto;
- Ponti per i quali il franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte è inferiore al franco minimo di 1.00 m;
- Ponti per i quali il franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso del ponte è superiore sia a 0.5 volte l'altezza cinetica della corrente e anche al franco minimo pari a 1.00 m, considerati pienamente verificati;
- Ponti che non sono stati verificati idraulicamente in quanto non ricadono nelle aree di rischio R3-R4, ma viste le caratteristiche geometriche delle sezioni e le portate di progetto si ritengono insufficienti dal punto di vista idraulico e dunque non verificati;
- Ponti che non sono stati verificati idraulicamente in quanto non ricadenti nelle aree di rischio R3, R4.
- Ponti non ricadenti nelle aree di rischio R3, R4, ma oggetto di verifica idraulica a seguito di segnalazioni puntuali di criticità.