

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**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

PROGETTO

**MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA - LC051
COMUNE DI BALLABIO (LC)**

ELABORATO

R4. RELAZIONE IDRAULICA

SCALA

/

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@protealingegneria.it
P. IVA: 03388100137

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

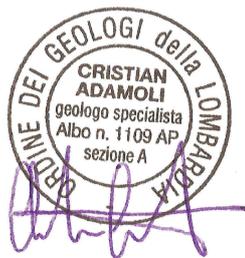


Studio Tecnico Agostoni

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



REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
1	Dicembre 2017	Prima emissione	F. C.	Cl. A.	Cl. A.
2					
3					

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

MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

1.	<u>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</u>	<u>2</u>
2.	<u>INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDRAULICO DEL BACINO</u>	<u>3</u>
3.	<u>STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE GRIGNA</u>	<u>5</u>
3.1	DETERMINAZIONE DELLA CURVA DI POSSIBILITÀ CLIMATICA PUNTUALE (O DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA)	5
3.2	DETERMINAZIONE DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	8
3.3	DETERMINAZIONE DELLA MASSIMA ALTEZZA DI PRECIPITAZIONE	8
3.4	DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	8
3.5	DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA	10
4.	<u>VERIFICA DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI</u>	<u>11</u>
4.1	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ STATO DI FATTO	11
4.2	VERIFICA DI COMPATIBILITÀ STATO DI PROGETTO	16
5.	<u>CONCLUSIONI</u>	<u>18</u>



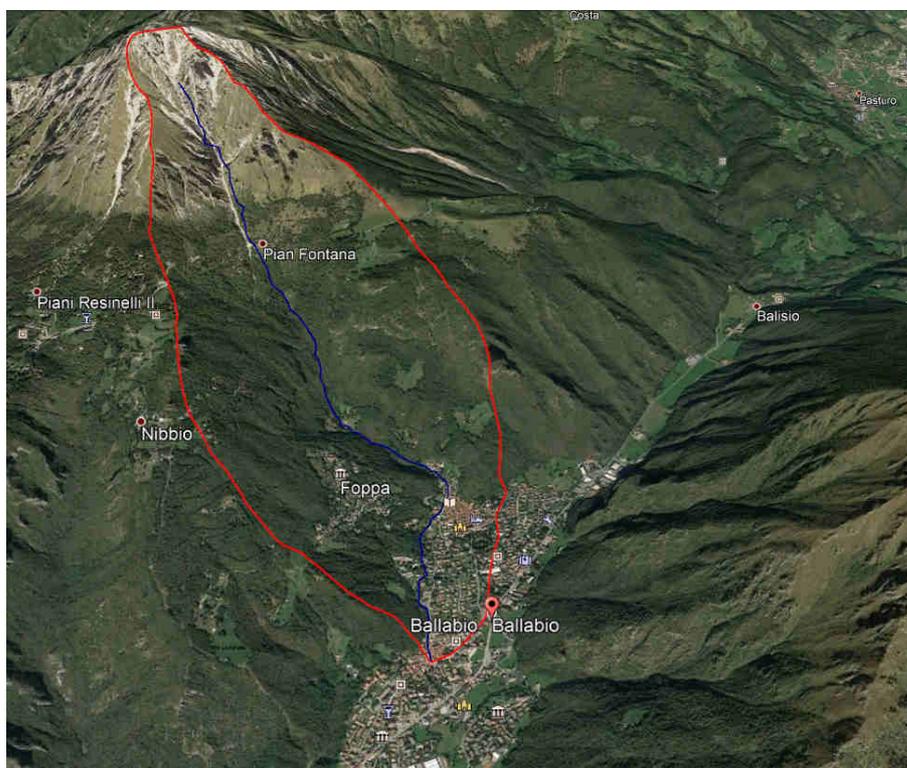
1. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il Torrente Grigna ha origine sul versante Sud-Est della Grigna Meridionale, anche conosciuta come “Grignetta”.

Il torrente scorre attraverso la Val Grande e successivamente attraverso il centro abitato di Ballabio, per poi confluire infine nel Torrente Caldone a quota 405 m s.l.m. circa in territorio comunale di Lecco (LC).

Il bacino idrografico, ponendo la sezione di chiusura in corrispondenza del centro abitato di Ballabio, in particolar modo presso Piazza San Lorenzo a quota 660 m s.l.m. circa, poco a valle dell’area dove sono previsti gli interventi in progetto, ha una superficie di circa 4,27 km², l’asta principale del torrente si snoda per una lunghezza di circa 4,67 km con una pendenza media del 32%.

La quota massima del bacino idrografico è situata a quota 2.178,5 m s.l.m. in corrispondenza della vetta della Grigna Meridionale.



Estratto Google Earth indicante il Torrente Grigna ed il bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura.

2. INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDRAULICO DEL BACINO

Il Torrente Grigna, nella parte alta del bacino, non presenta importanti opere di regimazione idraulica, che invece ritroviamo nel tratto in corrispondenza del centro abitato di Ballabio, dove sono presenti attraversamenti, briglie, soglie, rivestimenti del fondo alveo, tratti tombinati e difese spondali.

Nella parte alta del bacino, i depositi di versante sono presenti estesamente lungo le pendici degradanti della Grigna Meridionale; nello specifico, gli accumuli detritici in attivo accrescimento o comunque non stabilizzati, sono presenti alle quote più elevate del bacino, al piede delle pareti rocciose della Grigna Meridionale, e sono attivamente aggrediti da processi di degradazione fisica, quindi soggetti a crolli. Accumuli detritici sono presenti anche alle quote più basse del bacino, ma in tal caso sono frequentemente inattivi e stabilizzati, ricoperti da suolo e vegetazione.

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

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

Le forme fluviali presenti sono derivate dal modellamento, sia per erosione sia per accumulo, operato dalle acque correnti torrentizie; pertanto il reticolo idrografico appare particolarmente articolato. I torrenti si sviluppano in direzioni differenti e pur essendo caratterizzati da un'intensa attività erosiva, localmente possono dare luogo a forme di accumulo. Inoltre, il reticolo idrografico risulta più ramificato in corrispondenza dei depositi di versante e morenici.

Su tutto il versante, pur prevalendo i processi erosivi, si rilevano depositi detritici relativamente estesi e spessi, in prevalenza alla base delle pareti rocciose; tali depositi, originatisi per opera della forza di gravità, possono essere in secondo tempo rimaneggiati a causa delle acque non incanalate e dare origine a trasporto di massa.

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

L'evolvere dei fenomeni erosivi può favorire lo sviluppo di forme di dissesto, anche se di limitata estensione, in relazione alla natura del substrato ed all'energia del rilievo, da fenomeni di soliflusso e creep diffuso sino a distacchi della copertura regolitica ed al coinvolgimento del substrato ove questo si

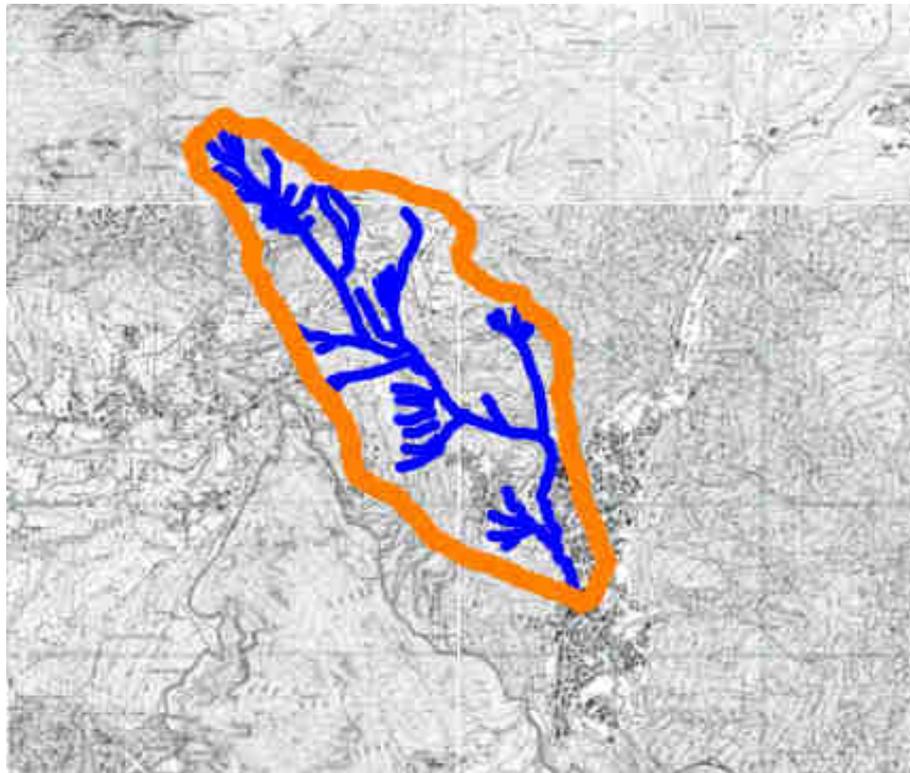
**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA
MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

presenta maggiormente fratturato. Tali condizioni sono rilevate soprattutto in prossimità della Località Pian della Fontana e lungo la Costa di Vaccarese.

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

La superficie del bacino del Torrente Grigna, ponendo la sezione chiusura in corrispondenza del centro abitato di Ballabio, in particolar modo presso Piazza San Lorenzo a quota 660 m s.l.m. circa, poco a valle dell'area dove sono previsti gli interventi in progetto, è pari a circa 4,27 km², mentre l'asta principale del torrente si snoda per una lunghezza di circa 4,67 km con una pendenza media del 32%. La quota massima del bacino idrografico è situata a quota 2.178,5 m s.l.m. in corrispondenza della vetta della Grigna Meridionale, mentre l'altitudine media del bacino risulta essere di 1.419,25 m s.l.m..



Estratto CTR – Bacino idrografico del Torrente Grigna sotteso alla sezione di chiusura.

3. STIMA DELLA PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE GRIGNA

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.

I fondamenti delle procedure utilizzate per la redazione del presente studio sono stati tratti dalla bibliografia, nonché dalle direttive del Piano Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI) sulle piene di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica recanti le indicazioni per il calcolo delle portate di piena sui bacini idrografici di piccole dimensioni.

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.

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

Dove:

- Q Portata al colmo in m^3/s ;
c Coefficiente di deflusso;
i Intensità di pioggia in mm/h ;
A Superficie del bacino in km^2 .

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 corrivazione t_c del bacino.

3.1 **Determinazione della curva di possibilità climatica puntuale (o di probabilità pluviometrica)**

La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è effettuata attraverso la determinazione della curva di probabilità pluviometrica, cioè della relazione che lega l'altezza di precipitazione (comunemente misurata in mm rappresenta l'altezza d'acqua che si formerebbe al suolo

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA
MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

su una superficie orizzontale e impermeabile in assenza di perdite) alla sua durata, per un assegnato tempo di ritorno.

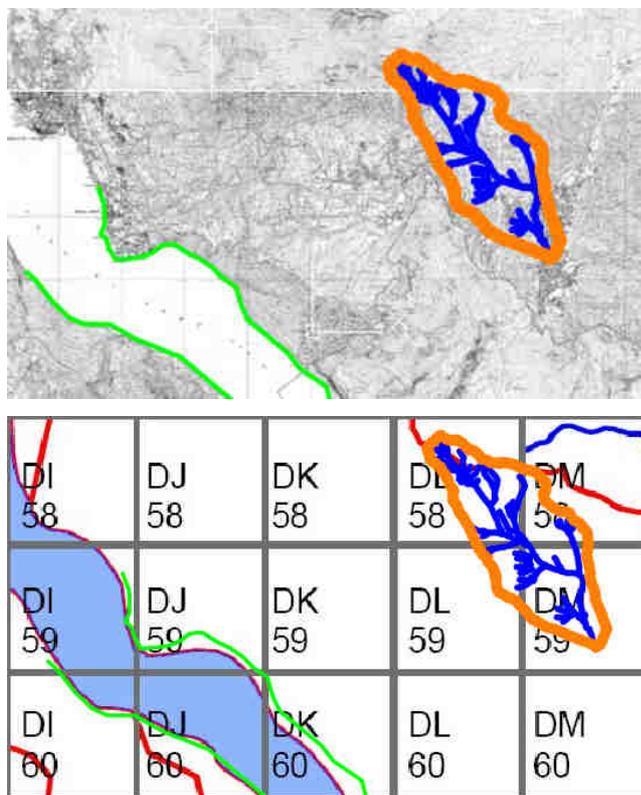
La curva di probabilità pluviometrica è comunemente espressa dalla seguente equazione:

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

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 al bacino 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 dai valori stimati dall'Autorità di Bacino ed in particolare dall'Allegato 3 alla direttiva: *"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, all'interno del quale sono state utilizzate le serie storiche delle precipitazioni intense riportate negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano relative ai massimi annuali delle precipitazioni della durata di 1, 3, 6, 12, 24 ore consecutive.

L'individuazione della cella del reticolo chilometrico è stata desunta dallo stesso allegato; di cui di seguito se ne riporta uno stralcio.



Inquadramento del bacino del Torrente Grigna sotteso all'interno della Tavola 3 dell'Allegato 3 del PAI.

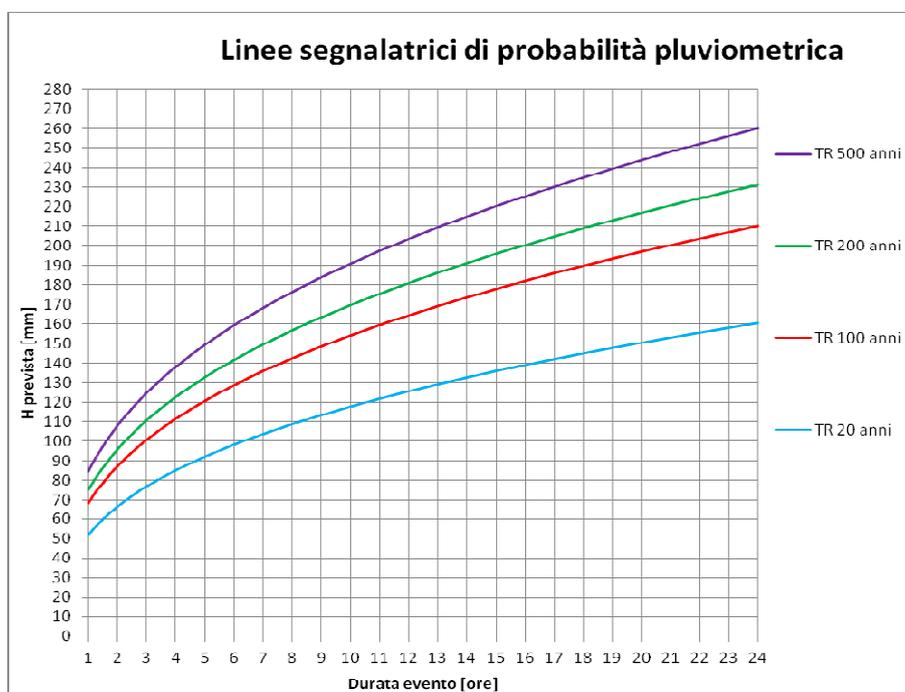
**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA**

MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

Pertanto il bacino di nostro interesse ricade principalmente all'interno delle celle DL58 e DM59 ed in parte minore nelle celle DL59 e DM58 le quali sono caratterizzate dai seguenti parametri a ed n per i diversi tempi di ritorno (il valore medio è stato definito pesandolo sulla base della superficie ricadente all'interno del bacino per ogni cella):

TEMPO DI RITORNO (anni)	20		100		200		500	
CELLA	a	n	a	n	a	n	a	n
DL58	57,90	0,329	74,62	0,322	81,74	0,320	91,15	0,317
DL59	58,54	0,327	75,30	0,321	82,44	0,319	91,88	0,317
DM58	57,43	0,327	74,15	0,319	81,28	0,317	90,70	0,314
DM59	57,99	0,325	74,72	0,318	81,85	0,316	91,27	0,313
Media	57,99	0,327	74,72	0,320	81,85	0,318	91,27	0,315



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

Dal rapporto tra la curva di possibilità pluviometrica e la durata dell'evento di pioggia, è possibile ricavare il valore dell'INTENSITA' MEDIA DELLA PRECIPITAZIONE:

$$i(d,T) = a d^{n-1}$$

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, oltre che gli idrogrammi di piena, anche 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.

Poiché il tempo di corrivazione del bacino t_c , oltre che il tempo che impiega la precipitazione caduta nel punto 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.

3.2 Determinazione del tempo di corrivazione

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:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{(H_m - H_o)}}$$

Dove:

- A Superficie del bacino in km²;
- L Lunghezza asta principale in km;
- H_m Altitudine media bacino in m s.l.m.;
- H_o Altitudine minima bacino in m s.l.m..

3.3 Determinazione della massima altezza di precipitazione

Il tempo di ritorno così calcolato è risultato essere pari a 0,69 ore; pertanto, per tale tempo di progetto del bacino in esame sono stati ottenuti i seguenti valori di massima precipitazione espressi in mm:

TEMPO DI RITORNO (anni)	h (mm)
20	51,44
100	66,46
200	72,85
500	81,32

3.4 Determinazione del coefficiente di deflusso

Il coefficiente di deflusso c rappresenta il rapporto tra gli afflussi meteorici e i corrispondenti deflussi superficiali; per la determinazione di tale coefficiente si deve tenere conto in modo implicito di tutti gli elementi che possono determinare la relazione tra portata al colmo ed intensità di pioggia, tra cui le caratteristiche geomorfologiche del bacino e la sua copertura vegetale. Si deduce che la determinazione del valore di tale coefficiente è di difficile stima ed è possibile solamente quando si disponga sia di serie storiche di pioggia sia di portata.

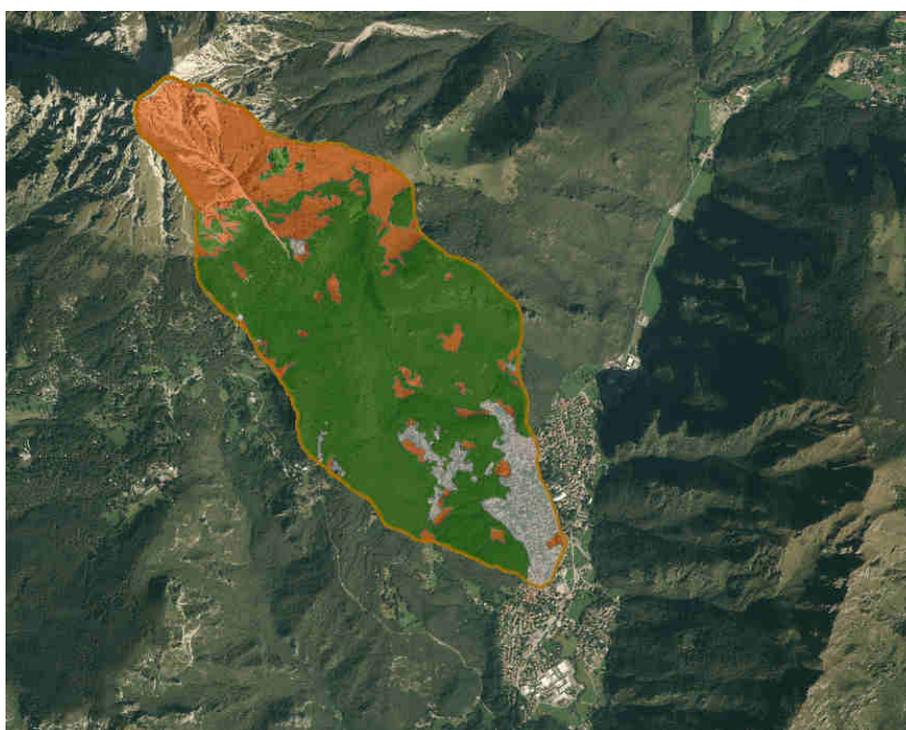
La poca disponibilità di dati in tal senso ha reso obbligatoria la determinazione di tale valore facendo riferimento alla bibliografia assegnando il valore del coefficiente di deflusso sulla base dell'uso del suolo.

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA
MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

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

- CLASSE 1 - AREE ANTROPIZZATE, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,75;
- CLASSE 2 - AREE AGRICOLE (in questa classe sono comprese anche quelle aree naturali caratterizzate da praterie d'alta quota o accumuli detritici caratterizzati da assenza di specie arboree ed arbustive), per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,40;
- CLASSE 3 - TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI caratterizzati dalla presenza di specie arboree ed arbustive, per la quale il coefficiente di deflusso è stato assunto pari a 0,30.



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

Come si può notare dall'immagine sovrastante, il bacino idrografico del Torrente Grigna, nella sua parte alta è caratterizzato da praterie naturali d'alta quota, accumuli detritici ed affioramenti litoidi privi di vegetazione arbustiva ed arborea, quindi, nella parte centrale i terreni sono in prevalenza boscati e seminaturali, mentre nella parte bassa prevalgono le zone urbanizzate.

I valori di superficie delle tre diverse categorie DUSAF e conseguentemente il valore del coefficiente c , determinato tramite una media pesata delle grandezze in oggetto, per l'intero bacino sono sintetizzati dalla seguente tabella:

$$C_{medio} = \frac{\sum (A_i * c_i)}{\sum A_{TOT}}$$

CLASSE	Superficie (km ²)	c
Classe 1 – Area Antropizzata	0,464	0,75
Classe 2 – Area Agricola	1,106	0,40
Classe 3 – Area Boscata	2,703	0,30
MEDIA PONDERATA		0,37

3.5 **Determinazione della portata di massima piena**

Il calcolo della portata liquida di massima piena è stato quindi eseguito utilizzando la FORMULA DEL METODO RAZIONALE riportata in precedenza per i diversi tempi di ritorno.

A questo valore si deve aggiungere quello relativo al trasporto solido per il cui calcolo non sono state utilizzate le formule proposte dalla letteratura, in quanto non applicabili essendo la pendenza media del Torrente Grigna alla sezione di chiusura da noi considerata superiore al 20%.

La portata solida trasportata dalle acque è stata quindi ipotizzata considerando anche quanto riportato in precedenza nell'inquadramento idrogeologico ed idraulico, dove le pendici della Grigna Meridionale venivano descritte con diverse criticità dovute a dissesti di crollo e possibili fenomeni di colamento rapido, fatta eccezione per la portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 20 anni, per la quale il trasporto solido si considera trascurabile.

I valori relativi alla portata complessiva (solido – liquida) del Torrente Grigna, alla sezione di chiusura considerata presso Piazza San Lorenzo, nei diversi tempi di ritorno sono riportati nella seguente tabella:

TEMPO DI RITORNO (anni)	Portata Liquida Q _{LIQ} (m ³ /s)	Portata Solida Q _S (m ³ /s)	Q _{TOT} (m ³ /s)
20	33,04	-	33,04
100	42,68	21,34	64,02
200	46,79	23,39	70,18
500	52,22	26,11	78,34

4. VERIFICA DI COMPATIBILITA' IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI

Nel presente capitolo si vogliono presentare le verifiche di compatibilità idraulica relative agli attraversamenti esistenti in corrispondenza dell'area di intervento 1:

- Passerella pedonale di Via Stoppani a quota 662 m s.l.m. circa (sigla di riferimento dell'attraversamento 51_5);
- Ponte ad arco di Via Gioberti a quota 665 m s.l.m. circa (sigla di riferimento dell'attraversamento 51_6).

Entrambi gli attraversamenti erano già stati oggetto di verifica di compatibilità idraulica, relativamente allo stato di fatto dei luoghi, nel precedente Studio del Dicembre 2016 sulla base di rilievi speditivi; tuttavia, dal momento che per la presente progettazione preliminare gli stessi sono stati oggetto di rilievo mediante strumentazione topografica durante un apposito sopralluogo, si è voluto rieseguire le verifiche di compatibilità idraulica sulla base della geometria rilevata tramite lo strumento topografico.

Nel proseguo del capitolo verranno quindi presentate le verifiche di compatibilità di entrambi gli attraversamenti relative sia allo stato di fatto dei luoghi sia allo stato di progetto con gli interventi previsti in corrispondenza dell'area di intervento 1.

Le verifiche di compatibilità idraulica sono eseguite mediante l'analisi con moto uniforme utilizzando le seguenti formule:

FORMULE (moto uniforme)		
Portata	$Q = AV$	dove A = Area di deflusso V = Velocità di deflusso
Velocità di deflusso	$V = c\sqrt{R_i p}$	dove c = coefficiente di attrito R _i = raggio idraulico p = pendenza
Coefficiente di attrito	$c = \frac{100\sqrt{R_i}}{m + \sqrt{R_i}}$	dove m = Coeff. Di scabrosità di Kutter

4.1 Verifica di compatibilità stato di fatto

PASSERELLA PEDONALE DI VIA STOPPANI (Sigla attraversamento 51_5)

La passerella pedonale di Via Stoppani è costituita da un ponte in putrelle di acciaio e mattoni avente l'intradosso dell'impalcato ad un'altezza di 1,70 m dal fondo alveo costituito da cemento e pietrame lastricato. La larghezza dell'impalcato è pari a 2,00 m, mentre la larghezza dell'alveo è pari a 5,40 m.

Ad una distanza di 1,60 m a monte della sezione di ingresso della passerella è situata una soglia in calcestruzzo (Soglia S1) di altezza totale al centro dell'alveo pari a 66 cm, suddivisi in due salti, uno di altezza 15 cm ed uno di altezza 51 cm.

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA
MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)**

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

Durante il rilievo si è potuto osservare come in sponda idrografica destra sia presente un balcone a sbalzo sul corso d'acqua che collega la passerella pedonale all'ingresso di una abitazione. Tale balcone riduce l'altezza della sezione libera in corrispondenza della soglia a 1,10 m in sponda idrografica destra.

Per questo motivo si ritiene corretto considerare come sezione critica da verificare in questo punto, non più la sezione di ingresso della passerella pedonale, bensì quella in corrispondenza della Soglia S1, in quanto la presenza del balcone a sbalzo potrebbe facilitare l'incastro del materiale solido trasportato dalla corrente con possibile effetto di sbarramento parziale della sezione libera ed ulteriore restringimento della stessa con conseguenti problematiche sia al balcone sia alla passerella pedonale vista la vicinanza tra le due sezioni.



Vista da monte della sezione in corrispondenza della Soglia S1.

Per l'esecuzione della verifica di compatibilità idraulica la sezione è stata assunta come rettangolare, avente altezza massima di 1,10 m, base di 5,40 m, pendenza dell'alveo pari a 2,93% (rilevata con strumento topografico) e coefficiente di scabrosità di Kutter pari a 0,55 (pareti di cemento male lisceate o di pietrame ordinario).

CARATTERISTICHE SEZIONE			
DATI NOTI (da inserire)			
H	⇒ 1,10	ALTEZZA [m]	
a	⇒ 5,40	[m]	
h	⇒ 1,22	[m]	
p	⇒ 2,93%	Pendenza	
m	⇒ 0,55	Coeff. di scabrosità di Kutter	
DATI RISULTANTI			
Contorno bagnato	$P_b = a + 2h$	⇒	7,840 [m]
Area di deflusso	$A = ah$	⇒	6,5880 [m ²]
Raggio idraulico	$R_i = \frac{A}{P_b}$	⇒	0,840 [m]

**STUDIO IDROGEOLOGICO ED IDRAULICO A SCALA DI SOTTOBACINI IDROGRAFICI
DEL COMPRESORIO DELLA C.M.L.O.V.S.M., FINALIZZATO ALLA DEFINIZIONE
DEGLI INTERVENTI PRIORITARI DI SISTEMAZIONE E DIFESA IDRAULICA
MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)**

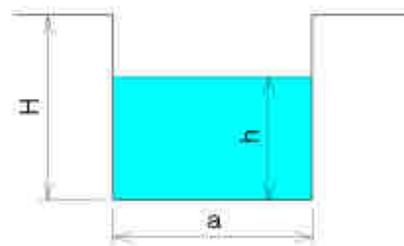
PROGETTAZIONE PRELIMINARE

**CAPACITA' DI SMALTIMENTO
SEZIONE IDRAULICA DI FORMA RETTANGOLARE**

CARATTERISTICHE SEZIONE

H	1,10	ALTEZZA [m]	p	2,9%	Pendenza
a	5,40	[m]	m	0,55	Coeff. di scabrosità di Kutter

h [m]	Q[m ³ /sec]
0,1	0,35
0,1	1,23
0,2	2,51
0,2	4,13
0,3	6,04
0,3	8,21
0,4	10,61
0,4	13,21
0,5	15,99
0,6	18,95
0,6	22,06
0,7	25,31
0,7	28,70
0,8	32,21
0,8	35,93
0,9	39,56
0,9	43,39
1,0	47,31
1,0	51,32
1,1	55,41



h = altezza d'acqua
Q = portata all'altezza d'acqua corrispondente

Grafico Portata / Altezza idrometrica



Dai risultati ottenuti si può osservare come la sezione libera smaltisce al massimo 55,41 m³/s, ossia un valore inferiore sia alla portata di massima piena centennale (64,02 m³/s) sia duecentennale (70,18 m³/s); pertanto la sezione in corrispondenza della Soglia S1 risulta **non verificata ed idraulicamente insufficiente**.



PONTE AD ARCO DI VIA GIOBERTI (Sigla attraversamento 51_6)

Il ponte ad arco di Via Gioberti è costituito da un impalcato in calcestruzzo e pietrame avente massima altezza dell'intradosso in corrispondenza del centro alveo pari a 1,60 m, mentre ai lati l'altezza si riduce a 0,83 m. Il fondo alveo è costituito da cemento e pietrame lastricato con larghezza pari a 6,00 m e pendenza dell'1,78%. La larghezza dell'impalcato è di circa 4,00 m.

A valle ed a monte dell'attraversamento, ad una distanza rispettivamente di 5,50 m dalla sezione di chiusura e di 7,00 m dalla sezione di ingresso, sono presenti la Soglia S2, di altezza 49 cm, e la Soglia S3, di altezza 50 cm a centro alveo.



Vista da valle dell'attraversamento in oggetto.

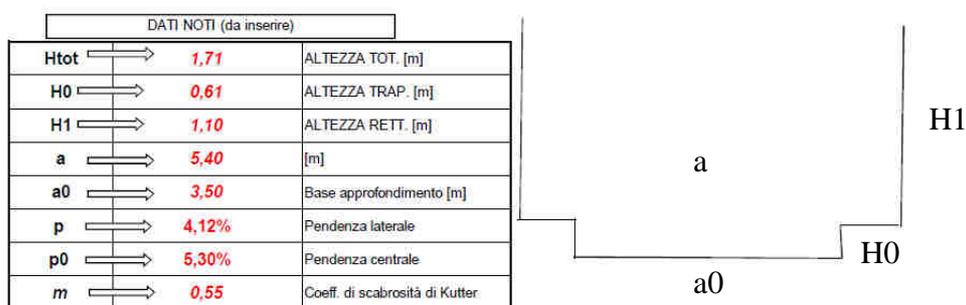
Per l'esecuzione della verifica di compatibilità idraulica è stata considerata la sezione d'ingresso dell'attraversamento schematizzata con le seguenti caratteristiche:

4.2 Verifica di compatibilità stato di progetto

Facendo riferimento agli interventi descritti nella “Relazione tecnico-illustrativa” e sulle tavole allegate per quanto riguarda l’area di intervento 1, sono state rieseguite le verifiche di compatibilità idraulica, relativamente alle sezioni analizzate in precedenza, considerando lo stato di progetto al termine dei lavori, ossia con l’abbassamento e l’aumento di pendenza della parte centrale dell’alveo dove normalmente scorre la portata di magra del corso d’acqua.

PASSERELLA PEDONALE DI VIA STOPPANI (Sigla attraversamento 51_5)

Rispetto allo stato di fatto la parte centrale dell’alveo di larghezza 3,50 m subisce un abbassamento, in corrispondenza della sezione considerata (Soglia S1) di 61 cm, mentre la nuova pendenza di fondo alveo è pari al 5,30%.



Utilizzando le formule presentate in precedenza si può osservare che la nuova sezione è in grado di smaltire una portata superiore sia a quella centennale sia a quella duecentennale con le seguenti caratteristiche:

Altezza h (m)	Perimetro bagnato Pb (m)	Area bagnata A (m ²)	Velocità (m/s)	Q _{Smaltita} (m ³ /s)
1,33	8,050	5,996	10,69	64,115 > Q ₁₀₀
1,40	8,200	6,401	11,05	70,707 > Q ₂₀₀

A seguito dell’intervento in progetto la portata di massima piena centennale del Torrente Grigna passa in corrispondenza della sezione considerata con un **franco di 38 cm** rispetto all’intradosso del balcone a sbalzo presente in sponda destra, mentre la portata di piena duecentennale passa con un **franco di 31 cm**.

PONTE AD ARCO DI VIA GIOBERTI (Sigla attraversamento 51_6)

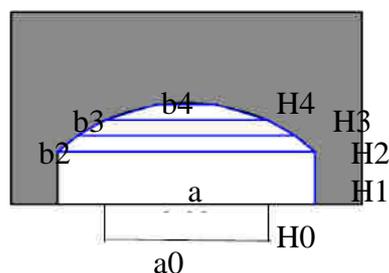
Rispetto allo stato di fatto la parte centrale dell’alveo di larghezza 3,50 m subisce un abbassamento, in corrispondenza della sezione considerata (ingresso ponte ad arco) di 19 cm, mentre la nuova pendenza di fondo alveo è pari al 4,56%.

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

MESSA IN SICUREZZA TORRENTE GRIGNA – LC051 – COMUNE DI BALLABIO (LC)

PROGETTAZIONE PRELIMINARE

DATI NOTI (da inserire)		
H _{tot}	1,79	ALTEZZA TOT. [m]
H ₀	0,19	ALTEZZA TRAP. [m]
H ₁	0,83	ALTEZZA RETT. [m]
H ₂	0,77	ALTEZZA ARCO [m]
0.95*H ₂	0,73	
(0.95*H ₂)/3	0,24	ALTEZZA 1/3 ARCO [m]
h ₂	0,24	ALTEZZA idrica pt 2 [m]
h ₃	0,24	ALTEZZA pt 3 [m]
h ₄	0,24	ALTEZZA pt 4 [m]
b ₂	5,05	Base minore trapezio 2 [m]
b ₃	3,76	Base minore trapezio 3 [m]
a	6,00	[m]
a ₀	3,50	Base approfondimento [m]
p	3,17%	Pendenza laterale
p ₀	4,56%	Pendenza centrale
m	0,55	Coeff. di scabrosità di Kutter



Utilizzando le formule presentate in precedenza si può osservare che la nuova sezione è in grado di smaltire una portata superiore sia a quella centennale sia a quella duecentennale con le seguenti caratteristiche:

Altezza h (m)	Perimetro bagnato Pb (m)	Area bagnata A (m ²)	Velocità (m/s)	Q _{Smaltita} (m ³ /s)
1,20	8,585	6,6585	9,65	64,271 > Q ₁₀₀
1,28	8,864	7,1167	9,89	70,351 > Q ₂₀₀

A seguito dell'intervento in progetto la portata di massima piena centennale del Torrente Grigna passa in corrispondenza della sezione considerata con un **franco di 59 cm** rispetto al centro dell'intradosso del ponte ad arco, mentre la portata di piena duecentennale passa con un **franco di 51 cm**.

5. CONCLUSIONI

La relazione di compatibilità idraulica è stata redatta così come previsto dalle vigenti normative.

La portata di massima piena di riferimento è stata calcolata utilizzando il “Metodo Razionale” proposto nella “Direttiva 2 – Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica” del PAI. È inoltre stato considerato un trasporto solido del corso d’acqua, sulla base delle caratteristiche geomorfologiche ed idrogeologiche del bacino, pari al 50% della portata liquida.

Le verifiche di compatibilità idraulica sono state eseguite, utilizzando le formule del moto uniforme, in corrispondenza delle due sezioni ritenute a più alto grado di criticità, considerando sia lo stato di fatto sia lo stato di progetto.

Le verifiche di compatibilità idraulica relative allo stato di fatto dei luoghi hanno mostrato come in entrambi i casi la sezione risulti non verificata in quanto idraulicamente insufficiente al passaggio della portata di massima piena centennale.

Le verifiche di compatibilità idraulica relative allo stato di progetto (demolizione della parte centrale delle Soglie S1 ed S2 con aumento della pendenza del centro alveo) hanno mostrato come le sezioni permettano di smaltire una portata superiore a quella di massima piena sia centennale sia duecentennale con un franco rispettivamente pari a 38 e 31 cm, in corrispondenza della Soglia S1, e di 59 e 51 cm, in corrispondenza dell’ingresso dell’attraversamento di Via Gioberti.

Concludendo si ritiene pertanto che le opere in progetto permettano una messa in sicurezza ed il passaggio delle portate di massima piena centennale e duecentennale, seppur con un franco di sicurezza minimo ed inferiore al metro, in corrispondenza dei due attraversamenti, premesso che l’alveo venga mantenuto in buono stato di manutenzione senza presenza di vegetazione e di materiale depositato all’interno dell’alveo e sulle sponde.

