



# COMUNE DI VALBONDIONE

## Provincia di Bergamo

**VERIFICA DELLA COMPATIBILITÀ IDRAULICA DELLE PREVISIONI  
DEGLI STRUMENTI URBANISTICI E TERRITORIALI RICADENTI IN AREE  
CHE RISULTANO SOGGETTE A POSSIBILE ESONDAZIONE DI UN  
TRATTO DEL FIUME SERIO IN LOCALITÀ CASA CORTI**

*TITOLO ELABORATO*

### RELAZIONE TECNICA

N. PRATICA	TIPOLOGIA	FASE PROG.	SCALA	ELABORATO
08_055	IDR	-	-	<b>A</b>

REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE
0	Agosto 2013	Prima emissione
1	-	-
2	-	-
3	-	-

PROGETTISTI



di S. Ghilardi & C. s.n.c.  
24020 RANICA (Bergamo)  
Via Tezze, 1  
Telefono e Fax: 035.340112  
E - Mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI  
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI  
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057

## SOMMARIO

<b>1</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>METODOLOGIE .....</b>	<b>4</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE E IDROLOGICHE DEL BACINO DEL FIUME SERIO.....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA D'INDAGINE.....</b>	<b>14</b>
<b>6</b>	<b>RILIEVO TOPOGRAFICO MEDIANTE LASER SCAN .....</b>	<b>20</b>
	<b>6.1 La strumentazione laser scan.....</b>	<b>20</b>
	<b>6.2 Principali fonti di errori nei dati laser scan.....</b>	<b>22</b>
	<b>6.3 Calibrazione.....</b>	<b>24</b>
	<b>6.4 Acquisizione del rilievo .....</b>	<b>24</b>
	<b>6.5 Elaborazione.....</b>	<b>25</b>
	<b>6.6 Classificazione .....</b>	<b>27</b>
	<b>6.7 Ortofoto.....</b>	<b>29</b>
	<b>6.8 Inquadramento geodetico del rilievo laser scan .....</b>	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>STUDIO IDROLOGICO .....</b>	<b>32</b>
	<b>7.1 Premessa .....</b>	<b>32</b>
	<b>7.2 Studio morfometrico dei corsi d'acqua in esame .....</b>	<b>33</b>
	7.2.1 Analisi morfologica delle reti di drenaggio naturali finalizzata alla caratterizzazione della risposta idrologica.....	33
	7.2.2 Descrizione dei principali parametri morfologici.....	36
	<b>7.3 Curve di possibilità pluviometrica.....</b>	<b>45</b>
	7.3.1 Elaborazioni PAI .....	45
	7.3.2 Elaborazioni da stazioni puntuali.....	46
	7.3.3 Confronto tra curve di possibilità pluviometrica .....	49
	<b>7.4 Ietogramma sintetico di progetto e depurazione delle perdite ....</b>	<b>51</b>
	7.4.1 Ietogramma di progetto .....	51
	7.4.2 Depurazione delle perdite.....	52
	<b>7.5 Calcolo della portata massima di piena .....</b>	<b>54</b>
	7.5.1 Descrizione delle formule utilizzate.....	56
	<b>7.6 Confronto dei valori di portata al colmo .....</b>	<b>65</b>



7.6.1	Fiume Serio monte confluenza .....	65
7.6.2	Torrente Bondione .....	66
7.6.3	Fiume Serio valle confluenza .....	67
	<b>7.7 Confronto dei risultati ottenuti con altri studi .....</b>	<b>68</b>
	<b>7.8 Portate conclusive utilizzate nel modello idraulico .....</b>	<b>69</b>
<b>8</b>	<b>STUDIO IDRAULICO .....</b>	<b>71</b>
	<b>8.1 Metodologie e verifiche .....</b>	<b>71</b>
	<b>8.2 Definizione del programma di calcolo.....</b>	<b>72</b>
	<b>8.3 Scelte progettuali di calcolo .....</b>	<b>77</b>
	8.3.1 Coefficiente di scabrezza.....	77
	8.3.2 Condizioni al contorno.....	82
<b>9</b>	<b>RISULTATI: GRAFICI .....</b>	<b>84</b>
	<b>9.1 Sezioni .....</b>	<b>85</b>
	9.1.1 Fiume Serio .....	85
	9.1.2 Torrente Bondione .....	90
	<b>9.2 Profili.....</b>	<b>92</b>
	9.2.1 Fiume Serio .....	92
	9.2.2 Torrente Bondione .....	93
	<b>9.3 Vista 3D.....</b>	<b>94</b>
<b>10</b>	<b>RISULTATI: TABELLE RIASSUNTIVE .....</b>	<b>95</b>
	<b>10.1 Fiume Serio.....</b>	<b>96</b>
	<b>10.2 Torrente Bondione .....</b>	<b>97</b>
<b>11</b>	<b>CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI CONSEGUITI DAI MODELLI IDRAULICI - (TR 200 ANNI).....</b>	<b>98</b>
	<b>11.1 Fiume Serio.....</b>	<b>98</b>
	<b>11.2 Torrente Bondione .....</b>	<b>98</b>
<b>12</b>	<b>PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE .....</b>	<b>100</b>
	<b>12.1 Aree esondabili, Zonazione della pericolosità e proposta della carta dei dissesti .....</b>	<b>100</b>
<b>13</b>	<b>CONSIDERAZIONE SUI RISULTATI OTTENUTI E LE PREVISIONI URBANISTICHE DI PIANO .....</b>	<b>105</b>
	<b>13.1 Note tecniche.....</b>	<b>105</b>
	<b>13.2 Accorgimenti costruttivi per le aree classificate in Em (e nelle aree Eb per gli interventi compatibili).....</b>	<b>110</b>



## 1 PREMESSA

Su incarico del Comune di Valbondione, è stata svolta la verifica della compatibilità idraulica delle previsioni degli strumenti urbanistici e territoriali e/o delle proposte di uso del suolo, ricadenti in aree che risultino soggette a possibile esondazione da parte del Fiume Serio e del Torrente Bondione (immissario del Fiume Serio) in Comune di Valbondione (Bergamo).

In seguito ai risultati ottenuti è stata ricostruita la carta dell'esondazione potenziale e la nuova definizione di rischio idraulico tradotte con simbologie legate alla legenda della carte del rischio geologico a supporto del P.G.T.



## 2 METODOLOGIE

Le verifiche idrauliche sono state condotte secondo le disposizioni legislative in materia di polizia idraulica ed hanno tenuto conto nei calcoli idraulici e nella definizione delle portate al colmo con vari tempi di ritorno.

Lo studio è stato redatto tenendo conto:

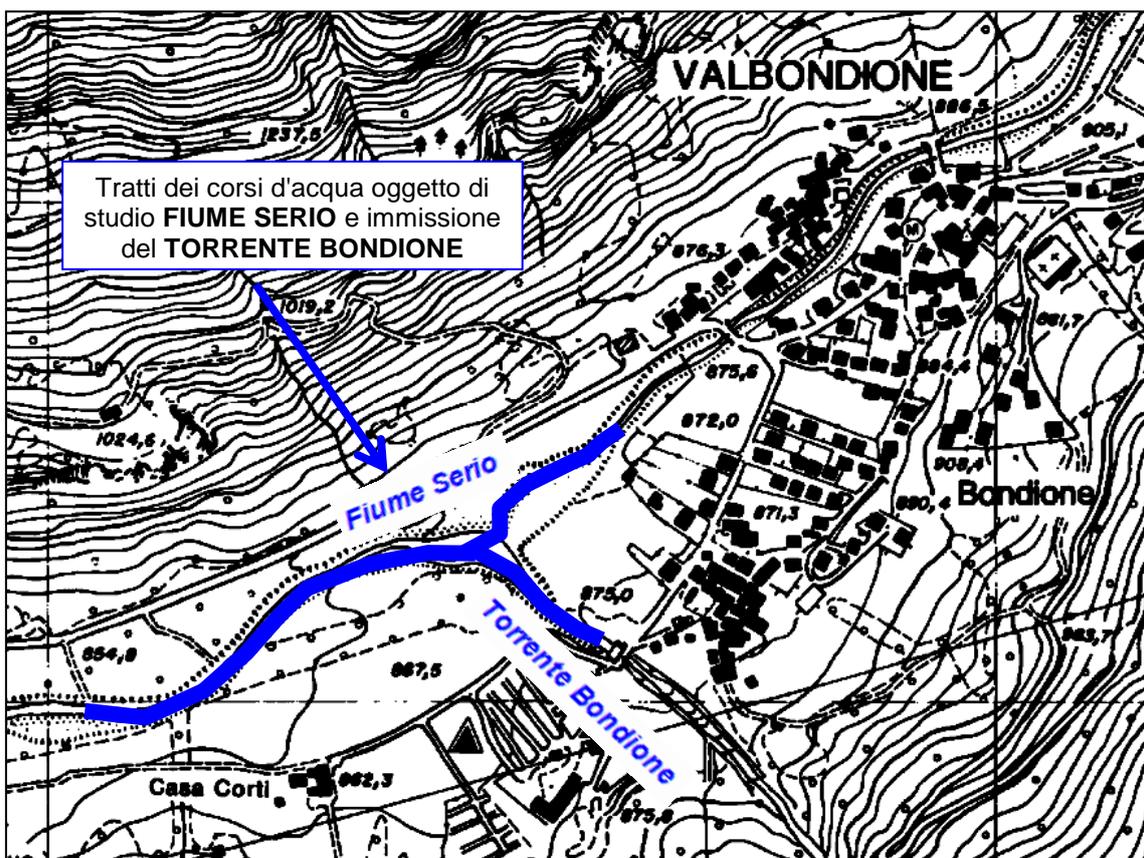
- della deliberazione di Giunta regionale del 30/11/2011 - n. IX/2616 "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (art. 57, comma 1) della l.r. 11 marzo 2005, n. 12' approvati con d.g.r. 22/12/2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28/05/2008, n.8/7374".
- le indicazioni contenute nel "Piano Stralcio delle Fasce Fluviali" (Legge 18 Maggio 1989, n. 183 e successive modifiche e integrazioni, art.17 comma 6 ter, approvato con D.P.C.M. 24 luglio 1998) che ha realizzato una direttiva specifica: "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B", Allegato alla deliberazione n. 2/99, in data 11 maggio 1999.



### 3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

I tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio (Fiume Serio e Torrente Bondione) ricadono nei limiti amministrativi del Comune di Valbondione, tra le località Bondione e Casa Corti.

La quota media sul livello del mare è pari a circa 865 m.



*Figura 1 - Stralcio aerofotogrammetrico con indicazione dei tratti dei corsi d'acqua oggetto di studio.*



Secondo le nuove disposizioni della Regione Lombardia in merito ai corsi d'acqua principali e non (D.G.R. n. 7/7868 del 25 Gennaio 2002: "Determinazione del reticolo idrico principale. Trasferimento delle funzioni..." e successive modifiche e integrazioni), i tratti oggetto di studio sono classificati come "**principali**".

Vista l'immissione del torrente Bondione in sinistra idraulica, i calcoli idrologici-idraulici sono stati suddivisi in tre settori, in funzione del bacino idrografico contribuente:

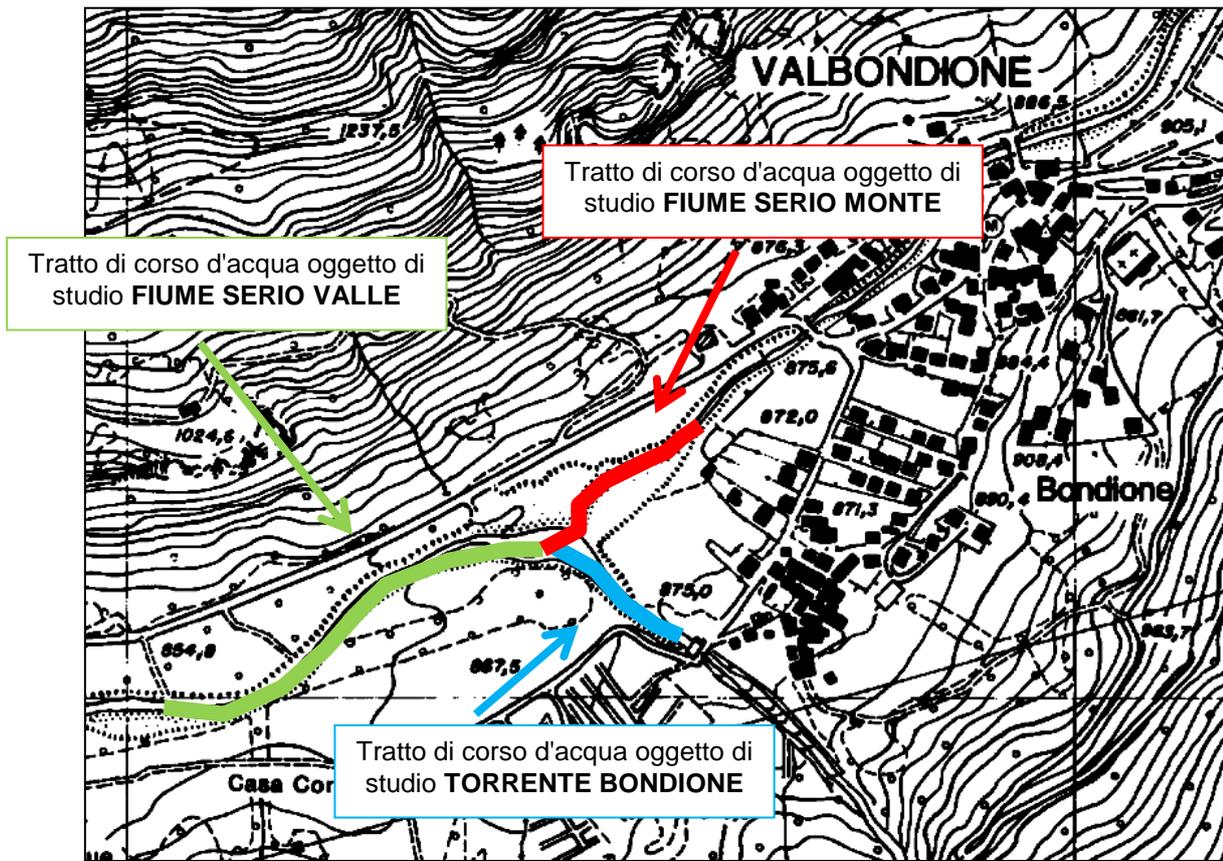
- **Bacino Serio monte**: bacino idrografico chiuso appena a monte dell'immissione del torrente Bondione;
- **Bacino Bondione**: bacino idrografico chiuso in corrispondenza dell'immissione nel fiume Serio;
- **Bacino Serio valle**: bacino idrografico complessivo, chiuso all'altezza della località Case Corti in Comune di Valbondione.

La verifica idraulica a moto permanente esposta nei capitoli seguenti utilizzerà quindi portate differenti nei diversi tratti oggetto di studio, per via dei contributi non trascurabili provenienti dal bacino del torrente Bondione.

**Il tratto di interesse per la riperimetrazione è comunque quello relativo a Serio Valle.**

Nello stralcio planimetrico seguente vengono contraddistinti i tratti di corso d'acqua del fiume Serio (a monte e a valle della confluenza) e del torrente Bondione, precedentemente individuati:

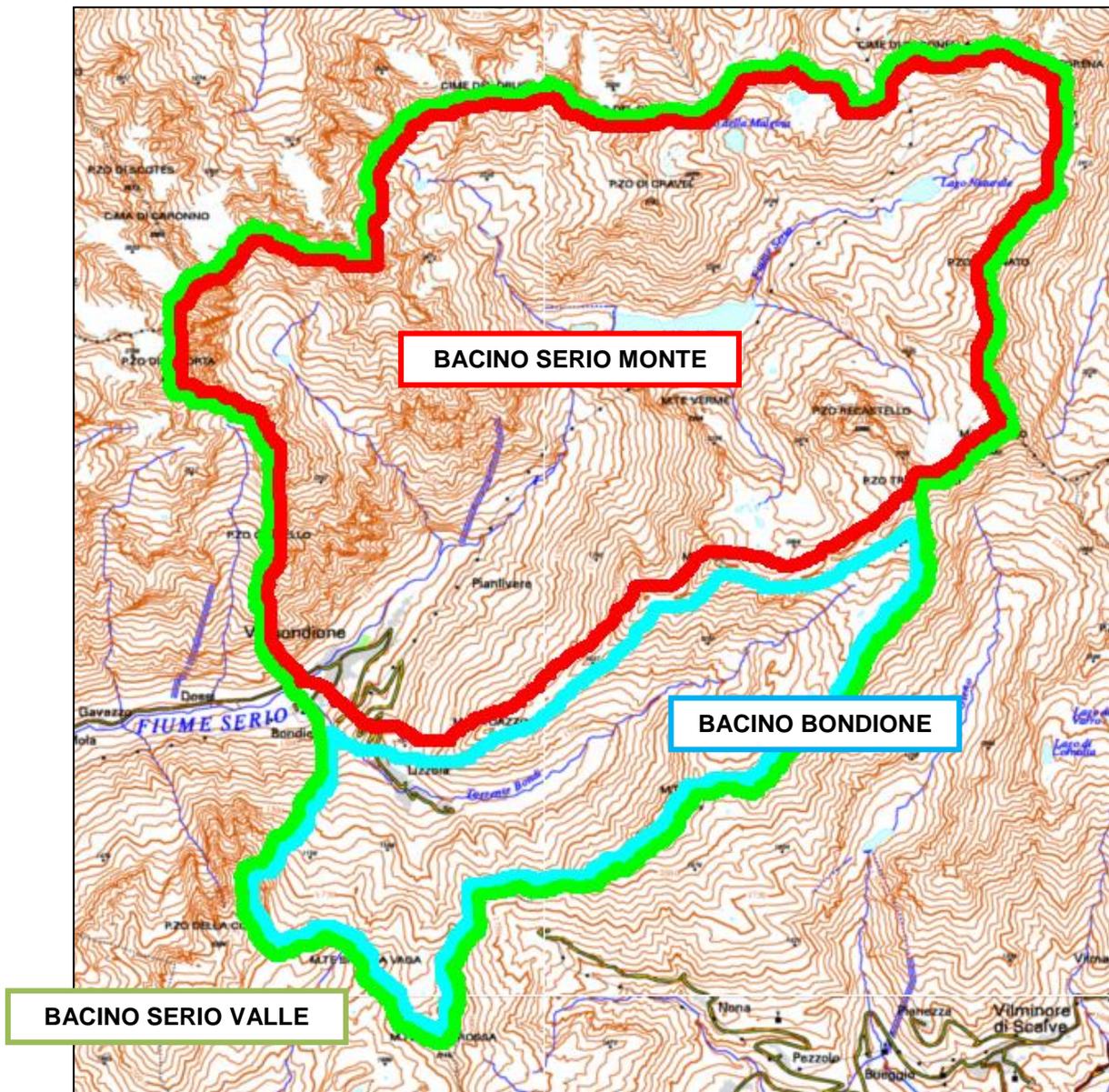




*Figura 2 - Stralcio aerofotogrammetrico con indicazione dei tratti di corso d'acqua oggetto di studio.*

Nella planimetria successiva sono evidenziati in colore rosso il **Bacino Serio monte**, in colore azzurro il **Bacino Bondione** e in colore verde il **Bacino Serio valle**, riferiti alle rispettive sezioni di chiusura. I bacini, nei tratti di reciproca sovrapposizione, sono stati volontariamente discostati in modo da rendere visivamente più comprensibile la loro rispettiva estensione.





*Figura 3 - Stralcio CTR 1:10.000 con sovrapposizione dei bacini idrografici individuati: in colore rosso il Bacino Serio monte , in colore azzurro il Bacino Bondione e in colore verde il Bacino Serio valle.*



#### **4 CARATTERISTICHE GEOGRAFICHE E IDROLOGICHE DEL BACINO DEL FIUME SERIO**

Il fiume Serio ha origine dalle Alpi Orobie e propriamente dal bacino formato dalle alte gioaie nevose dei Monti Pizzo del Diavolo (q. 2914 s.l.m.), Gleno (q. 2883 s.l.m.) e Pizzo di Coca (q. 3052 s.l.m.).

Il fiume, che costituisce l'asta fluviale della valle Seriana, percorre la zona centrale della provincia bergamasca fino al suo confine sud in corrispondenza dell'abitato di Mozzanica; da qui entra nel territorio cremonese dove sfocia nel fiume Adda poco più a sud di Montodine.

La lunghezza del corso del fiume Serio è di circa 120 chilometri di cui circa 38 chilometri in zona montana, che si chiude idrologicamente alla stazione idrometrografica di Ponte Cene, e 82 chilometri in zona di pianura che si chiude con l'immissione in Adda. Di questi 120 chilometri, 39 corrono in territorio cremonese ed i rimanenti in provincia di Bergamo.

Il fiume Serio presenta caratteristiche di natura eminentemente torrentizia in quanto nelle stagioni estive ed invernali l'alimentazione è sostanzialmente limitata alle sorgenti ed al tenue contributo di scarsissimi nevai, di minimo rilievo, mentre durante le piene primaverili ed autunnali la portata ascende a volumi di 40 volte la portata di magra e, per piene eccezionali, anche di 100 volte la portata di magra.

Il bacino imbrifero, dalla sorgente alla foce, è di circa 1200 chilometri quadrati e può considerarsi diviso in due porzioni:

- di montagna della superficie di 455 chilometri quadrati, giacente per 250 chilometri quadrati sopra quota 1000-1200 metri sul livello del mare e 205 chilometri quadrati compresi fra le quote di 1000-1200 e 400 metri



sul livello del mare, con chiusura alla sezione di Ponte Cene; si può ritenere che il fiume raggiunga qui il modulo massimo alpino in quanto è impinguato da tutte le sue confluenze montane e non ha subito alcun impoverimento per derivazioni di canali artificiali;

- di pianura della superficie di 745 chilometri quadrati, giacente su quota compresa fra 400 e 50 metri sul livello del mare, con chiusura in corrispondenza dello sbocco in Adda. Il bacino imbrifero della zona di pianura da Ponte Cene alla sezione di Crema è di 560 chilometri quadrati.

Per quanto attiene al regime delle precipitazioni si può affermare che il bacino del fiume Serio è soggetto al regime sublitoraneo alpino caratterizzato da un minimo nei mesi invernali, da un minimo secondario nei mesi estivi e da due massimi nelle stagioni intermedie.

Le precipitazioni sono per la maggior parte sotto forma di pioggia, ad eccezione dei mesi invernali e delle zone a quota più elevata in cui possono presentarsi a carattere nevoso. Tuttavia i territori che si innevano vanno considerati di limitata entità per cui il trasferimento delle precipitazioni invernali al successivo periodo primaverile - estivo è di modesto apporto. Nell'ambito della pluviometria, agli effetti delle piene, vanno considerati di preponderante importanza gli effetti relativi alla distribuzione ed all'entità delle piogge intense di breve durata, che, dato il carattere torrentizio del fiume, provocano improvvise ed impreviste situazioni di precarietà.

Il regime di deflusso è influenzato dalla notevole difformità delle pendenze longitudinali del fiume che a fronte di un'asta montana a forte pendenza, che supera su un tratto di 60 km un dislivello di 2700 metri circa, prosegue con un tronco di pianura fino alla foce, con valori di minima pendenza e può considerarsi suddiviso in tre tronchi:



- di montagna e pedemontano con chiusura a Ponte Cene, nel quale il regime di deflusso è decisamente caratterizzato dalla pendenza dell'alveo fluviale dove il tempo di corrivazione ( $T_c$ ) è estremamente breve;
- di pianura, da Ponte Cene a Mozzanica, nel quale l'alveo fluviale è caratterizzato da una larghezza notevole, con vaste zone golenali di fondo permeabilissimo, e la velocità della corrente si riduce notevolmente con considerevoli depositi di materiale alluvionale, sabbia, ghiaia, e ciottoli. In questa porzione l'attività estrattiva è stata di notevole rilievo. Notevole la capacità di riduzione delle piene, sia per la possibilità di espansione delle portate su vastissima area, sia per la notevole capacità di disperdimento in sottosuolo, a ricarica delle falde sotterranee che costituiscono una enorme ricchezza per il rifornimento idrico a scopo plurimo della Pianura Bergamasca;
- di pianura, da Mozzanica all'immissione in Adda, nel quale l'alveo del fiume Serio è caratterizzato da un andamento sinuoso meandriforme ed il regime di deflusso da un andamento uniforme con pendenze costanti ed alveo capace di contenere piene non eccedenti i 200-250 metri cubi al secondo massimi.

Sotto l'aspetto che considera la natura dell'alveo, il fiume Serio può considerarsi diviso in tre tratti:

- di alta, bassa e media montagna nonché pedemontano per il tratto compreso fra la sua origine, in Comune di Valbondione, ed il Comune di Villa di Serio - localita' Corna dei Dragoni, per una percorrenza di 47 chilometri ove il fiume corre su un fondo in roccia e quindi decisamente impermeabile;



- di pedecollina e di pianura per il tratto compreso fra le Corna dei Dragoni ed il territorio di Mozzanica, per una percorrenza di 34 chilometri ove il letto del fiume corre sulla conoide di deiezione del fiume Serio dello spessore oscillante fra pochi metri e 1100 metri, costituito da materiale alluvionale, sabbia, ghiaia, ciottoli di estrema permeabilità, tali da formare il fiume Serio, per il tratto in esame, in subalveo che riemerge nel suo corso naturale a valle del territorio di Mozzanica, dopo aver alimentato le falde acquifere sotterranee che interessano l'intera estensione della conoide di deiezione del fiume, dell'ampiezza di circa 300 chilometri quadrati.
- decisamente di pianura per il tratto a valle di Mozzanica sino all'immissione in Adda, della lunghezza di 39 chilometri, ove il fiume stesso corre su un letto decisamente argilloso ed impermeabile.

Il fiume Serio, nel tratto che corre su materasso alluvionale, impingua in modo determinante il fiume sotterraneo e le notevoli riserve di acque sotterranee delle falde acquifere che costituiscono una notevole ricchezza della pianura bergamasca e cremasca. Infatti nella bassa pianura bergamasca e nella pianura cremasca sono in atto numerose teste di fontanili che vanno poi a formare una fitta rete di canali, di minor o maggior interesse, che costituiscono tutt'oggi la rete irrigua del territorio cremasco.

La pianura bergamasca di contro attinge ed utilizza a scopo irriguo le scarse riserve idriche defluenti nell'alveo del fiume Serio.

Le Carte topografiche indicano con il toponimo "Sorgenti del Serio", le pendici sud - occidentali del M. Torena a circa 2500 m di quota in una zona impervia, priva di sentieri, modellata dal ghiacciaio che nel Pleistocene qui aveva la sua origine.



Poche centinaia di metri più sotto, ad un'altitudine di 2.129 m, vi è il Lago Barbellino superiore (detto naturale per distinguerlo da quello artificiale sottostante) che raccoglie direttamente l'acqua di queste sorgenti convenzionalmente indicate come punto di nascita del Fiume.

In quella stessa zona, consistenti apporti al Serio vengono da vallecole laterali quali quelli della Malgina, nella quale scorre lo scaricatore dell'omonimo lago, e soprattutto delle acque di fusione dei piccoli ghiacciai del Gleno, un tempo uniti ma ora distinti in due corpi separati.

Numerosi torrenti delle valli laterali, concentrati nel tratto tra Valbondione e Ponte Nossana, versano le loro acque nel F. Serio: sono il Bondione (Lizzola), il Fiume Nero, il Grabiasca, il Goglio, l'Acqualina (Valcanale), l'Ogna (Valzurio) ed il Riso, per non citare che i maggiori.

Oltre Ponte Nossana vi sono altri torrenti significativi che apportano altra acqua al F. Serio: fra questi meritano una citazione la Nossana, che dà un grosso contributo alle sorgenti che alimentano gli acquedotti di Bergamo (circa 1000 l/sec); il T. Vertova che deriva dalla meravigliosa omonima valle; la Valle del T. Romna (Valgandino), gravemente compromessa dalla attività industriale; l'Albina ed il T. Luio di Abbazia in comune di Albino; il Luio, il Lonzo e la Gavarnia di Nembro e la Nesa in Alzano Lombardo.



## 5 METODOLOGIA D'INDAGINE

Lo studio della dinamica dei corsi d'acqua e della loro pericolosità comporta lo svolgimento in sequenza di più fasi di lavoro contraddistinte ognuna da strumenti, conoscenze e competenze diverse:

### **Ricerca Storica**

Al fine di poter avere una conoscenza globale nella zona in analisi sull'eventuali criticità avvenute in passato, è stata altresì svolta una ricerca storica.

### **Rilievo topografico**

Occorre innanzi tutto possedere informazioni quanto più precise e dettagliate sulla morfologia dell'area in studio. E' stato eseguito un rilievo laser scanner da elicottero da parte della società Helica di Amaro (UD) con successiva estrapolazione di un numero congruo di sezioni, ubicate in modo da individuare lungo il percorso i punti ritenuti più critici.

Per l'implementazione del modello idraulico, sono state utilizzate:

- n. **10** sezioni del Fiume Serio (n. **3** sezioni a monte della confluenza con il torrente Bondione e n. **7** a valle dello stesso)
- n. **4** sezioni del torrente Bondione

per uno sviluppo totale dell'area investigata pari a oltre 600 metri per il Fiume Serio e circa 120 m per il torrente Bondione.

Le sezioni sono state inserite in modo che la distanza media tra di esse fosse all'incirca sui 50 metri.



Di seguito si riporta una tabella riassuntiva riferita alle informazioni geometriche sopra riportate:

**Hec-ras - Modello 1D moto Permanente - FIUME SERIO MONTE CONFLUENZA**

<b>N° sezioni</b>	3	<b>[-]</b>
<b>Lunghezza planimetrica totale</b>	182,26	<b>[m]</b>
<b>Elevazione massima fondo alveo</b>	865,07	<b>[m s.l.m.]</b>
<b>Elevazione minima fondo alveo</b>	861,63	<b>[m s.l.m.]</b>

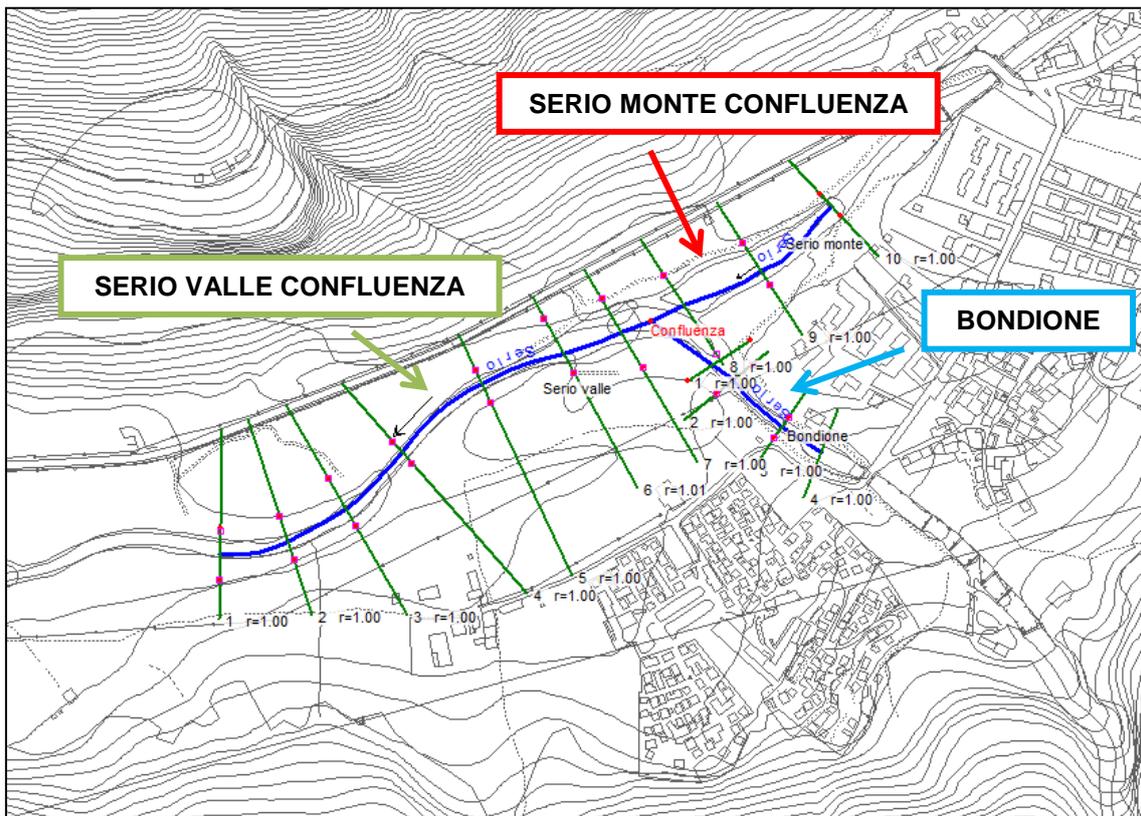
**Hec-ras - Modello 1D moto Permanente - FIUME SERIO VALLE CONFLUENZA**

<b>N° sezioni</b>	7	<b>[-]</b>
<b>Lunghezza planimetrica totale</b>	427,05	<b>[m]</b>
<b>Elevazione massima fondo alveo</b>	860,30	<b>[m s.l.m.]</b>
<b>Elevazione minima fondo alveo</b>	852,78	<b>[m s.l.m.]</b>

**Hec-ras - Modello 1D moto Permanente - TORRENTE BONDIONE**

<b>N° sezioni</b>	4	<b>[-]</b>
<b>Lunghezza planimetrica totale</b>	118,21	<b>[m]</b>
<b>Elevazione massima fondo alveo</b>	866,55	<b>[m s.l.m.]</b>
<b>Elevazione minima fondo alveo</b>	862,87	<b>[m s.l.m.]</b>

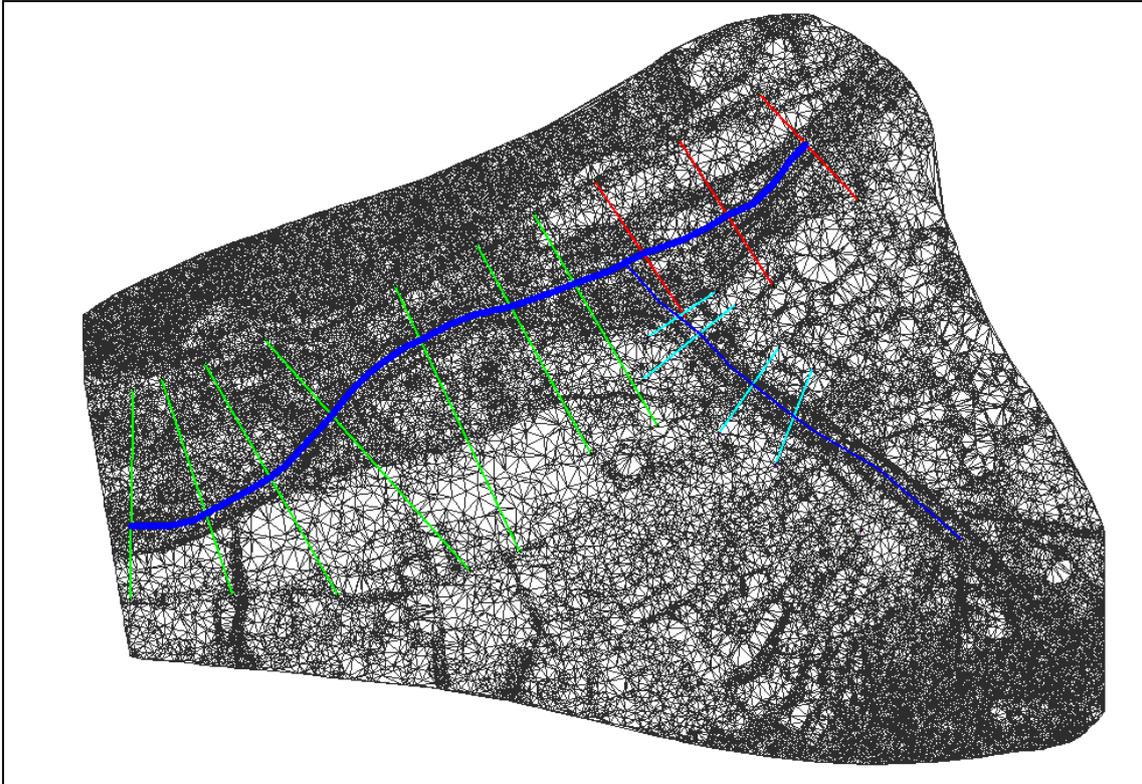




*Figura 4 - Stralcio planimetrico del modello idraulico implementato con indicazione delle sezioni inserite.*



Si riportano alcuni stralci del rilievo 3D quotato topograficamente.



*Figura 5 - Stralcio del rilievo laser scan eseguito (TIN).*

### **Studio idrologico dei corsi d'acqua**

Per determinare le portate di piena dei corsi d'acqua con tempi di ritorno diversi, occorre utilizzare dei modelli idrologici che, note alcune caratteristiche fisiche e i dati del bacino, restituiscano le portate richieste. Nel caso in esame è stato effettuato uno studio dedicato ai tratti dei corsi d'acqua oggetto di verifica idraulica. I risultati ottenuti dagli scriventi sono stati altresì confrontati con quelli presenti all'interno di alcune relazioni tecniche svolte nei pressi della sezione di valle oggetto di calcolo.



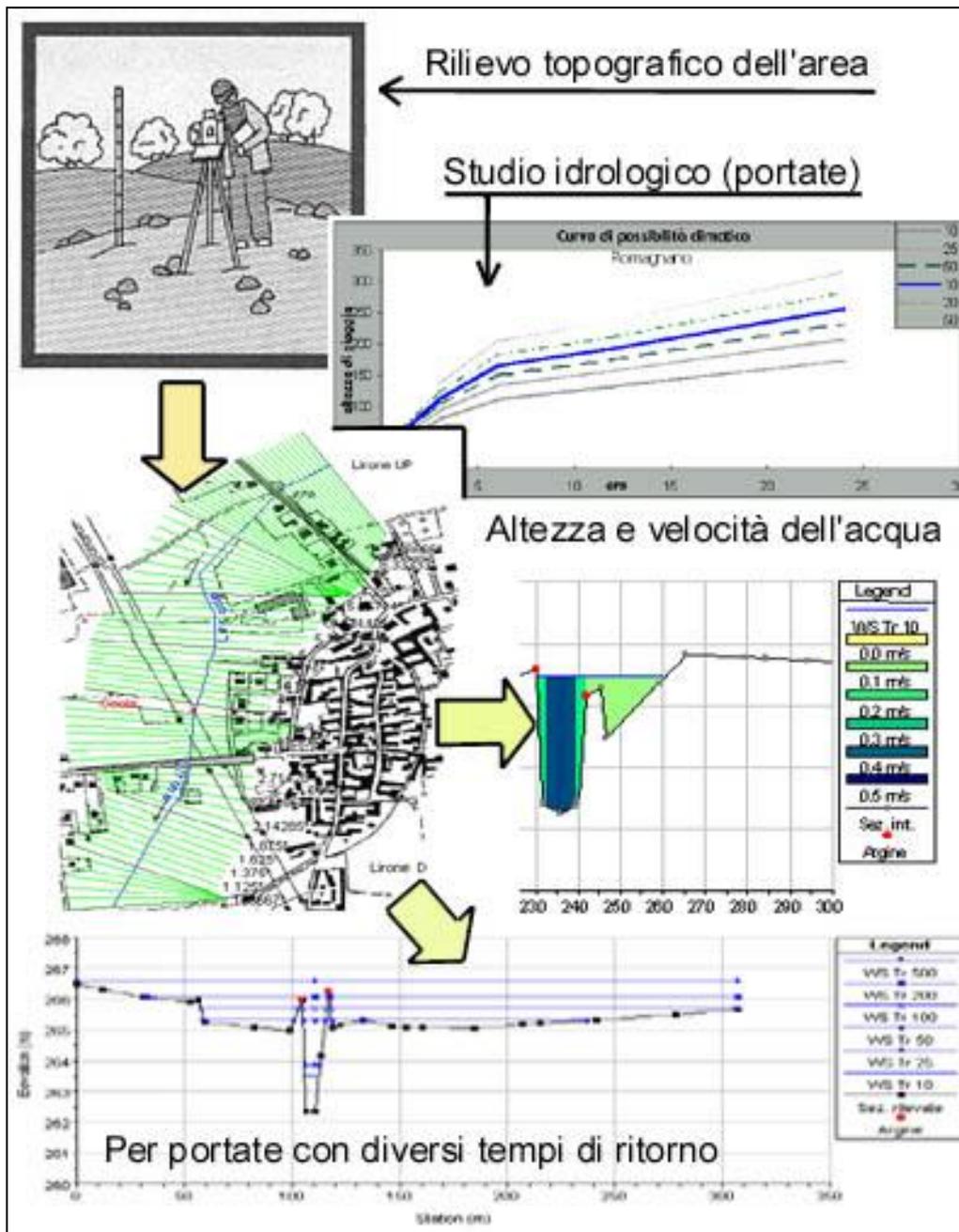
**Studio idraulico**

A questo punto, nota la geometria dell'area di interesse e la portata d'acqua che fluisce su di esso, occorre svolgere il calcolo dell'altezza e della velocità che l'acqua avrà nei diversi punti del dominio topografico dell'area di studio utilizzando le leggi dell'idraulica. E' chiaro che la complessità e la grandezza dei problemi che si affrontano oggi, richiede l'utilizzo di un software specifico che permetta di eseguire tali calcoli in tempi brevi e con una restituzione dei risultati chiaramente interpretabile.

**Risultato**

Le informazioni che uno studio di questo genere può dare sono molteplici e possono essere applicate in vari campi dell'ingegneria: fasce di esondazione (per definire la pericolosità idraulica di aree), dimensionamento di opere idrauliche (argini, briglie, ponti, ecc.) e civili (ponti, viadotti), studio di fenomeni di erosione.





*Figura 6 - Schema metodologia d'indagine*



## 6 RILIEVO TOPOGRAFICO MEDIANTE LASER SCAN

In data 28 Novembre 2011 è stato effettuato un volo laser scan e aereofotografico da parte della società Helica di Amaro (UD).

Il rilievo è stato pianificato accuratamente sia per quanto concerne le caratteristiche della costellazione GPS, sia per quanto concerne i parametri di acquisizione.

### 6.1 *La strumentazione laser scan*

Il sistema ALTM3100 di proprietà di OGS è costituito da un laser operante nell'infrarosso vicino ( $\lambda = 1064$  nm) che invia impulsi di luce ad una frequenza che varia dai 33 ai 100 kHz a seconda dell'altezza di volo.

Gli impulsi laser vengono diretti verso uno specchio oscillante che riflette gli stessi in senso ortogonale alla direzione di avanzamento dell'aeromobile dove l'intero sistema è alloggiato.

La scansione del terreno deriva dalla combinazione dei due movimenti, quello di oscillazione dello specchio e quello di avanzamento dell'aeromobile.

Il raggio laser una volta colpito il suolo viene riflesso e parte dell'energia incidente sul terreno ritorna verso lo specchio che convoglia il segnale luminoso ad un sistema di rilevamento che determina il tempo di ritorno dell'impulso.

Dal tempo impiegato dalla luce a percorrere il tragitto relativo al punto di emissione/riflessione/ricezione si determina la distanza fra lo specchio ed punto di riflessione al suolo.



L'intero sistema è montato rigidamente sull'aeromobile la cui posizione (vettore di stato) viene determinata mediante soluzione GPS (Global Position System).

Il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante misure GPS differenziali cinematiche utilizzando almeno una stazione fissa posizionata su di un punto noto entro 40 km dall'area del rilievo.

I ricevitori GPS utilizzati sono di tipo geodetico e permettono la misura su ambedue le bande L1 ed L2. L'elaborazione non avviene in tempo reale e viene effettuata mediante elaborazione cinematica con una frequenza di campionamento di 1 Hz.

Una volta ricostruita la traiettoria (vettore di stato) mediante il GPS si dispone di un punto noto all'incirca ogni 35 metri (considerando una velocità media dell'aeromobile di 75 kts).

A questo punto i dati di posizione vengono integrati con quelli inerziali che sono acquisiti ad una frequenza di 200 Hz. Alla traiettoria GPS vengono pertanto associati i dati di orientamento del sistema ed accelerometrici ottenuti dall'unità di misura inerziale (IMU). L'IMU è costituita da un terna di giroscopi al laser che consentono una precisione di 0.02 gradi in rollio e beccheggio e 0.04 gradi in imbardata/direzione. Alla fine la traiettoria viene risolta ogni 50 millisecondi (pressappoco ogni 0.17 m).

Integrando tutti questi dati con quelli di posizione istantanea dello specchio si determina la posizione nello spazio dei punti che hanno riflesso il raggio laser e che saranno riferiti al sistema geodetico in cui opera il GPS ovvero il WGS84. L'errore associato alla misura effettuata dall'IMU determina in larga parte il livello di precisione del rilievo.



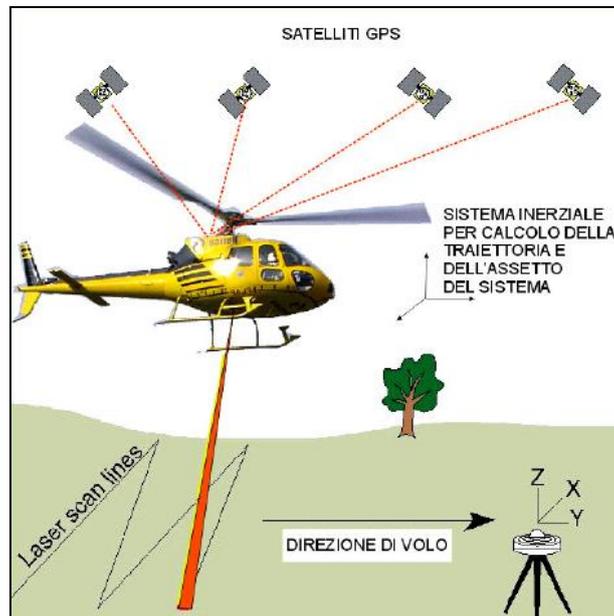


Figura 7 - Il sistema laser scan ALTM 3100

## 6.2 Principali fonti di errori nei dati laser scan

Come detto, il calcolo della traiettoria del sistema avviene mediante la combinazione fra un sistema inerziale ed un GPS operante in doppia frequenza (bande L1 ed L2).

L'impiego del sistema inerziale, costituito da tre giroscopi laser, consente di risolvere la posizione e l'assetto dell'aeromobile con una frequenza di 200 Hz, mentre l'uso del GPS consente di annullare la deriva dell'inerziale che è funzione del tempo. Il dato GPS permette inoltre di fissare in maniera assoluta la posizione del sistema con una precisione centimetrica e rispetto ad un sistema di riferimento globale (WGS84).

Il grado di accuratezza dipende da una serie vasta di fattori fra i quali si ricorda:

- la modalità di elaborazione del dato GPS (differenziale con L1,



differenziale con L1 ed L2, assoluto, ecc.)

- dalla distanza fra la master ed il GPS montato a bordo del velivolo
- la corretta pianificazione del rilievo in termini di copertura GPS (numero di satelliti, PDOP prevista, comunicazioni NANU)
- dallo stato della ionosfera
- dallo stato della troposfera
- dalla presenza di jamming (disturbi)
- dalle modalità di esecuzione del rilievo stesso (esecuzione delle linee, traiettorie di ingresso nell'area del rilievo)

Valori tipici di precisione di posizione GPS sono dell'ordine di 0,10 metri rms (Cramer 1999).

A questi errori si devono aggiungere quelli derivanti dal sistema laser stesso, come ad esempio quelli relativi all'indeterminazione della posizione angolare istantanea dello specchio, oppure errori sistematici nella determinazione del tempo intercorrente fra l'emissione e la ricezione dell'impulso.

Un ulteriore fonte di errore sta nella asincronia fra il tempo relativo ai dati GPS e quello relativo al dato laser; fonti di errore dovute a fenomeni relativistici sono trascurabili vista la velocità dell'aeromobile.



### 6.3 Calibrazione

I parametri di calibrazione adottati per l'elaborazione dei dati acquisiti sono stati determinati presso il sito di calibrazione di Helica. La calibrazione viene effettuata mediante ripetuti passaggi su bersagli noti dimensionalmente. In particolare viene impiegato come bersaglio un edificio posto nelle vicinanze dell'eliporto per la determinazione delle costanti di pitch e roll, mentre una superficie piana, lunga oltre 650 metri (strada) viene utilizzata per le calibrazioni di scala, di elevazione e di ritardo.

Ulteriori calibrazioni vengono effettuate in corrispondenza dell'area del rilievo, dopo l'acquisizione di un'area specifica (box) mediante analisi incrociata fra i dati provenienti da scansioni ortogonali.

### 6.4 Acquisizione del rilievo

L'acquisizione è stata condotta mediante un laser a scansione modello 3100D prodotto dalla Ophtec I.t.d di Toronto — Canada con le seguenti caratteristiche:

	C/A GPS	DGPS	RTK	Post Processato
Posizione (m)	4,0 – 6,0	0,5 – 2	0,1 – 0,3	0,05 - 0,3
Velocità (m/s)	0,05	0,05	0,01	0,005
Rollio & Beccheggio (°)	0,008	0,008	0,008	0,005
Direttrice di Rotta 1 (°)	0,07	0,05	0,04	0,008
1 Per missioni tipiche, errore RMS massimo				

*Figura 8 - Specifiche di accuratezza assoluta (RMS) del POS AV510.*



Parametro	Specifiche
Altezza operativa	80 – 35000 m
Accuratezza in elevazione z dei dati altimetrici *	15 cm < 1200 m (1 sigma) 25 cm < 2000 m (1 sigma) 35 cm < 3000 m (1 sigma)
Accuratezza orizzontale *	1/2000 x altitudine volo (1 sigma)
Risoluzione in range	1 cm
Numero di ritorni misurati (altezze)	4
Angolo di scansione	Variabile da 0 a $\pm 25^\circ$
Larghezza di swath	Variabile da 0 a 0.93 x altitudine (m)
Piattaforma inerziale	Applanix – Optech AV510 POS
Risoluzione angolare	0.01 °
Frequenza di scansione	Variabile con l'angolo di scansione (30 Hz $\pm 20^\circ$ ) (70 Hz $\pm 10^\circ$ )
Lunghezza d'onda del laser	1064 nm
Frequenza degli impulsi del laser	Fino a 100kHz, variabile con la quota
Divergenza del fascio	Variabile: 0.8 mrad o 0.2 mrad (1/e nominale)
Misura di intensità	Misura di intensità di ogni impulso ricevuto
Dati acquisiti	Misura simultanea in range del primo, secondo, terzo ed quarto impulso per ogni impulso emesso (DUAL TIM)
Classe del Laser	Classe IV prodotti laser (FDA CFR 21)
Ricevitore GPS/POS	Interno Novatel Millennium DL 2H / POS AV 510
<p>* Per ottenere le accuratezze specificate l'ALTM deve ricevere dati GPS di qualità sufficiente, rispettando le seguenti condizioni:            Almeno 4 satelliti tracciati con continuità dal ricevitore per tutto il rilievo            Elevazione dei satelliti sull'orizzonte &gt; 15°            Buona geometria dei satelliti (PDOP &lt; 4)            Posizione della stazione GPS base in un raggio &lt; 30 km dal aeromobile            Se una di queste condizioni non è raggiunta o ci sono cause esterne di disturbo elettromagnetico sui segnali GPS queste specifiche di accuratezza non possono essere ottenute.</p>	

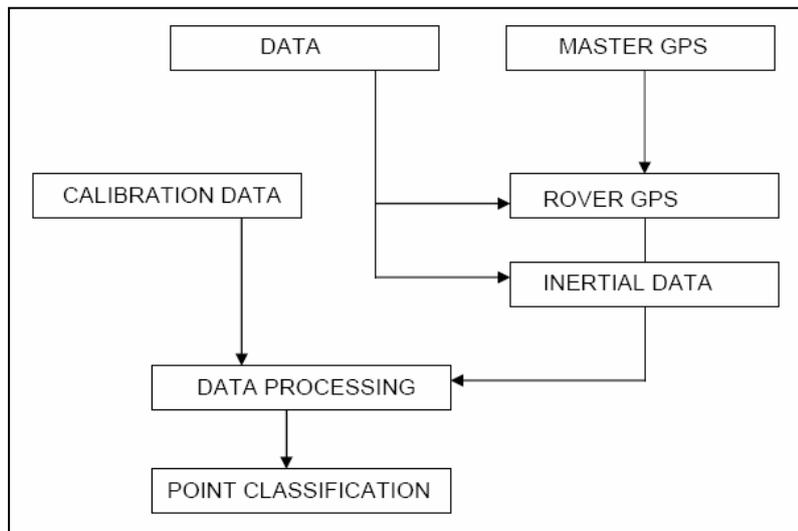
*Figura 9 - Principali caratteristiche tecniche dello strumento utilizzato.*

Al fine di ottimizzare la risoluzione al suolo, la quota di volo è stata pari a circa 1000 m. Il rilievo è stato eseguito seguendo i poligoni forniti dal committente.

## 6.5 Elaborazione

I dati acquisiti sono stati elaborati presso l'ufficio elaborazione dati di Helica secondo lo schema riportato in figura.





*Figura 10 - Catena di elaborazione impiegata per la generazione dei prodotti*

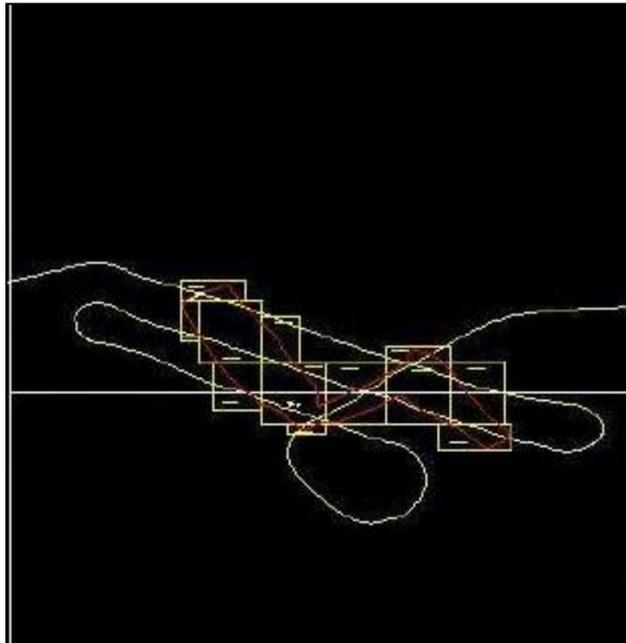
I dati di calibrazione sono stati acquisiti come predetto mediante misure ripetute su di un'area campione predeterminata della quale, alcuni elementi morfologici, sono noti dimensionalmente con una accuratezza centimetrica (Baltsavias, 1999). I dati di calibrazione vengono utilizzati per compensare le derive strumentali dell'intero sistema laser.

Il calcolo della traiettoria è stato effettuato mediante elaborazione GPS cinematica utilizzando due ricevitori geodetici GPS (bande L1 ed L2) che acquisivano alla frequenza di campionamento di 1 Hz. Un GPS operava a bordo dell'aeromobile mentre una stazione a terra era collocata su di un caposaldo della rete IGM95 situato in prossimità del rilievo; la copertura satellitare è stata ottimizzata scegliendo opportune finestre temporali. L'elaborazione è stata effettuata in modalità cinematica differenziale.

È stata così ricostruita la traiettoria assoluta determinando un punto ogni circa 35 metri. I dati di posizione sono stati integrati con quelli inerziali acquisiti con una frequenza di campionamento di 200 Hz, ottenendo in pratica una soluzione di posizione ed orientamento del sistema ogni circa 0.15 m.



Utilizzando i parametri di posizione ed orientamento, i dati di range sono stati ricollocati spazialmente generando il prodotto base, che è un file vettoriale contenente i dati di tempo GPS, vettore di posizione e valore di intensità di retrodiffusione del laser (ampiezza) per ogni impulso misurato.



*Figura 11 - Esempio di registrazione delle traiettorie eseguite dall'aeromobile durante il rilievo laser scan.*

## 6.6 Classificazione

L'intero volume di dati provenienti dall'acquisizione dell'area con tecnologia laser scan è stato elaborato al fine di generare i prodotti richiesti.

Il primo prodotto consiste nella nuvola di punti completa e rappresenta il primo impulso (first pulse) di ritorno, che è legato alla prima riflessione occorsa, quindi alla superficie limite dei sistemi ottici più elevata topograficamente parlando.

Il last pulse è legato, invece, all'ultima riflessione occorsa, quindi alla superficie topograficamente meno elevata. La nuvola di punti completa di ogni impulso



viene fornita in formato ASCII xyzl.

I prodotti generati sono prodotti classificati di secondo ordine e derivano dall'applicazione ai dati grezzi di particolari algoritmi. I singoli valori puntuali, costituenti un piano quotato, vengono elaborati e confrontati fra loro o loro sottoinsiemi omogenei mediante applicazione di algoritmi di classificazione. La classificazione è un'operazione indispensabile (Axelsson, 1999) per poter ottenere dati omogeneamente riferiti a specifiche classi che abbiano un significato reale ovvero corrispondente ad elementi fisici presenti al suolo. Il principale obiettivo del lavoro è stato quello di determinare il cosiddetto "ground" ovvero il terreno reale rimuovendo per quanto possibile sia la vegetazione (Kraus, Pfeifer, 1998) (sia di alto fusto che quella erbosa) che gli edifici ed i manufatti in genere (Maas, Vosselman, 1999). Il dato classificato ground è stato successivamente archiviato in formato ASCII, xyz.

Dai dati classificati preventivamente come ground è stato definito un sottoinsieme rappresentante i punti che sono necessari per la generazione di una superficie di triangolazione di una accuratezza determinata a priori; è stato generato un dataset di dimensioni limitate dai punti classificati. Il controllo dell'accuratezza viene impostato mediante la definizione di due valori di tolleranza che identificano la distanza verticale fra un singolo punto da classificare ed un modello triangolato primitivo. Il processo di classificazione è di tipo iterativo. Questo dato, definito come "model key points", è stato fornito sempre nel formato ASCII xyz.

In aggiunta a questi prodotti, se ne forniscono alcuni di ordine superiore, quali i dxf con le curve di livello per entrambe le aree, con equidistanza ad 1 metro.

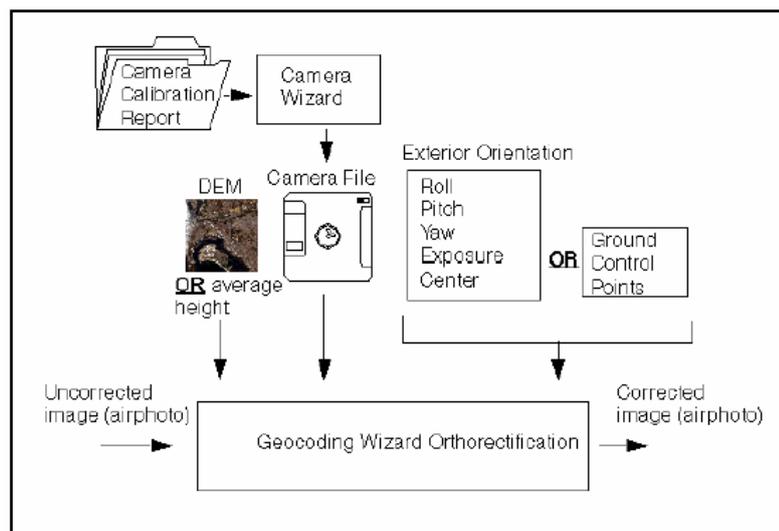


## 6.7 Ortofoto

L'acquisizione delle foto aeree, invece, è stata condotta contemporaneamente all'acquisizione LIDAR utilizzando una camera - digitale semimetrica Rollei modello 6008 db45 con dorso digitale PhaseOne modello H25.

Il sistema di acquisizione digitale ha una spaziatura di pixel di 9 micrometri ed è composta da 5440 x 4080 pixel con una dinamica di 48 bit. Il sistema di ripresa è stato installato a bordo dell'elicottero AS350B2, lo stesso impiegato per l'acquisizione del dato laser scan. La camera è stata montata solidale ad una piattaforma inerziale che dispone di compensazione per le variazioni di assetto dell'aeromobile in rollio e beccheggio.

La ripresa aerea è stata effettuata in una giornata di aria calma in prossimità delle ore di zenit solare al fine di ridurre al minimo la quantità delle ombre presenti sull'area del rilievo. Il rilievo ha coperto l'intera area del rilievo laser scan.



Sequenza di elaborazione applicata alle immagini aeree



*per la generazione dei prodotti ortorettificati*

I rilievi ottenuti, opportunamente corretti e “vestiti”, sono stati utilizzati come base di lavoro per la predisposizione delle tavole di progetto.

Il prodotto finale ha una risoluzione al suolo di 0,20 m ed una precisione che nell'area coperta dal modello digitale del terreno derivato dal laser scan è di circa 1,0 m (rms).

### **6.8 Inquadramento geodetico del rilievo laser scan**

Il posizionamento del sistema LASER SCAN avviene mediante misura GPS cinematica.

La soluzione del vettore di stato del sistema viene effettuato con una frequenza di 1 Hz per la costellazione GPS ed uno o più ricevitori GPS geodetici collocati a terra.

Nel caso specifico è stata utilizzata una sola stazione master facente parte della rete di stazioni GPS permanenti della Regione Lombardia (Lecco), che ha registrato in continuo durante tutte le fasi del rilievo.

La stazione permanente in oggetto è dotata della seguente strumentazione:

- antenna Top CR-3
- ricevitore GNSS Odyssey 40 canali
- dispositivo di backup per un'autonomia di 120 ore

Nella seguente tabella vengono riportate le coordinate ellissoidiche Igb00 della stazione di Lecco:



LECCO	
LAT	45°51'26.339621"
LONG	09°24'24.899313"
Q ell.	311.0876

*Figura 12 - Coordinate della master utilizzata quale stazione di riferimento a terra per il rilievo eseguito.*

Poiché i dati GPS (e di conseguenza quelli LIDAR) georiferiti all'ellissoide WGS84 si è resa necessaria una conversione delle coordinate dal datum WGS84 a Roma40 utilizzando i sette parametri di rototraslazione relativi al punto fiduciario, e valutati con il metodo di Bursa-Woif.

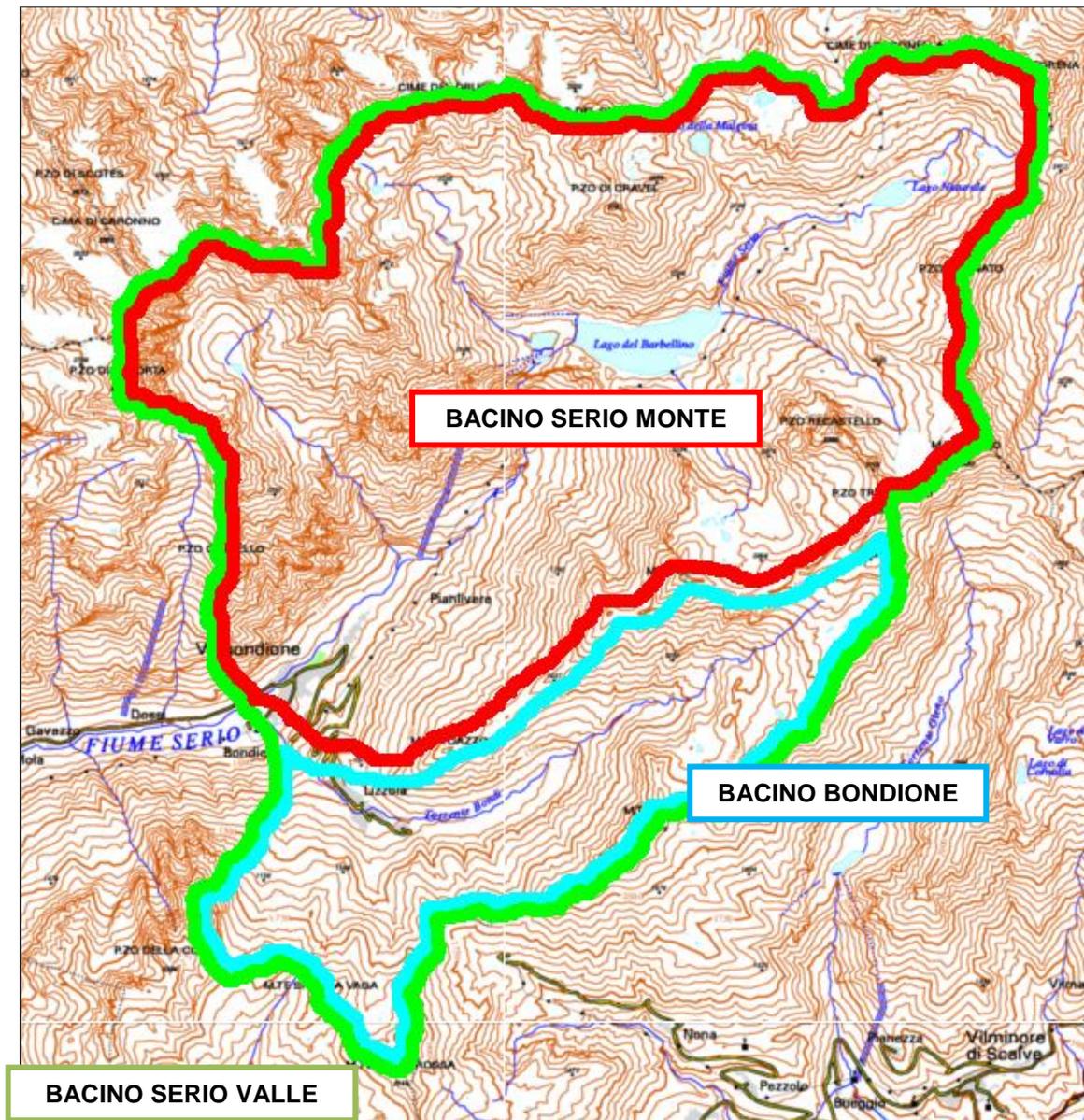
La quota ortometrica è stata definita con l'ausilio di punti di controllo a terra ricadenti nell'area dei rilievi.



## 7 STUDIO IDROLOGICO

### 7.1 Premessa

Come già anticipato, sono state calcolate le portate dei tre bacini idrografici rappresentati nello stralcio planimetrico seguente:



*Figura 13 - Stralcio CTR 1:10.000 con sovrapposizione dei bacini idrografici individuati: in colore rosso il Bacino Serio monte , in colore azzurro il Bacino Bondione e in colore verde il Bacino Serio valle.*



## **7.2 Studio morfometrico dei corsi d'acqua in esame**

### **7.2.1 Analisi morfologica delle reti di drenaggio naturali finalizzata alla caratterizzazione della risposta idrologica**

In tempi recenti si vanno sempre più diffondendo le tecniche di delimitazione del bacino idrografico e di identificazione della rete che si fondano sull'utilizzazione della cartografia numerica e la rappresentazione digitale della struttura orografica del bacino.

Le informazioni contenute in un convenzionale supporto cartaceo sono convertibili in formato numerico ottenendo un modello digitale del terreno (Digital Terrain Model, DTM) cioè un modello capace di rappresentare la variazione continua di una determinata variabile (pendenza, uso del suolo, geologia ecc.) per una superficie di interesse. Nel caso particolare in cui la variabile considerata sia la quota dei punti costituenti la superficie in esame il modello prende il nome di DEM (Digital Elevation Model) che, pertanto, deve essere considerato come un particolare DTM. La rappresentazione dei valori della variabile di interesse (quota, pendenza, esposizione ecc.) può essere effettuata facendo ricorso a un modello di tipo vettoriale o di tipo raster. Il modello vettoriale deriva generalmente da tecniche di acquisizione semiautomatica delle informazioni (per esempio, conversione della cartografia cartacea in numerica mediante digitalizzazione) e gli elementi cartografici vengono definiti con un insieme di punti di cui sono definite le coordinate mediante una terna numerica. Il modello raster, o cellulare, deriva generalmente da una procedura di scansione automatica e opera una suddivisione del territorio in celle regolari. Questo tipo di modello consente una rappresentazione di tipo matriciale e la struttura spaziale è deducibile considerando per ciascuna cella quelle ad essa adiacenti.



Per il bacino in studio, a partire da un DEM a maglie regolari si può procedere alla generazione del reticolo idrografico mediante una tecnica automatica capace di individuare la rete sia seguendo il processo di formazione del deflusso sia rispettando l'altimetria del territorio. In quest'ambito ha trovato frequente applicazione l'algoritmo di O'Challagan e Mark che definisce per ogni cella la direzione del deflusso sulla base della massima differenza di quota calcolata considerando le otto celle ad essa circostanti e che considera come cella appartenente al reticolo idrografico quella che drena a monte un'area superiore a un prefissato valore soglia. I reticoli estratti secondo questa tecnica sono ovviamente dipendenti sia dalla dimensione della maglia adottata per costruire il DEM sia dal valore minimo di area drenata prescelto per classificare una certa maglia come appartenente alla rete.

Infatti l'analisi di reti di drenaggio naturali estratte dai Modelli Digitali di elevazione del Terreno (DTM) viene attuata in misura coerente con i concetti di geomorfologia fluviale tramite un filtro basato su una relazione del tipo  $ASk > soglia$  o a soglia costante.

Nelle regioni caratterizzate da una pendenza locale (S) maggiore, è sufficiente un'area contribuente (A) minore per formare e mantenere la canalizzazione, ciò produce strutture drenanti la cui densità di drenaggio, correlata ad area contribuente, pendenza, clima e proprietà del suolo, in generale, non potrà essere considerata costante se non per bacini di modesta estensione caratterizzati da proprietà del suolo uniformi, al contrario di ciò che si otterrebbe con un filtro basato sul solo valore dell'area contribuente usato come soglia.

Una tale descrizione della rete idrografica, permette di individuare il reticolo idrografico nelle sue parti essenziali, canali e versanti.

In questo modo, la risposta idrologica complessiva risente del carattere più spiccatamente montano, o vallivo, delle singole componenti, consentendo una



ottima capacità di riproduzione delle caratteristiche principali dell'idrogramma di piena – portata e tempo al picco – in diversi ambienti morfologici.

Lo sviluppo verso monte dei drenaggi superficiali naturali è infatti limitato da una soglia di canalizzazione, che costringe il versante ad assumere una lunghezza tale da permettere la formazione ed il sostentamento del drenaggio alveato. Diversamente, la variabilità spaziale nelle caratteristiche del territorio si riflette nell'eterogeneità della lunghezza dei versanti e della densità dei drenaggi. La struttura idrografica ottenuta mette in evidenza le componenti del deflusso superficiale alveate e non, e permette di introdurre informazioni relative alla cinematica dei processi che hanno rispettivamente luogo per le due componenti.

La Regione Lombardia ha provveduto a coprire tutto il territorio regionale con un modello di elevazione del terreno a passo 20x20 metri ottenuto a partire dalla cartografia 1 : 10 000.

Tale modello di elevazione del terreno appare, per il suo notevole dettaglio spaziale, un ottimo punto di partenza per l'effettuazione di calcoli finalizzati alla individuazione di quantità che siano di interesse nella gestione del territorio.

Su modello di elevazione regionale sopracitato, è stato utilizzato uno specifico algoritmo di calcolo che consente l'estrazione del bacino idrografico e la ricostruzione del reticolo di drenaggio.

Utilizzando tale modello di elevazione, sono stati calcolati un numero elevato di parametri morfologici del bacino interessato.



### **7.2.2 Descrizione dei principali parametri morfologici**

Per l'analisi morfologica, il reticolo del bacino è classificato in funzione dei segmenti che sono compresi tra le varie confluenze. Ad ognuno di questi si assegna un numero (ordine) che dipende dalla sua posizione nell'ambito del reticolo stesso, come proposto da HORTON-STRAHLER.

Si attribuisce il numero d'ordine 1 ai canali naturali di prima formazione, cioè quelli che hanno come estremità i punti sorgente.

Quando si incontrano due rami dello stesso ordine  $k$ , il nuovo segmento che si crea avrà numero d'ordine  $k+1$ . All'incontro tra due rami di diverso ordine, invece, il nuovo segmento a valle avrà numero uguale a quello maggiore tra i due.

L'ordine  $k$  del corso d'acqua principale definisce l'ordine di bacino.

Il rapporto di biforcazione ( $R_b$ ) fornisce indicazioni sulla struttura dell'intero reticolo idrografico. Esso è definito come il rapporto tra il numero di segmenti d'ordine  $N_u$  e quello di ordine successivo  $N_{u+1}$ :

$$R_b = \frac{N_u}{N_{u+1}}$$

Il valore di  $R_b$  da prendere come rappresentativo del bacino è quello ottenuto dalla media (aritmetica o pesata) degli  $R_b$  parziali, riferiti alle singole coppie di ordine  $u$  e  $u+1$  (rapporto di biforcazione medio).

In generale maggiore è il valore di  $R_b$  e minore è il grado di gerarchizzazione del bacino. Valori superiori a 5 sono molto rari e sono testimoni di un forte controllo tettonico sullo sviluppo del reticolo.



Rapporto delle lunghezze (RI)

Esso è il rapporto fra la lunghezza media dei rami di ordine  $i$  e la lunghezza media dei rami di ordine  $i-1$ .

Rapporto delle aree (Ra)

Corrisponde al rapporto fra l'area media dei bacini di ordine  $i$  e l'area media dei bacini  $i-1$ .

L'area planimetrica del bacino è la somma delle celle del modello di elevazione, moltiplicate per l'area elementare della cella.

L'area effettiva del bacino è basata sull'area della superficie inclinata la cui proiezione è l'area della cella del DEM.

Il Relief totale (rilievo del bacino) è l'elevazione del punto più alto nel bacino rispetto alla quota della sezione di chiusura.

Il Relief ratio (rapporto di rilievo) è l'elevazione del punto più alto nel bacino rispetto alla quota della sezione di chiusura, diviso per la massima distanza lungo il reticolo coprente del bacino.

La pendenza media nella direzione di drenaggio è la pendenza calcolata lungo il reticolo di drenaggio coprente.

La pendenza 10-85 dell'asta principale è la pendenza dell'asta principale calcolata tra i punti a distanza 10%L e 85%L dalla sezione di chiusura dove L è la massima distanza lungo il reticolo permanente.

Come Diametro si intende la distanza topologica massima.



La distanza topologica media è indicata come  $N/M$  dove  $N$  indica il numero totale di link; in sostanza, è il numero di rami (di cui il primo esterno) mediamente compresi nel percorso che unisce la sorgente alla chiusura.

La lunghezza totale della rete permanente è la lunghezza complessiva del reticolo canalizzato,  $L_{tot}$ .

I parametri  $K_c$  (coefficiente di uniformità) e  $K_r$  (coefficiente di circolarità) forniscono una indicazione di quanto il bacino si discosta dalla forma circolare (forma raccolta).

Valori di  $K_c$  e  $K_r$  lontani dall'unità sono tipici di bacini di forma allungata e, viceversa, nel caso di  $K_c$  e  $K_r$  prossimi a 1.

Un bacino raccolto a parità di altri fattori avrà tempi di corrivazione minori e piene più improvvise e marcate, con un idrogramma caratterizzato da una forma stretta ed appuntita.

La pendenza media, che condiziona il valore della velocità di ruscellamento, può essere determinata con un procedimento semplice anche se piuttosto laborioso.

$$i_m = e \frac{\sum li}{S}$$

dove:

$e$  = equidistanza delle isoipse

$li$  = lunghezza della  $i$ -esima striscia delimitata da due generiche isoipse

$S$  = superficie del bacino

### Coefficienti di forma

$$F = \frac{L}{\sqrt{4S/\pi}} = 0.89 \frac{L}{\sqrt{S}}$$

con  $L$ =lunghezza del bacino,  $S$ =superficie del bacino.



Valori di  $F$  vicini ad 1 indicano bacini di forma raccolta, mentre elevati valori di  $F$  corrispondono a bacini di forma allungata.

La Densità di drenaggio  $D_r$  e la frequenza di drenaggio  $Fr$  sono due parametri che forniscono un'indicazione del grado di sviluppo del reticolo idrografico. Bassi valori di  $D_r$  e  $Fr$  sono tipici di bacini poco evoluti o impostati su litologie resistenti all'erosione e/o permeabili ed in presenza di una fitta copertura vegetale. Mediamente i valori di  $D_r$  oscillano fra 2 e 4, quelli di  $Fr$  fra 6 e 12.

La Densità di drenaggio è il rapporto tra la lunghezza totale del reticolo idrografico e la superficie del bacino stesso.

Generalmente è misurata in  $\text{km}^{-1}$ .

$$D = \frac{1}{S} \sum L_i$$

con  $L_i$  = lunghezza dei collettori costituenti la rete idrografica del bacino.

La densità di drenaggio solitamente ha valori molto alti nelle aree con terreni impermeabili, poiché su di essi il reticolo si presenta assai ramificato. Mentre con terreni permeabili i valori di tale grandezza morfometrica sono contenuti.

Un altro aspetto che influenza la densità di drenaggio è la presenza di vegetazione sulla superficie del bacino idrografico. Infatti i valori di tale grandezza diminuiscono all'aumentare del grado di copertura vegetale, poiché il processo di infiltrazione nel suolo risulta favorito rispetto al deflusso superficiale, ed il reticolo si presenta sempre meno ramificato.

La frequenza di drenaggio ( $Fr$ ) viene espressa come:

$$Fr = \frac{N}{A}$$

con  $N$  = numero dei segmenti idrografici presenti nel bacino e  $A$  = area bacino.



Magnitudine

E' il numero complessivo delle sorgenti o dei segmenti esterni.

Altitudine media ( $h_m$ )

Per ricavare tale informazione morfometrica è necessario suddividere la superficie A del bacino in aree parziali  $A_j$  comprese tra due curve di livello, assegnando una quota media  $h_j$  pari alla media delle quote delle due curve di livello che la delimitano. L'altitudine media del bacino è la media pesata delle quote medie  $h_j$  con peso la superficie parziale:

L'altitudine media è riferita al livello del mare.

$$h_m = \frac{1}{S} \sum_1^k S_i z_i$$

dove  $S_i$  = area tra due curve di livello;  $z_i$  = altitudine media dell'area  $S_i$ .

Altezza media ( $H_m$ )

L'altezza media è riferita alla quota di sezione di chiusura.

Tra l'altitudine media e l'altezza media esiste la seguente relazione:

$$H_m = h_m - h_{min}$$

con  $h_{min}$  = altitudine della sezione di chiusura

$h_m$  = altitudine media del bacino.

Tempo di corrivazione ( $t_c$ )

Esso corrisponde teoricamente al tempo necessario a far confluire l'acqua proveniente dalle precipitazioni dal punto più distante del bacino alla sezione di chiusura dello stesso.

Inoltre il tempo di corrivazione corrisponde al tempo che, una volta eguagliato dalla durata delle precipitazioni, determina il raggiungimento della portata massima di deflusso nella sezione.



Può essere calcolato attraverso diverse formule, tra le quali quella di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{h_{\text{media}}}}$$

dove  $t_c$  è espresso in ore,  $A$ =area bacino,  $L$ =lunghezza bacino.



## **"BACINO SERIO MONTE"**

### SCHEDA BACINO E GRAFICI CARATTERISTICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

- *Scheda bacino*
- *Curva Ipsografica*
- *Curva Area function in funzione della progressiva (area cumulata)*
- *Curva del profilo longitudinale*



# "BACINO SERIO MONTE"

## ELEMENTI PRINCIPALI DEL BACINO E DEL RETICOLO IDROGRAFICO

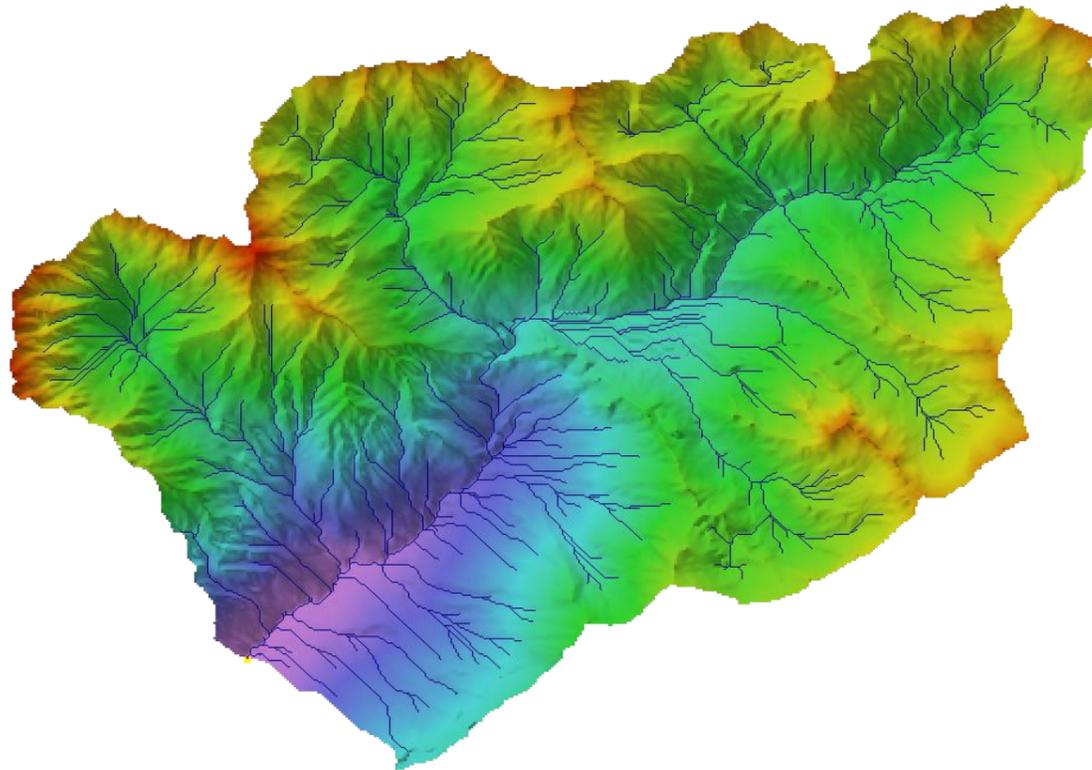
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL BACINO

Area planimetrica	[km <sup>2</sup> ]	<b>39.426</b>
Area effettiva	[km <sup>2</sup> ]	<b>76.56</b>
Perimetro	[km]	<b>38.12</b>
Altezza media	[m s.l.m.]	<b>2156.25</b>
Altezza massima	[m s.l.m.]	<b>3053.80</b>
Altezza minima	[m s.l.m.]	<b>887.21</b>
Pendenza media nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.78</b>
Pendenza massima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>6.77</b>
Pendenza minima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.00</b>
Pendenza media del bacino	[m/m]	<b>0.77</b>

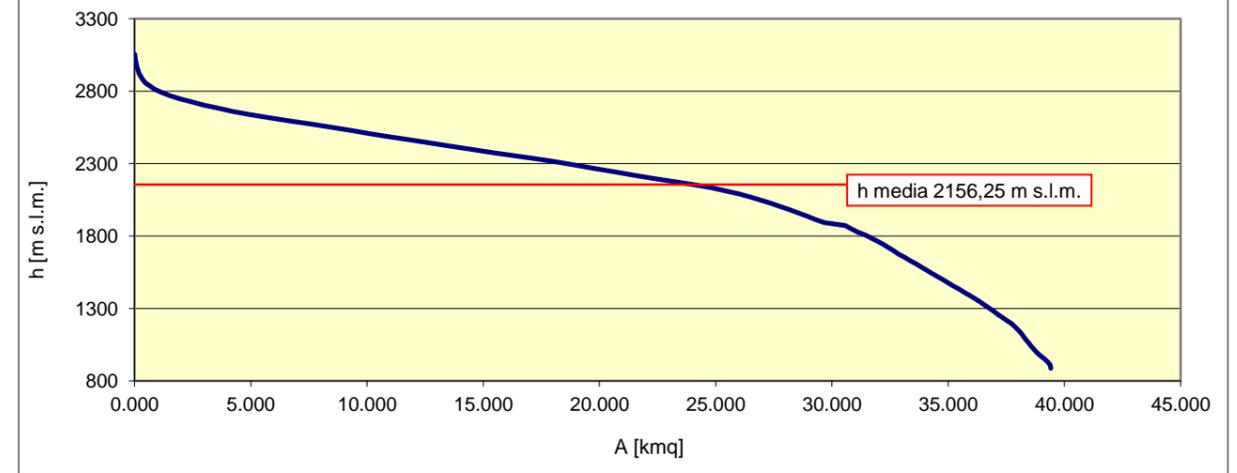
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL RETICOLO

Pendenza media dell'asta principale	[m/m]	<b>0.16</b>
Lunghezza dell'asta principale	[km]	<b>10.99</b>
Lunghezza totale della rete idrografica	[km]	<b>152.85</b>
Lunghezza media di deflusso	[km]	<b>0.13</b>
Densità di drenaggio	[km/km <sup>2</sup> ]	<b>3.88</b>

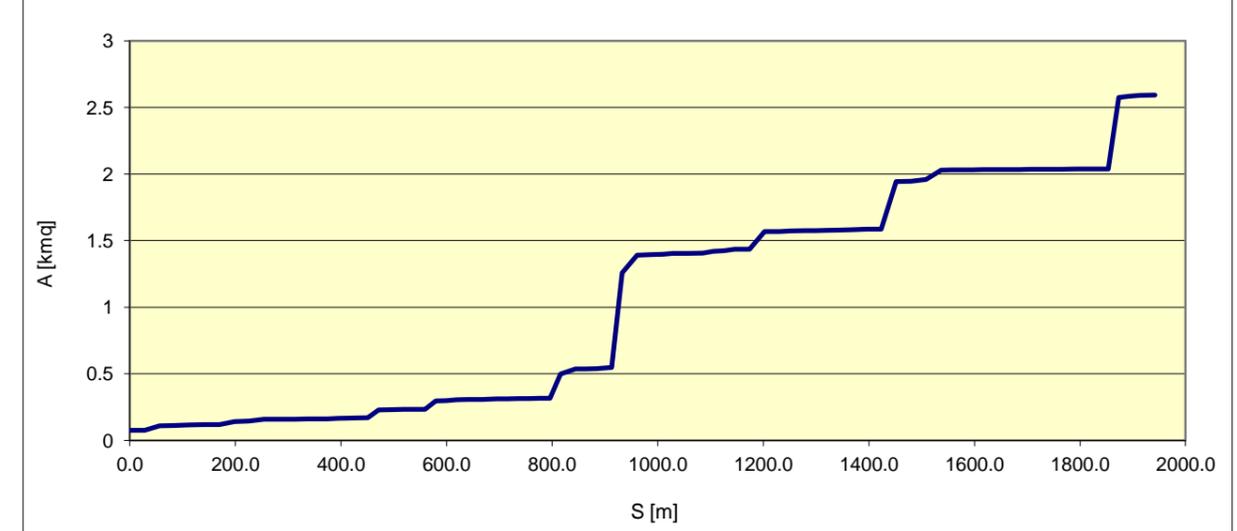
Mappa rappresentativa del bacino



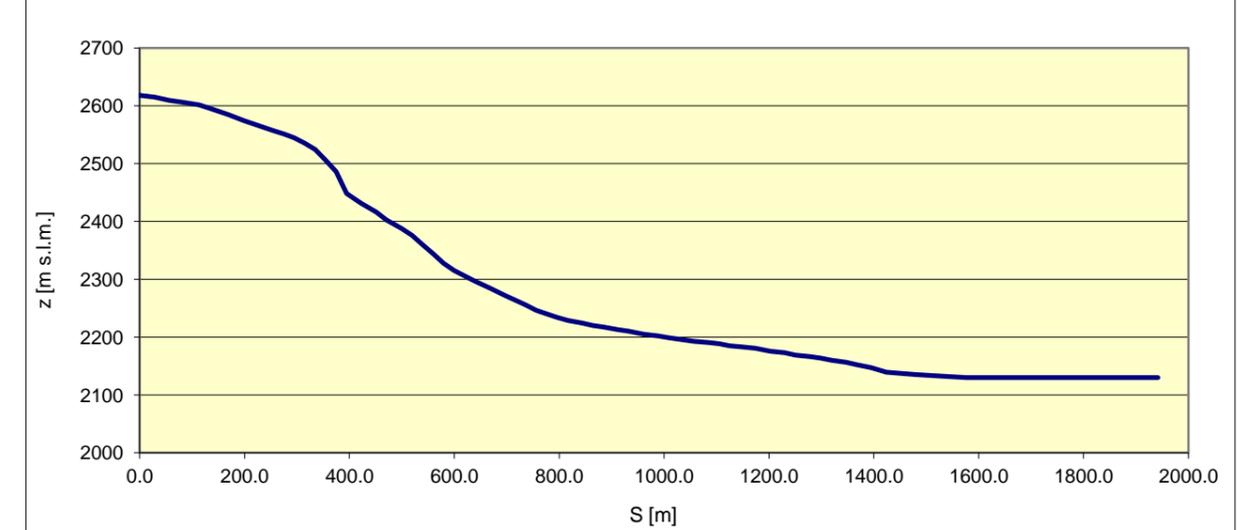
CURVA IPSOGRAFICA DEL BACINO



CURVA AREA DRENATA IN FUNZIONE DELLA PROGRESSIVA



PROFILO LONGITUDINALE



## "BACINO BONDIONE"

### SCHEDA BACINO E GRAFICI CARATTERISTICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

- ***Scheda bacino***
- ***Curva Ipsografica***
- ***Curva Area function in funzione della progressiva (area cumulata)***
- ***Curva del profilo longitudinale***



# "BACINO BONDIONE"

## ELEMENTI PRINCIPALI DEL BACINO E DEL RETICOLO IDROGRAFICO

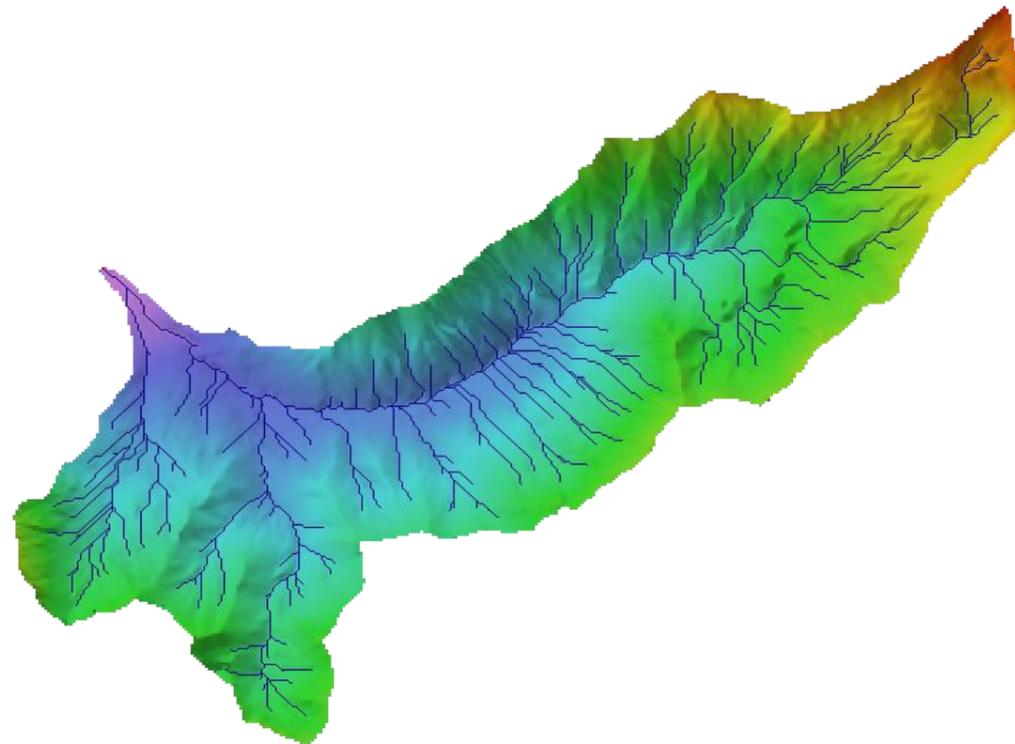
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL BACINO

Area planimetrica	[km <sup>2</sup> ]	<b>13.97</b>
Area effettiva	[km <sup>2</sup> ]	<b>42.35</b>
Perimetro	[km]	<b>28.52</b>
Altezza media	[m s.l.m.]	<b>1811.33</b>
Altezza massima	[m s.l.m.]	<b>2746.84</b>
Altezza minima	[m s.l.m.]	<b>866.73</b>
Pendenza media nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.64</b>
Pendenza massima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>3.58</b>
Pendenza minima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.00</b>
Pendenza media del bacino	[m/m]	<b>0.64</b>

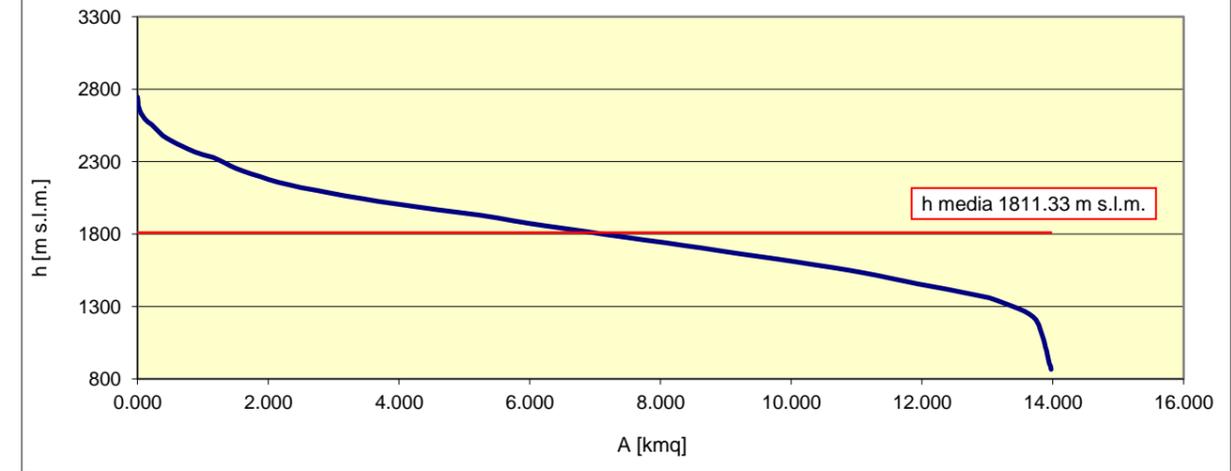
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL RETICOLO

Pendenza media dell'asta principale	[m/m]	<b>0.20</b>
Lunghezza dell'asta principale	[km]	<b>8.62</b>
Lunghezza totale della rete idrografica	[km]	<b>73.55</b>
Lunghezza media di deflusso	[km]	<b>0.10</b>
Densità di drenaggio	[km/km <sup>2</sup> ]	<b>5.26</b>

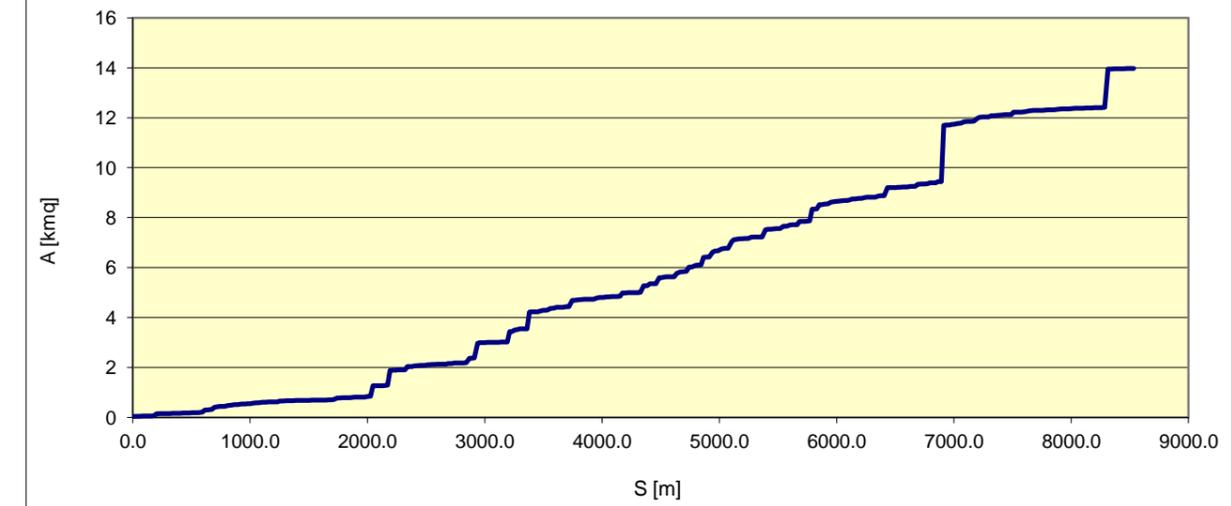
Mappa rappresentativa del bacino



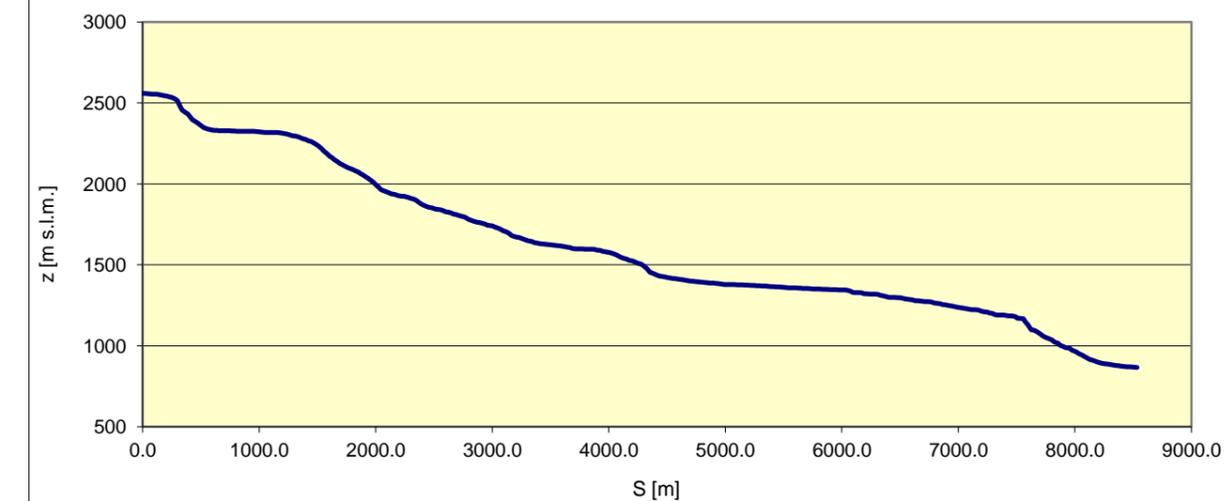
CURVA IPSOGRAFICA DEL BACINO



CURVA AREA DRENATA IN FUNZIONE DELLA PROGRESSIVA



PROFILO LONGITUDINALE



## "BACINO SERIO VALLE"

### SCHEDA BACINO E GRAFICI CARATTERISTICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

- ***Scheda bacino***
- ***Curva Ipsografica***
- ***Curva Area function in funzione della progressiva (area cumulata)***
- ***Curva del profilo longitudinale***



# "BACINO SERIO VALLE"

## ELEMENTI PRINCIPALI DEL BACINO E DEL RETICOLO IDROGRAFICO

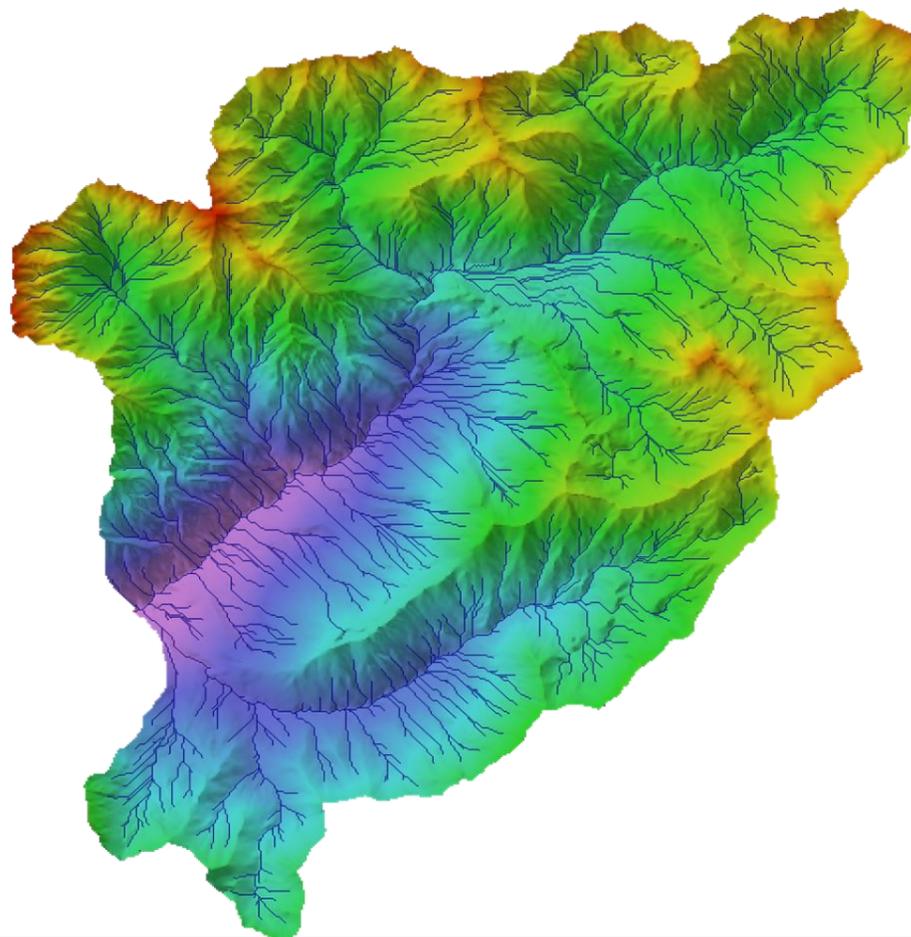
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL BACINO

Area planimetrica	[km <sup>2</sup> ]	<b>56.14</b>
Area effettiva	[km <sup>2</sup> ]	<b>110.05</b>
Perimetro	[km]	<b>47.64</b>
Altezza media	[m s.l.m.]	<b>2029.41</b>
Altezza massima	[m s.l.m.]	<b>3053.80</b>
Altezza minima	[m s.l.m.]	<b>862.17</b>
Pendenza media nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.75</b>
Pendenza massima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>6.77</b>
Pendenza minima nella direzione del drenaggio	[m/m]	<b>0.00</b>
Pendenza media del bacino	[m/m]	<b>0.73</b>

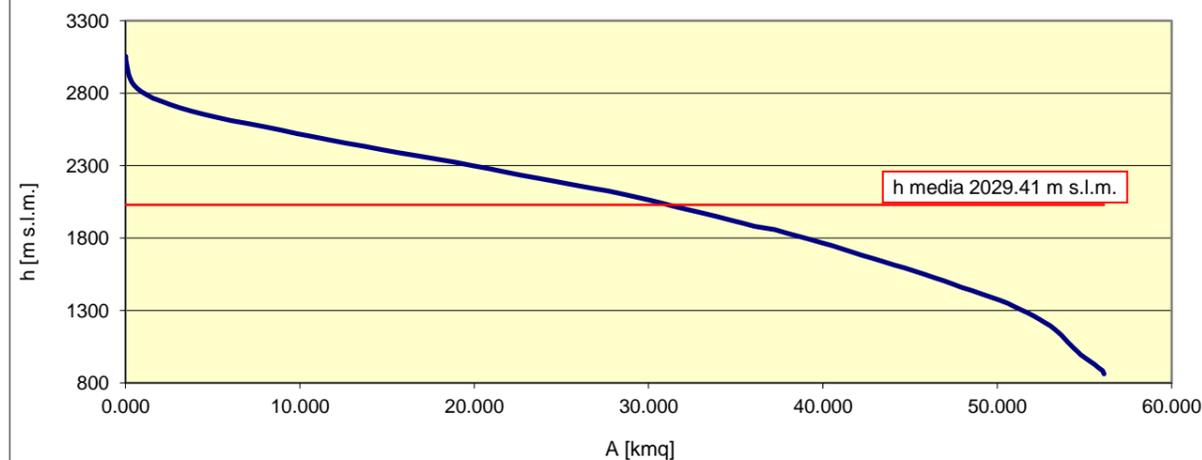
### DATI IDROMORFOLOGICI DEL RETICOLO

Pendenza media dell'asta principale	[m/m]	<b>0.14</b>
Lunghezza dell'asta principale	[km]	<b>12.33</b>
Lunghezza totale della rete idrografica	[km]	<b>312.13</b>
Lunghezza media di deflusso	[km]	<b>0.09</b>
Densità di drenaggio	[km/km <sup>2</sup> ]	<b>5.56</b>

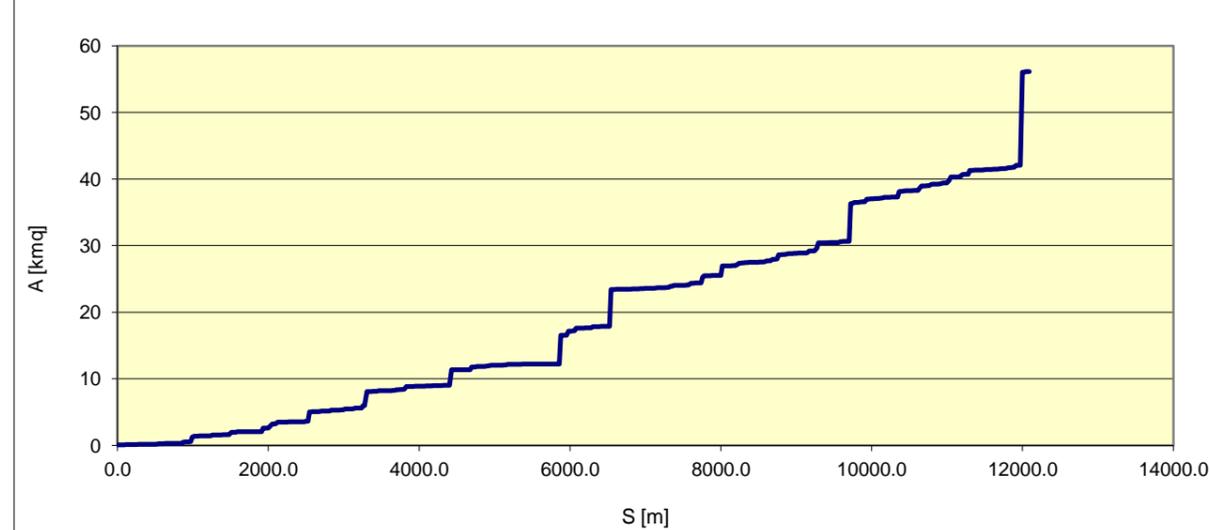
Mappa rappresentativa del bacino



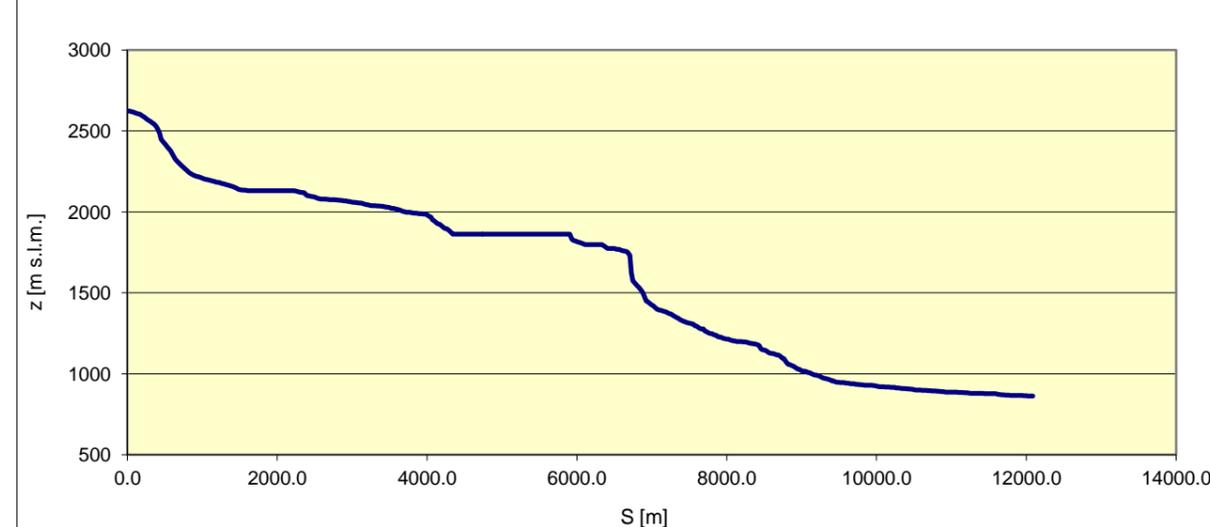
CURVA IPSOGRAFICA DEL BACINO



CURVA AREA DRENATA IN FUNZIONE DELLA PROGRESSIVA



PROFILO LONGITUDINALE



### 7.3 Curve di possibilità pluviometrica

*(Tratto in parte dagli studi condotti dal Prof. Paoletti all'interno del gruppo di lavoro per gli studi di settore al P.T.C.P. relativo al settore ambientale e di cui il sottoscritto era il coordinatore)*

#### 7.3.1 Elaborazioni PAI

Le curve di possibilità pluviometrica per i bacini in esame sono dedotti dal Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) che suddivide il bacino in celle di ciascuna delle quali fornisce i parametri. La curva è data nella forma:

$$h = a \cdot \theta^n$$

dove:

h è l'altezza di pioggia attesa, in [mm];

$\theta$  è la durata di pioggia, in [h];

a, n sono parametri che dipendono dal tempo di ritorno dell'evento T, dati per ciascuna cella e riportati nella seguente tabella.

Il totale è di 24 celle; poiché ciascuna cella è quadrata di lato 2 km, la superficie coperta è di 96 km<sup>2</sup>, superiore a quella del bacino complessivo. In altri termini, il bacino complessivo rimane, come è corretto che sia, all'interno dell'area discretizzata dalle celle selezionate.





Stazione	Prov.	Codice S.I.I.	Quota [m.s.m.]	Coord. N [Km]	Coord. E [Km]
Valmorta	BG	1008	1780	103	79

Le elaborazioni condotte sui dati raccolti sono state finalizzate alla individuazione della relazione statistica che lega l'altezza delle precipitazioni  $h$  alla durata  $d$  ed al tempo di ritorno  $T$ , relazione nota in idrologia tecnica come curva di possibilità pluviometrica e che solitamente è esprimibile nella forma monomia

$$h = a \cdot \theta^n$$

dove:

$h$  è l'altezza di pioggia attesa, in [mm];

$\theta$  è la durata di pioggia, in [h];

$a$ ,  $n$  sono parametri che dipendono dal tempo di ritorno dell'evento  $T$ , dati per ciascuna cella e riportati nella seguente tabella.

I parametri  $a$  e  $n$  sono da stimare sulla base delle serie storiche dei massimi annuali delle altezze di precipitazione disponibili per le differenti durate pubblicate negli Annuali: 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

A tal fine si è ipotizzato che per qualunque durata  $d$ , i valori di  $h$  seguano la distribuzione di probabilità asintotica di Gumbel (EV1), il cui uso è molto diffuso per regolarizzare serie empiriche di valori estremi.

Secondo tale modello la probabilità  $P$  di non superamento di un generico valore dell'altezza di pioggia  $h$ , segnata durata  $d$ , è esprimibile con la:

$$P(h) = \exp [- \exp [- \alpha (h-u) ] ]$$

Poiché la statistica viene effettuata sul massimo valore che in un anno assume la grandezza  $h$ , è possibile legare la probabilità  $P$  al tempo di ritorno  $T$ , definito



come il numero di anni in cui, mediamente,  $h$  viene superato una sola volta.

Si dimostra che  $T = 1 / (1 - P)$  e quindi si ha:

$$h(T) = u - (1/a) \ln \ln [T/(T-1)]$$

dove  $u$  e  $\alpha$  sono i parametri della distribuzione legati ai momenti del I° e II° ordine del campione dalle relazioni:

$$\alpha = 1,283/\sigma(h)$$

$$u = \mu(h) - 0,45\sigma(h)$$

con  $\mu(h)$  media e  $\sigma(h)$  varianza del campione stesso.

Eseguiti i calcoli dall'analisi dei diagrammi nel piano di Gumbel è emerso il buon adattamento di tutti i campioni alle distribuzioni di probabilità stimate.

Prefissato quindi un tempo di ritorno  $T$ , tramite l'espressione prima citata si sono calcolate le altezze di pioggia per le varie durate (1, 3, 6, 12, 24 ore) introducendo di volta in volta i parametri  $\alpha$  ed  $u$  calcolati sui campioni disponibili per le durate stesse.

I cinque valori di altezza di pioggia così ottenuti, posti sul piano  $\log h$ ,  $\log d$ , sono stati interpolati tramite una retta adottando il metodo dei minimi quadrati.

In tal modo si sono ottenuti per ogni tempo di ritorno i valori dei parametri  $a$  e  $n$  delle equazioni delle curve di possibilità pluviometrica.



### **7.3.3 Confronto tra curve di possibilità pluviometrica**

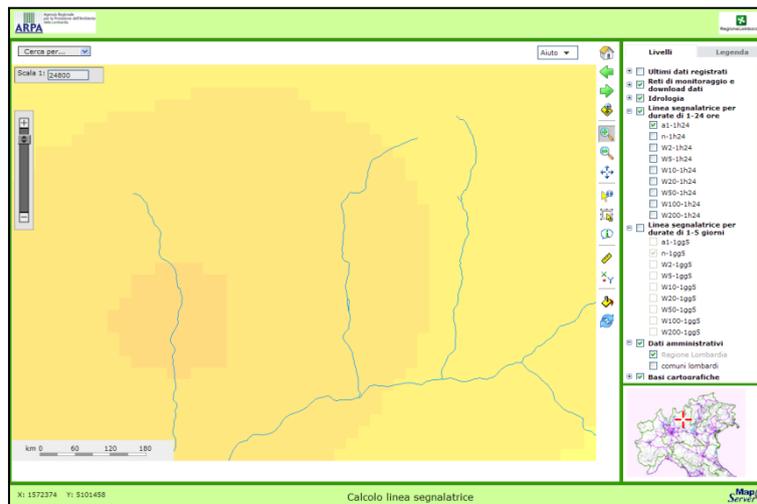
Come si può osservare dai grafici seguenti, le curve PAI e quelle risultanti dalla stazione pluviometrica considerata risultano essere confrontabili, seppure presentino uno scarto costante in funzione del tempo.

Per un'ulteriore verifica dei dati idrologici stimati, è stato svolto un confronto delle curve di possibilità pluviometrica ricavate con la curva di possibilità pluviometrica stimata da ARPA Lombardia, nell'ambito del progetto SHAKEUP-2 in tema di REGIME DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE SUL TERRITORIO DELLA LOMBARDIA.

Tale progetto è stato affidato dall'ARPA Lombardia al DIAR (Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, infrastrutture viarie e Rilevamento) del Politecnico di Milano, con l'obiettivo di modellazione probabilistica ai fini della previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata.

In tal modo, sono stati formulati i criteri e i metodi per la caratterizzazione idrologica del regime pluviale in Lombardia sviluppando, in particolare, la parametrizzazione della LSPP (linea segnalatrice di probabilità pluviometrica) per ogni sito stazione e per ogni punto griglia del territorio della Lombardia secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala-invariante (cfr. schermata di esempio del portale Webgis dell'ARPA Lombardia).





*Figura 15 - Schermata di esempio del portale webgis dell'ARPA Lombardia per la stima dei parametri delle LSPP.*

Nel grafico riportato nella pagina seguente, viene mostrato il confronto tra le tre curve di possibilità pluviometrica ottenute da fonti differenti (regionalizzazione PAI, analisi ARPA Lombardia e stazione pluviometrica puntuale).

Per la stima delle portate idriche del bacino in esame, si farà riferimento alle curve dedotte dal metodo di regionalizzazione del PAI, in quanto desunte da uno studio di regionalizzazione ed in ogni modo sempre più a favore di sicurezza.



## **7.4 Ietogramma sintetico di progetto e depurazione delle perdite**

### **7.4.1 Ietogramma di progetto**

Lo ietogramma è “un istogramma che rappresenta, per intervalli di tempo di assegnata durata  $\Delta t$ , il valore dell'altezza di pioggia (o dell'intensità) verificatesi in ciascuno di tali intervalli” (Maione, 1995).

Lo ietogramma sintetico delle piogge lorde, viene ricavato e dedotto direttamente, in mancanza di dati di pioggia diretti riferiti ad uno specificato evento, dalle curve di possibilità pluviometrica, con analisi statistiche più o meno complesse.

Ad uno ietogramma di progetto è associato un certo tempo di ritorno, o meglio qualche parte dello ietogramma (volume totale, intensità di picco, ecc.) presenta quel tempo di ritorno.

Si è scelto in fase progettuale di utilizzare uno **ietogramma di tipo Chicago** per il calcolo dell'idrogramma di piena.

Questo tipo di ietogramma, ha la proprietà che, se si considera una durata parziale all'interno della durata complessiva della pioggia, l'intensità del massimo scroscio relativo a tale durata è congruente con la curva di possibilità pluviometrica. Ha inoltre la qualità di essere poco sensibile alla variazione della durata di base  $d$ .

Non è così indispensabile trovare la durata critica dell'evento, essendo sufficiente che lo ietogramma abbia una durata maggiore o uguale alla durata critica presumibile per il bacino.



Un parametro di fondamentale importanza per questo tipo di ietogramma è la posizione del picco. Si è scelto di porlo a 3/8 della durata complessiva dell'evento sintetizzato.

Si è scelto di non raggugliare gli ietogrammi con la procedura Wallingford.

#### **7.4.2 Depurazione delle perdite**

Un passo importante per la determinazione della pioggia di progetto, è quello di depurare lo ietogramma *lordo* dalle cosiddette "perdite", in modo da riuscire a individuare uno ietogramma *netto* che sia il più possibile congruo con la situazione studiata.

Lo ietogramma lordo prima dedotto è stato depurato delle perdite idrologiche mediante il **metodo CN-SCS**, sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti.

Nell'ipotesi che:

- ☞ esista proporzionalità tra il deflusso netto, R, e l'afflusso meteorico lordo, P, depurato dalle perdite iniziali per detenzione superficiale, la
  - ☞ sia verificata la continuità della massa,
- si dimostra che il volume specifico di pioggia efficace R, conseguente alla precipitazione di altezza generica P, risulta

$$R = ((P - I_a)^2) / (P - I_a + S) \quad \text{per } P > I_a$$

$$R = 0 \quad \text{per } P < I_a$$

nella quale la rappresenta la perdita iniziale, frutto del complesso di fenomeni di intercettazione ed imbibimento che si attuano nella fase iniziale della precipitazione, ed S rappresenta il massimo volume specifico che può essere



invasato dal terreno, in funzione delle sue caratteristiche di permeabilità e dell'uso che di esso viene fatto.

Il valore di  $S$  è determinato in base a quello del parametro CN secondo la relazione:

$$S = S_0(100/CN - 1)$$

Con  $S_0 = 254$  nel caso in cui  $S$  si esprima in mm. Le altezze di pioggia per un generico  $\Delta t$  restano perciò determinate sottraendo all'altezza di pioggia netta,  $R$ , calcolata nell'istante  $(t+\Delta t)$  quella calcolata nell'istante  $t$ .

Il valore del CN viene desunto da un'analisi incrociata tra il tipo idrologico di suolo e la tipologia di uso del territorio. Nel caso in esame si è considerata la permeabilità e la copertura vegetazionali tratte dalle Carte Geoambientali della Regione Lombardia (Uso del suolo, idrologica con indicazioni della permeabilità).

Utilizzando questi valori si perviene ad un risultato comparabile con le esperienze di altri bacini simili, risultando un coefficiente di deflusso pari a 0,65.

Nell'immagine seguente viene mostrato un esempio di ietogrammi delle piogge lorde (colore rosso) e quelle depurate (colore verde) per  $T=100$  anni, mediante il metodo sopracitato:

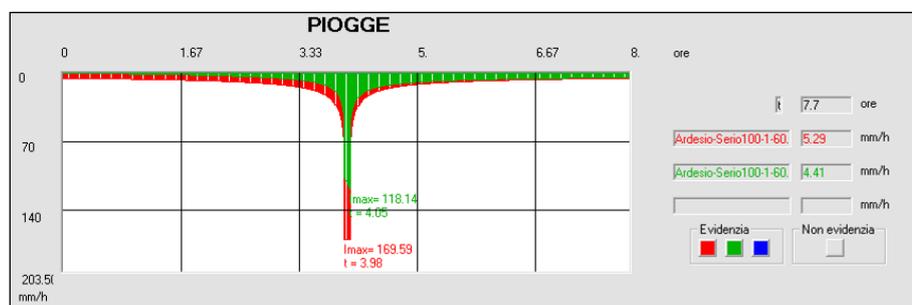


Figura 16 – Esempio di ietogrammi lorde (colore rosso) e netti (colore verde).



### 7.5 Calcolo della portata massima di piena

Quando l'oggetto di studio è costituito da bacini idrografici privi di misure di portata, o dove queste siano insufficienti per una stima diretta con metodi statistici della distribuzione di probabilità della portata al colmo, quest'ultima deve essere stimata indirettamente a partire dalle informazioni pluviometriche, generalmente di maggiore disponibilità. In seguito si illustrano in sintesi alcune classiche metodologie che consentono di valutare la portata al colmo alle sezioni di chiusura dei bacini note le caratteristiche pluviometriche della zona in esame.

È importante sottolineare che, operando la stima della portata al colmo a partire dalla precipitazione, si ritiene implicitamente valida l'ipotesi che la frequenza di accadimento degli eventi meteorici estremi caratterizza direttamente quella della portata al colmo; questa ipotesi, sebbene discutibile, è applicabile in prima approssimazione a bacini montani di piccole dimensioni simili a quello in esame.

Quindi, per il calcolo della portata di piena del corso d'acqua, in mancanza di misurazioni dirette di portata al colmo, si sono utilizzate varie formule che sono usualmente accettate per il dimensionamento e la verifica delle opere idrauliche.

Tra queste, alcune sono di natura empirica ed hanno un certo interesse per valutazioni speditive di prima approssimazione; altre sono derivate da calcoli indiretti delle portate (*razionale*), altre ancora seguono un approccio più modellistico (*invaso lineare*, *Nash*, *corrivazione*).

Per l'utilizzo di queste espressioni occorre conoscere alcuni parametri tipici del bacino interessato, in particolare quelli descritti nei capitoli precedenti.



Nel nostro caso si è scelto di utilizzare le seguenti formule:

Empiriche

- ◆ Forti
- ◆ Paoletti
- ◆ Anselmo

Modello afflussi-deflussi (stima portata critica)

- ◆ Formula razionale

Modelli lineari afflussi-deflussi (ricostruzione idrogramma)

- ◆ Metodo di Nash
- ◆ Metodo dell'Invaso



### **7.5.1 Descrizione delle formule utilizzate**

#### **☞ Forti - De Marchi**

Formula empirica che associa la portata solo all'area del bacino, non dedotta con considerazioni di carattere statistico.

E' utile per avere dei confronti con le altre formule.

#### **☞ Prof. Paoletti**

Ci si è avvalsi inoltre dei dati risultanti dallo studio relativo al P.T.C.P. redatto dal Prof. Paoletti.

In questo studio sono stati analizzati vari bacini, per riuscire a ricavare una relazione empirica che legasse i valori di portata al colmo alla superficie. In particolare sono stati analizzati i valori di portata centennale e duecentennale per vari bacini di diverse dimensioni.

Tale relazione è espressa dalla formula:

$$u = 15.38 * S^{-0.39}$$

dove:

u = contributo unitario di piena per chilometro quadrato.

S = superficie del bacino idrografico interessato

E' da tenere in considerazione che questa espressione è stata ricavata per un tempo di ritorno pari a cento anni.



☞ **Anselmo**

Formula empirica riportata nel capitolo di *zonazione della pericolosità generata da colate di detrito*, dei criteri attuativi della legge regionale 12/05 per il governo del territorio e sue successive modifiche. Anche in questo caso, il parametro richiesto è dato dal solo bacino imbrifero in esame.

☞ **Formula Razionale**

E' stata utilizzata, come detto in precedenza, la formula razionale (una delle varie espressioni del modello afflussi – deflussi), che raccoglie diversi parametri e considera uno ietogramma ad intensità costante.

La Formula Razionale esprime la portata al colmo di piena come prodotto tra l'intensità di precipitazione,  $i$ , di assegnata durata  $d$ , il coefficiente di afflusso  $\phi$ , la superficie del bacino  $A$  il coefficiente di attenuazione  $\varepsilon(d_c)$ :

$$Q_c = A \Phi(d_c) i(d_c) \varepsilon(d_c) \quad (1)$$

dove con  $d_c$  si è indicato il valore di durata critica, ossia la durata di pioggia che da luogo alla massima portata di piena.

L'intensità di precipitazione che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica. Questa esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione,  $d$ . Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica secondo le due forme equivalenti:



$$h(d) = m(d) \quad (2)$$

$$i(d) = \frac{h(d)}{d}$$

La prima delle quali da come risultato l'altezza di pioggia complessiva in mm dell'evento caratterizzato dalla durata  $d$ , mentre la seconda fornisce l'intensità media di tale evento e dove:

$$m(d) = a_1 d^n \quad (3)$$

Dove  $a_1$  è un parametro, corrispondente alla altezza di pioggia di durata oraria, dipendente dalla rarità dell'evento considerato. I parametri di tali formule, note come linee segnalatrici di probabilità pluviometrica, sono stimati in funzione della posizione geografica sito per sito.

La durata di pioggia critica ( $d_c$ ), necessaria per determinare dalla (2) l'altezza di pioggia, è assunta pari al tempo di corrivazione ( $t_c$ ) ossia quel tempo per cui tutta l'area del bacino contribuisce alla formazione della piena alla sezione di chiusura.

$$d_c = t_c \quad (4)$$

Tale tempo di corrivazione può essere ricavato tramite opportune espressioni empiriche, a partire dai parametri morfologici del bacino. Con tale metodo, il valore del coefficiente di attenuazione,  $\varepsilon(d_c)$ , viene posto pari ad uno, ossia si assume che il bacino non eserciti alcuna azione di attenuazione sulla piena (modello cinematico). Tale approssimazione è adatta in particolare per bacini montani, che non esercitano rilevanti effetti di invaso e laminazione.



---



---

 Formula di Giandotti (1934)

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{DH}}$$

Formula del Soil Conservation Service-CN (1975)

$$T_c = \frac{L_{ap}^{0.8} [(1000/CN - 9)]^{0.7}}{20 i_{media}^{0.5}}$$


---

Tabella : Formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione. Dove  $i$  media è la pendenza media del bacino espressa in numero percentuale (es. 22% = 22) e DH il dislivello medio riferito all'incile in metri.

### ☞ Modelli parametrici lineari (Invaso, Nash, corrivazione)

Simulano il comportamento dei bacini idrografici con un insieme di canali e serbatoi. La caratteristica più importante è quella della proporzionalità tra ingresso e uscita.

La portata uscente è definita dall'integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t u(t - \tau) \cdot p(\tau) \cdot dt$$

La funzione  $u(t)$  è definita I.U.H. (Instantaneous Unit Idrograph) idrogramma unitario istantaneo.

La forma dello I.U.H. dipende dal modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato.

### ☞ Metodo di Nash

Simula il comportamento del bacino mediante  $n$  serbatoi posti in serie caratterizzati dalla medesima costante temporale  $k$  e nessun canale.

Il suo I.U.H. è così rappresentato:



$$u(t) = \frac{1}{k \cdot \Gamma(n)} \cdot \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{-t/k}$$

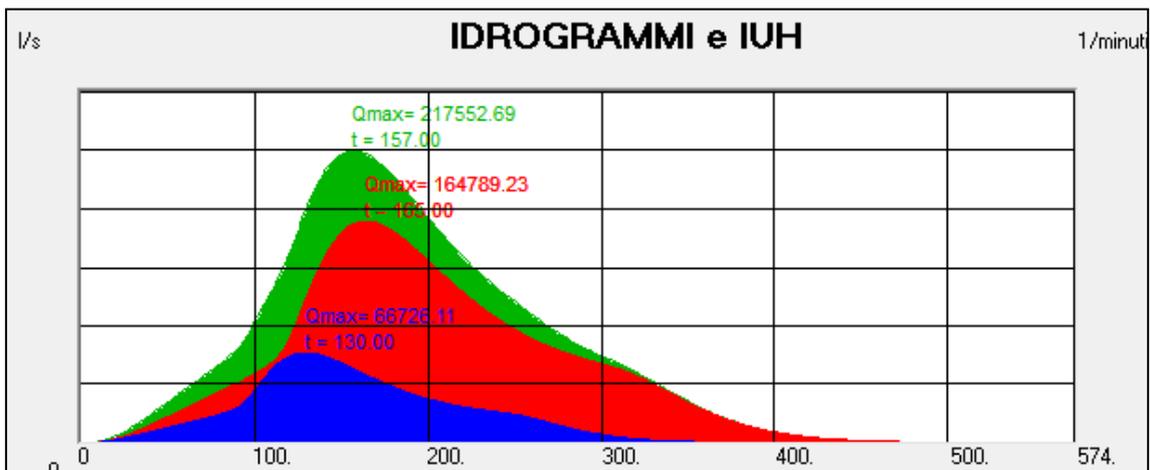
E' caratterizzato da una curva avente il colmo al tempo:

$$t_p = k \cdot (n - 1)$$

dove  $t_p$  è da assumere approssimativamente pari a metà del  $tc$ .

Per  $n$  si assumono valori non elevati, di solito  $n=3$ .

Nell'immagine seguente sono mostrati i 3 idrogrammi ottenuti per i rispettivi bacini sottesi:



*Figura 17 - Idrogrammi di piena dei tre bacini individuati: colore rosso Bacino Serio Monte, colore blu Bacino Bondione e colore verde Bacino Serio Valle.*

### ☞ Metodo dell'invaso lineare

Si basa sull'ipotesi che durante la piena in tutti i canali costituenti la rete idrografica del bacino la superficie libera della corrente muti la sua posizione traslando parallelamente a se stessa (funzionamento sincrono).

La formazione della piena si ipotizza avvenga per fenomeni di invaso simili a quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo



ed a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della bocca di uscita.

Il suo I.U.H. è così rappresentato:

$$u(t) = \frac{1}{k} \cdot e^{-t/k}$$

dove  $k$  è un parametro che rappresenta le caratteristiche del bacino.

In mancanza di tarature di eventi noti, che consentono la stima del valore di  $k$ , si ricorre a formulazione derivanti numerose tarature e riscontri.

Nel nostro caso si è scelto l'utilizzo del modello URBIS (Paoletti e Mignosa 1986) che propone di stimare la costante  $k$  in funzione del tempo di corrivazione come:

$$k = 0.7 \cdot T_c \quad (3)$$

Di seguito si riportano i fogli di calcolo inerenti le metodologie di calcolo delle portate aventi  $T_r = 100$  anni.



## **"BACINO SERIO MONTE"**

DATI E GRAFICI DEI CALCOLI DI PORTATA  
TR = 100 ANNI



## DATI BACINO

### Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

#### DATI

##### Parametri geo-morfologici

<b>A</b>	39.43	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	10.99	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>h max</b>	3053.80	m s.l.m.	Altitudine massima del bacino
<b>h med</b>	2156.25	m s.l.m.	Altitudine media del bacino
<b>h min</b>	887.21	m s.l.m.	Altitudine sezione di chiusura

##### Parametri pluviometrici

<b>a</b>	29.17	-	Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
<b>n</b>	0.48	-	Parametro della ccp

##### Coefficiente di afflusso

<b>φ</b>	0.65	-
----------	------	---

#### CALCOLI

##### Calcolo del tempo di corrivazione (Giandotti)

Tc                    1.46    ore  
                          87.00    min

$$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

##### Calcolo del parametro k (Metodo dell'invaso)

k                    1.02    ore  
                          60.90    min

##### Calcolo dei parametri k e n (Metodo di Nash)

n                    3.00  
k                    0.36    ore  
                          21.90    min

## FORMULA DI FORTI

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	39.43	Kmq	Area
---	-------	-----	------

Per bacini di superficie A inferiore a 1000 km<sup>2</sup>

$$q_{\max} = \frac{500 \cdot b}{A + 125} + a$$

### CALCOLI

a) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 200 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} q_c & 7.34 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{289.49} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

b) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 400 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} q_c & 10.88 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{429.10} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

### De Marchi

c) Bacini soggetti a piogge elevatissime (400 mm in 12 ore e oltre) e di superficie fino a circa 150 kmq

$$\begin{array}{lll} q_c & 23.24 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{916.54} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

### Scelta del valore che interessa

$$\mathbf{Q} \quad \mathbf{289.49} \quad \mathbf{m}^3/\mathbf{s}$$

### NOTE

La formula ha un interesse per lo più storico, in quanto dedotta in epoca ormai remota e quindi a partire da una base di dati idrometrica molto meno ampia di quella disponibile al giorno d'oggi.

## FORMULA DI PAOLETTI

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	39.43	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$qc = 15.38 \cdot (A^{-0.39})$$

qc 3.669306 m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)

**Q 144.68 m<sup>3</sup>/s**

**Note:** Formula ricavata dall'analisi di vari bacini nello studio del P.T.C.P.

**FORMULA METODI RAZIONALI (afflussi - deflussi)**  
**Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione**

**DATI**

<b>A</b>	39.43	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	10.99	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>hm</b>	2156.25	mslm	Altitudine media del bacino
<b>ho</b>	887.21	mslm	Altitudine sezione di chiusura
<b>ε</b>	1.00	-	Coefficiente di laminazione
<b>φ</b>	0.65	-	Coefficiente di deflusso
<b>a</b>	29.17	-	Parametro funzione del tempo di ritorno
<b>n</b>	0.48	-	Parametro

Per il calcolo del Tempo di  
Corrivazione (Tc)

(Da carte o analisi statistiche)

**CALCOLI**

**Calcolo del tempo di corrivazione**

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

Tc            1.46    ore

**Calcolo della portata**

$$q_c = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot A \cdot a \cdot T_c^{a-1}$$

**Q            170.59    m<sup>3</sup>/s**

N.B. 3.6 è un fattore di  
conversione per le U.M.

**NOTE**

La formula del tempo di corrivazione è quella di **Giandotti**

## FORMULA DI ANSELMO

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	39.43	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$Q = \left[ \frac{200}{A + 28} + 0.6 \right] \cdot A$$

q      3.57    m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)  
**Q      140.61   m<sup>3</sup>/s**

**Note:** Formula riportata nei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio  
(d.g.r. n. 8/7374 - 28/05/08)

## FORMULA METODO DI NASH

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0.00001	0.000
1	0.00010	0.503
2	0.00027	4.834
3	0.00050	16.344
4	0.00079	37.931
5	0.00112	72.080
6	0.00150	120.900
7	0.00190	186.160
8	0.00233	269.322
9	0.00279	371.567
10	0.00325	493.825
11	0.00372	636.803
12	0.00420	801.001
13	0.00469	986.740
14	0.00516	1194.180
15	0.00564	1423.336
16	0.00610	1674.098
17	0.00656	1946.244
18	0.00700	2239.453
19	0.00743	2553.321
20	0.00785	2887.372
21	0.00825	3241.065
22	0.00863	3613.809
23	0.00899	4004.968
24	0.00934	4413.871
25	0.00966	4839.818
26	0.00997	5282.088
27	0.01026	5739.944
28	0.01053	6212.639
29	0.01077	6699.420
30	0.01100	7199.532
31	0.01121	7712.223
32	0.01140	8236.748
33	0.01158	8772.371
34	0.01173	9318.365
35	0.01186	9874.020
36	0.01198	10438.642
37	0.01208	11011.553
38	0.01217	11592.095
39	0.01224	12179.632
40	0.01229	12773.549
41	0.01233	13373.252
42	0.01235	13978.173
43	0.01236	14587.766
44	0.01236	15201.510
45	0.01235	15818.910
46	0.01232	16439.494
47	0.01228	17062.816
48	0.01223	17688.455
49	0.01217	18316.014
50	0.01210	18945.123

51	0.01203	19575.433
52	0.01194	20206.624
53	0.01185	20838.397
54	0.01174	21470.478
55	0.01163	22102.615
56	0.01152	22734.582
57	0.01140	23366.173
58	0.01127	23997.206
59	0.01114	24627.520
60	0.01100	25256.977
61	0.01086	25885.460
62	0.01072	26512.871
63	0.01057	27139.134
64	0.01042	27764.193
65	0.01026	28388.012
66	0.01011	29010.574
67	0.00995	29631.881
68	0.00979	30251.956
69	0.00963	30870.839
70	0.00946	31488.588
71	0.00930	32105.281
72	0.00914	32721.014
73	0.00897	33335.901
74	0.00880	33950.076
75	0.00864	34563.689
76	0.00847	35176.911
77	0.00831	35789.931
78	0.00814	36402.959
79	0.00798	37016.221
80	0.00782	37629.968
81	0.00765	38244.469
82	0.00749	38860.016
83	0.00733	39476.924
84	0.00717	40095.531
85	0.00702	40716.202
86	0.00686	41339.328
87	0.00671	41965.327
88	0.00656	42594.652
89	0.00641	43227.785
90	0.00626	43865.246
91	0.00611	44507.596
92	0.00597	45155.438
93	0.00582	45809.422
94	0.00568	46470.253
95	0.00555	47138.696
96	0.00541	47815.582
97	0.00528	48501.820
98	0.00514	49198.404
99	0.00501	49906.433
100	0.00489	50627.118
101	0.00476	51361.811
102	0.00464	52112.024
103	0.00452	52879.468
104	0.00440	53666.087
105	0.00429	54474.122
106	0.00417	55306.185
107	0.00406	56165.367

108	0.00395	57055.395
109	0.00385	57980.887
110	0.00374	58947.757
111	0.00364	59964.000
112	0.00354	61045.258
113	0.00344	62234.163
114	0.00335	63571.762
115	0.00325	65092.864
116	0.00316	66826.622
117	0.00307	68792.192
118	0.00299	70976.320
119	0.00290	73358.504
120	0.00282	75916.898
121	0.00274	78629.231
122	0.00266	81473.395
123	0.00258	84427.824
124	0.00251	87471.749
125	0.00243	90585.364
126	0.00236	93749.935
127	0.00229	96947.862
128	0.00222	100162.712
129	0.00216	103379.230
130	0.00209	106583.326
131	0.00203	109762.057
132	0.00197	112903.597
133	0.00191	115997.199
134	0.00185	119033.150
135	0.00180	122002.731
136	0.00174	124898.164
137	0.00169	127712.564
138	0.00164	130439.892
139	0.00159	133074.904
140	0.00154	135613.103
141	0.00149	138050.689
142	0.00144	140384.515
143	0.00140	142612.040
144	0.00136	144731.286
145	0.00131	146740.798
146	0.00127	148639.601
147	0.00123	150427.160
148	0.00119	152103.350
149	0.00115	153668.414
150	0.00112	155122.936
151	0.00108	156467.805
152	0.00105	157704.188
153	0.00101	158833.502
154	0.00098	159857.389
155	0.00095	160777.688
156	0.00092	161596.418
157	0.00089	162315.749
158	0.00086	162937.988
159	0.00083	163465.560
160	0.00081	163900.986
161	0.00078	164246.872
162	0.00075	164505.892
163	0.00073	164680.774
164	0.00070	164774.287

165	0.00068	164789.232
166	0.00066	164728.426
167	0.00064	164594.698
168	0.00062	164390.877
169	0.00060	164119.783
170	0.00058	163784.222
171	0.00056	163386.976
172	0.00054	162930.802
173	0.00052	162418.422
174	0.00050	161852.518
175	0.00049	161235.731
176	0.00047	160570.655
177	0.00045	159859.835
178	0.00044	159105.761
179	0.00042	158310.870
180	0.00041	157477.540
181	0.00039	156608.089
182	0.00038	155704.777
183	0.00037	154769.799
184	0.00036	153805.289
185	0.00034	152813.316
186	0.00033	151795.886
187	0.00032	150754.942
188	0.00031	149692.361
189	0.00030	148609.956
190	0.00029	147509.477
191	0.00028	146392.612
192	0.00027	145260.984
193	0.00026	144116.155
194	0.00025	142959.627
195	0.00024	141792.840
196	0.00023	140617.175
197	0.00023	139433.957
198	0.00022	138244.452
199	0.00021	137049.870
200	0.00020	135851.367
201	0.00020	134650.046
202	0.00019	133446.958
203	0.00018	132243.101
204	0.00018	131039.427
205	0.00017	129836.838
206	0.00016	128636.188
207	0.00016	127438.289
208	0.00015	126243.907
209	0.00015	125053.764
210	0.00014	123868.544
211	0.00014	122688.889
212	0.00013	121515.403
213	0.00013	120348.653
214	0.00012	119189.170
215	0.00012	118037.450
216	0.00011	116893.956
217	0.00011	115759.118
218	0.00011	114633.338
219	0.00010	113516.984
220	0.00010	112410.400
221	0.00009	111313.900

222	0.00009	110227.773
223	0.00009	109152.281
224	0.00008	108087.665
225	0.00008	107034.140
226	0.00008	105991.902
227	0.00008	104961.124
228	0.00007	103941.960
229	0.00007	102934.545
230	0.00007	101938.994
231	0.00007	100955.409
232	0.00006	99983.871
233	0.00006	99024.447
234	0.00006	98077.191
235	0.00006	97142.142
236	0.00005	96219.324
237	0.00005	95308.750
238	0.00005	94410.422
239	0.00005	93524.329
240	0.00005	92650.450
241	0.00005	91788.756
242	0.00004	90939.206
243	0.00004	90101.751
244	0.00004	89276.335
245	0.00004	88462.893
246	0.00004	87661.354
247	0.00004	86871.638
248	0.00003	86093.663
249	0.00003	85327.336
250	0.00003	84572.563
251	0.00003	83829.242
252	0.00003	83097.270
253	0.00003	82376.535
254	0.00003	81666.926
255	0.00003	80968.325
256	0.00003	80280.613
257	0.00002	79603.667
258	0.00002	78937.362
259	0.00002	78281.570
260	0.00002	77636.161
261	0.00002	77001.005
262	0.00002	76375.968
263	0.00002	75760.917
264	0.00002	75155.715
265	0.00002	74560.227
266	0.00002	73974.316
267	0.00002	73397.845
268	0.00002	72830.675
269	0.00002	72272.669
270	0.00002	71723.688
271	0.00001	71183.595
272	0.00001	70652.253
273	0.00001	70129.523
274	0.00001	69615.269
275		69109.354
276		68611.106
277		68120.944
278		67638.735

279	67164.344
280	66697.639
281	66238.488
282	65786.761
283	65342.330
284	64905.065
285	64474.841
286	64051.532
287	63635.015
288	63225.168
289	62821.870
290	62425.001
291	62034.444
292	61650.084
293	61271.805
294	60899.495
295	60533.043
296	60172.338
297	59817.273
298	59467.742
299	59123.640
300	58784.864
301	58450.810
302	58118.072
303	57783.240
304	57443.383
305	57096.006
306	56739.006
307	56370.638
308	55989.479
309	55594.395
310	55184.515
311	54759.200
312	54318.021
313	53860.734
314	53387.263
315	52897.675
316	52392.166
317	51871.044
318	51334.716
319	50783.671
320	50218.471
321	49639.737
322	49048.141
323	48444.397
324	47829.250
325	47203.472
326	46567.853
327	45923.195
328	45270.307
329	44610.001
330	43943.086
331	43270.366
332	42592.633
333	41910.671
334	41225.244
335	40537.104

336	39846.979
337	39155.581
338	38463.596
339	37771.689
340	37080.501
341	36390.648
342	35702.719
343	35017.280
344	34334.869
345	33656.000
346	32981.160
347	32310.810
348	31645.385
349	30985.297
350	30330.930
351	29682.646
352	29040.783
353	28405.653
354	27777.547
355	27156.735
356	26543.463
357	25937.958
358	25340.424
359	24751.048
360	24169.997
361	23597.421
362	23033.450
363	22478.198
364	21931.766
365	21394.234
366	20865.672
367	20346.133
368	19835.658
369	19334.274
370	18841.997
371	18358.829
372	17884.763
373	17419.780
374	16963.853
375	16516.942
376	16078.999
377	15649.968
378	15229.780
379	14818.361
380	14415.625
381	14021.472
382	13635.793
383	13258.456
384	12889.302
385	12528.116
386	12174.555
387	11823.831
388	11481.422
389	11147.206
390	10821.060
391	10502.856
392	10197.683

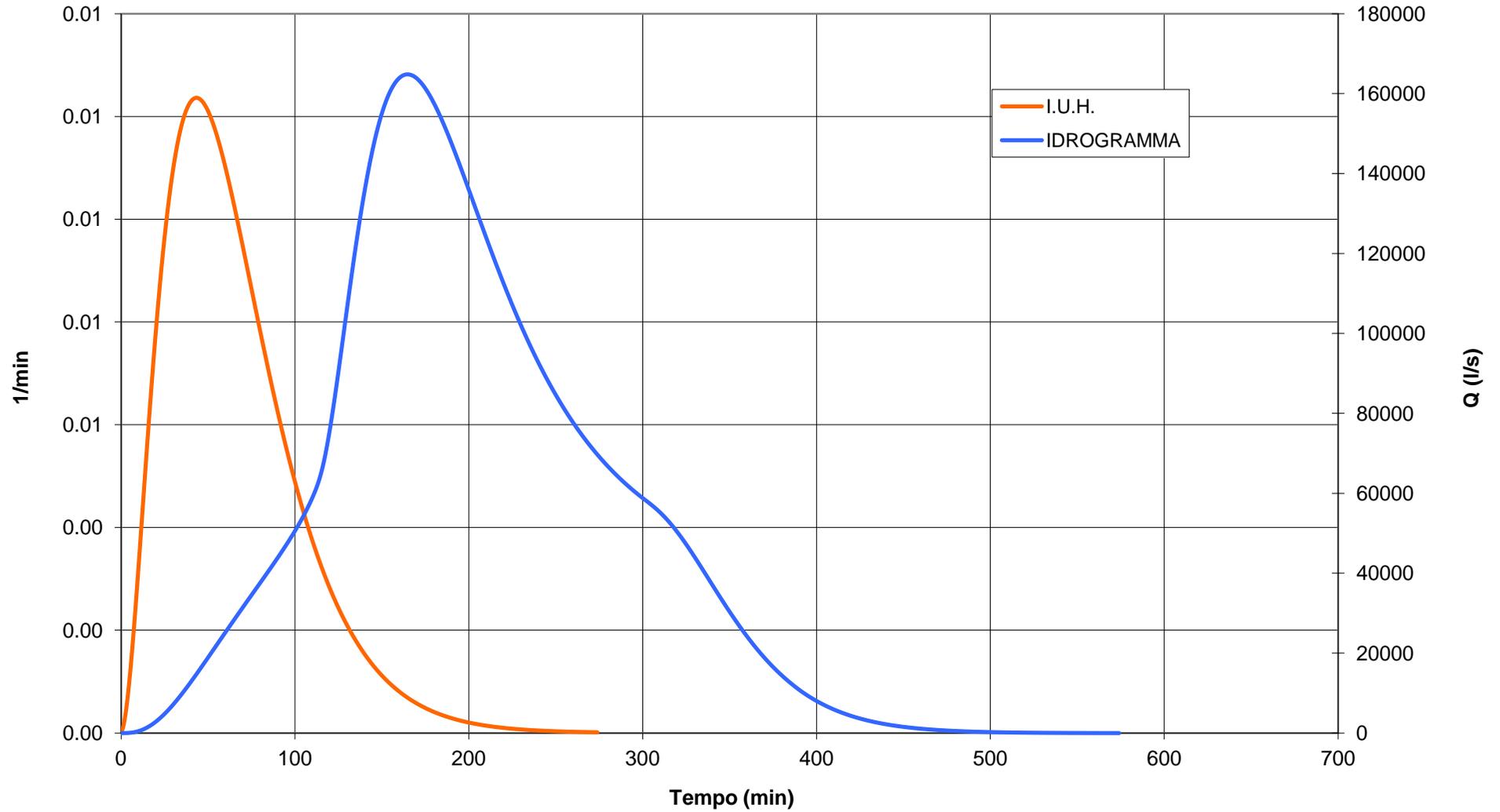
393	9900.502
394	9611.029
395	9329.040
396	9054.346
397	8786.774
398	8526.164
399	8272.365
400	8025.230
401	7784.617
402	7550.387
403	7322.405
404	7100.536
405	6884.648
406	6674.611
407	6470.297
408	6271.580
409	6078.334
410	5890.437
411	5707.767
412	5530.203
413	5357.627
414	5189.923
415	5026.976
416	4868.672
417	4714.899
418	4565.548
419	4420.511
420	4279.682
421	4142.955
422	4010.228
423	3881.399
424	3756.371
425	3635.045
426	3517.325
427	3403.119
428	3292.334
429	3184.879
430	3080.667
431	2979.610
432	2881.625
433	2786.628
434	2694.538
435	2605.274
436	2518.761
437	2434.921
438	2353.680
439	2274.965
440	2198.706
441	2124.833
442	2053.278
443	1983.975
444	1916.860
445	1851.869
446	1788.941
447	1728.017
448	1669.037
449	1611.945

450	1556.685
451	1503.202
452	1451.445
453	1401.362
454	1352.902
455	1306.017
456	1260.659
457	1216.783
458	1174.342
459	1133.294
460	1093.596
461	1055.206
462	1018.085
463	982.192
464	947.490
465	913.942
466	881.512
467	850.164
468	819.866
469	790.583
470	762.284
471	734.938
472	708.514
473	682.983
474	658.317
475	634.488
476	611.468
477	589.233
478	567.756
479	547.013
480	526.981
481	507.636
482	488.955
483	470.918
484	453.502
485	436.689
486	420.457
487	404.788
488	389.663
489	375.063
490	360.973
491	347.374
492	334.251
493	321.587
494	309.367
495	297.576
496	286.200
497	275.224
498	264.636
499	254.423
500	244.570
501	235.067
502	225.901
503	217.061
504	208.536
505	200.315
506	192.388

507	184.744
508	177.374
509	170.268
510	163.418
511	156.814
512	150.448
513	144.311
514	138.397
515	132.696
516	127.202
517	121.908
518	116.805
519	111.889
520	107.151
521	102.587
522	98.189
523	93.953
524	89.871
525	85.940
526	82.153
527	78.505
528	74.992
529	71.609
530	68.350
531	65.212
532	62.191
533	59.282
534	56.481
535	53.784
536	51.188
537	48.689
538	46.284
539	43.968
540	41.739
541	39.595
542	37.531
543	35.544
544	33.633
545	31.794
546	30.025
547	28.323
548	26.685
549	25.110
550	23.595
551	22.138
552	20.736
553	19.389
554	18.093
555	16.847
556	15.648
557	14.497
558	13.389
559	12.325
560	11.302
561	10.319
562	9.374
563	8.466

564		7.594	
565		6.756	
566		5.951	
567		5.177	
568		4.435	
569		3.721	
570		3.036	
571		2.378	
572		1.747	
573		1.141	
574		0.559	
	<b>Σ IUH</b>	<b>Portata al colmo</b>	
	1.0	<b>164789.2</b>	<b>l/s</b>
		<b>164.79</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

### IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI NASH



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## FORMULA METODO DELL'INVASO

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0	0.000
1	0.01623	701.996
2	0.01596	1395.907
3	0.01570	2081.909
4	0.01545	2760.176
5	0.01520	3430.879
6	0.01495	4094.190
7	0.01471	4750.277
8	0.01447	5399.308
9	0.01424	6041.448
10	0.01401	6676.862
11	0.01378	7305.713
12	0.01356	7928.162
13	0.01334	8544.370
14	0.01313	9154.497
15	0.01291	9758.700
16	0.01270	10357.138
17	0.01250	10949.965
18	0.01230	11537.338
19	0.01210	12119.411
20	0.01190	12696.339
21	0.01171	13268.274
22	0.01152	13835.370
23	0.01133	14397.778
24	0.01115	14955.650
25	0.01097	15509.139
26	0.01079	16058.395
27	0.01062	16603.570
28	0.01045	17144.815
29	0.01028	17682.282
30	0.01011	18216.122
31	0.00995	18746.487
32	0.00979	19273.529
33	0.00963	19797.401
34	0.00947	20318.256
35	0.00932	20836.250
36	0.00917	21351.537
37	0.00902	21864.274
38	0.00887	22374.617
39	0.00873	22882.727
40	0.00859	23388.763
41	0.00845	23892.887
42	0.00831	24395.264
43	0.00818	24896.060
44	0.00805	25395.443
45	0.00792	25893.585
46	0.00779	26390.659
47	0.00766	26886.841
48	0.00754	27382.313
49	0.00742	27877.257
50	0.00730	28371.861
51	0.00718	28866.316
52	0.00706	29360.819
53	0.00695	29855.570
54	0.00684	30350.777
55	0.00673	30846.650
56	0.00662	31343.408
57	0.00651	31841.275

58	0.00640	32340.484
59	0.00630	32841.275
60	0.00620	33343.896
61	0.00610	33848.603
62	0.00600	34355.664
63	0.00590	34865.358
64	0.00581	35377.972
65	0.00571	35893.809
66	0.00562	36413.185
67	0.00553	36936.430
68	0.00544	37463.889
69	0.00535	37995.927
70	0.00527	38532.927
71	0.00518	39075.292
72	0.00510	39623.449
73	0.00501	40177.849
74	0.00493	40738.972
75	0.00485	41307.325
76	0.00478	41883.450
77	0.00470	42467.928
78	0.00462	43061.376
79	0.00455	43664.459
80	0.00447	44277.890
81	0.00440	44902.440
82	0.00433	45538.940
83	0.00426	46188.291
84	0.00419	46851.475
85	0.00412	47529.561
86	0.00406	48223.717
87	0.00399	48935.229
88	0.00393	49665.513
89	0.00386	50416.135
90	0.00380	51188.837
91	0.00374	51985.561
92	0.00368	52808.489
93	0.00362	53660.080
94	0.00356	54543.125
95	0.00350	55460.810
96	0.00345	56416.798
97	0.00339	57415.337
98	0.00334	58461.389
99	0.00328	59560.813
100	0.00323	60720.603
101	0.00318	61949.212
102	0.00313	63257.005
103	0.00307	64656.916
104	0.00302	66165.405
105	0.00298	67803.941
106	0.00293	69601.376
107	0.00288	71597.978
108	0.00283	73852.790
109	0.00279	76458.423
110	0.00274	79575.129
111	0.00270	83527.828
112	0.00265	94443.781
113	0.00261	105183.162
114	0.00257	115748.827
115	0.00253	126143.585
116	0.00249	136370.201
117	0.00245	139628.213
118	0.00241	142177.728
119	0.00237	144217.952
120	0.00233	145869.651
121	0.00229	147212.822
122	0.00226	148303.833

123	0.00222	149184.253
124	0.00218	149885.834
125	0.00215	150433.515
126	0.00211	150847.326
127	0.00208	151143.663
128	0.00205	151336.154
129	0.00201	151436.284
130	0.00198	151453.839
131	0.00195	151397.242
132	0.00192	151273.809
133	0.00189	151089.939
134	0.00185	150851.270
135	0.00182	150562.800
136	0.00180	150228.980
137	0.00177	149853.799
138	0.00174	149440.842
139	0.00171	148993.347
140	0.00168	148514.251
141	0.00165	148006.220
142	0.00163	147471.688
143	0.00160	146912.882
144	0.00158	146331.841
145	0.00155	145730.441
146	0.00152	145110.408
147	0.00150	144473.336
148	0.00148	143820.697
149	0.00145	143153.856
150	0.00143	142474.075
151	0.00141	141782.531
152	0.00138	141080.314
153	0.00136	140368.441
154	0.00134	139647.860
155	0.00132	138919.455
156	0.00130	138184.050
157	0.00127	137442.418
158	0.00125	136695.280
159	0.00123	135943.311
160	0.00121	135187.144
161	0.00119	134427.372
162	0.00117	133664.550
163	0.00116	132899.201
164	0.00114	132131.814
165	0.00112	131362.848
166	0.00110	130592.735
167	0.00108	129821.881
168	0.00107	129050.666
169	0.00105	128279.449
170	0.00103	127508.565
171	0.00101	126738.332
172	0.00100	125969.046
173	0.00098	125200.987
174	0.00097	124434.417
175	0.00095	123669.583
176	0.00093	122906.717
177	0.00092	122146.037
178	0.00090	121387.747
179	0.00089	120632.038
180	0.00088	119879.092
181	0.00086	119129.076
182	0.00085	118382.148
183	0.00083	117638.458
184	0.00082	116898.144
185	0.00081	116161.335
186	0.00079	115428.152
187	0.00078	114698.709

188	0.00077	113973.112
189	0.00076	113251.457
190	0.00074	112533.837
191	0.00073	111820.337
192	0.00072	111111.035
193	0.00071	110406.003
194	0.00070	109705.310
195	0.00069	109009.016
196	0.00067	108317.178
197	0.00066	107629.849
198	0.00065	106947.076
199	0.00064	106268.903
200	0.00063	105595.367
201	0.00062	104926.504
202	0.00061	104262.347
203	0.00060	103602.921
204	0.00059	102948.253
205	0.00058	102298.363
206	0.00057	101653.270
207	0.00056	101012.990
208	0.00055	100377.534
209	0.00055	99746.913
210	0.00054	99121.135
211	0.00053	98500.205
212	0.00052	97884.126
213	0.00051	97272.899
214	0.00050	96666.523
215	0.00049	96064.995
216	0.00049	95468.311
217	0.00048	94876.463
218	0.00047	94289.444
219	0.00046	93707.243
220	0.00046	93129.851
221	0.00045	92557.254
222	0.00044	91989.438
223	0.00043	91426.389
224	0.00043	90868.090
225	0.00042	90314.524
226	0.00041	89765.673
227	0.00041	89221.516
228	0.00040	88682.034
229	0.00039	88147.205
230	0.00039	87617.007
231	0.00038	87091.418
232	0.00038	86570.414
233	0.00037	86053.971
234	0.00036	85542.063
235	0.00036	85034.665
236	0.00035	84531.751
237	0.00035	84033.294
238	0.00034	83539.268
239	0.00033	83049.644
240	0.00033	82564.394
241	0.00032	82083.491
242	0.00032	81606.905
243	0.00031	81134.606
244	0.00031	80666.567
245	0.00030	80202.756

246	0.00030	79743.143
247	0.00029	79287.700
248	0.00029	78836.394
249	0.00028	78389.196
250	0.00028	77946.074
251	0.00028	77506.998
252	0.00027	77071.936
253	0.00027	76640.857
254	0.00026	76213.729
255	0.00026	75790.523
256	0.00025	75371.204
257	0.00025	74955.743
258	0.00025	74544.108
259	0.00024	74136.267
260	0.00024	73732.188
261	0.00023	73331.840
262	0.00023	72935.191
263	0.00023	72542.209
264	0.00022	72152.864
265	0.00022	71767.123
266	0.00022	71384.955
267	0.00021	71006.329
268	0.00021	70631.213
269	0.00021	70259.577
270	0.00020	69891.388
271	0.00020	69526.617
272	0.00020	69165.232
273	0.00019	68807.202
274	0.00019	68452.497
275	0.00019	68101.087
276	0.00018	67752.939
277	0.00018	67408.026
278	0.00018	67066.316
279	0.00017	66727.779
280	0.00017	66392.385
281	0.00017	66060.106
282	0.00017	65730.911
283	0.00016	65404.770
284	0.00016	65081.656
285	0.00016	64761.539
286	0.00016	64444.390
287	0.00015	64130.180
288	0.00015	63818.881
289	0.00015	63510.464
290	0.00015	63204.903
291	0.00014	62902.168
292	0.00014	62602.232
293	0.00014	62305.068
294	0.00014	62010.648
295	0.00013	61718.945
296	0.00013	61429.933
297	0.00013	61143.583
298	0.00013	60859.871
299	0.00013	60578.770
300	0.00012	60300.253
301	0.00012	59324.858
302	0.00012	58365.241

303	0.00012	57421.146
304	0.00012	56492.322
305	0.00011	55578.522
306	0.00011	54679.504
307	0.00011	53795.028
308	0.00011	52924.859
309	0.00011	52068.766
310	0.00011	51226.520
311	0.00010	50397.899
312	0.00010	49582.680
313	0.00010	48780.649
314	0.00010	47991.591
315	0.00010	47215.296
316	0.00010	46451.558
317	0.00009	45700.175
318	0.00009	44960.945
319	0.00009	44233.673
320	0.00009	43518.165
321	0.00009	42814.231
322	0.00009	42121.684
323	0.00009	41440.338
324	0.00008	40770.014
325	0.00008	40110.533
326	0.00008	39461.720
327	0.00008	38823.401
328	0.00008	38195.408
329	0.00008	37577.573
330	0.00008	36969.732
331	0.00007	36371.723
332	0.00007	35783.387
333	0.00007	35204.568
334	0.00007	34635.111
335	0.00007	34074.866
336	0.00007	33523.683
337	0.00007	32981.416
338	0.00007	32447.921
339	0.00007	31923.055
340	0.00006	31406.679
341	0.00006	30898.656
342	0.00006	30398.851
343	0.00006	29907.130
344	0.00006	29423.363
345	0.00006	28947.421
346	0.00006	28479.178
347	0.00006	28018.509
348	0.00006	27565.292
349	0.00006	27119.406
350	0.00005	26680.732
351	0.00005	26249.154
352	0.00005	25824.557
353	0.00005	25406.828
354	0.00005	24995.857
355	0.00005	24591.533
356		24191.601
357		23798.128
358		23411.010
359		23030.143

360	22655.427
361	22286.761
362	21924.048
363	21567.191
364	21216.096
365	20870.669
366	20530.817
367	20196.452
368	19867.483
369	19543.824
370	19225.388
371	18912.091
372	18603.849
373	18300.580
374	18002.204
375	17708.642
376	17419.815
377	17135.646
378	16856.060
379	16580.982
380	16310.340
381	16044.062
382	15782.076
383	15524.312
384	15270.703
385	15021.181
386	14775.679
387	14534.132
388	14296.476
389	14062.648
390	13832.585
391	13606.226
392	13383.510
393	13164.379
394	12948.775
395	12736.639
396	12527.915
397	12322.548
398	12120.483
399	11921.666
400	11726.044
401	11533.565
402	11344.177
403	11157.831
404	10974.476
405	10794.063
406	10616.545
407	10441.873
408	10270.002
409	10100.885
410	9934.477
411	9770.733
412	9609.611
413	9451.065
414	9295.055
415	9141.538
416	8990.473

417	8841.819
418	8695.536
419	8551.586
420	8409.929
421	8270.527
422	8133.342
423	7998.338
424	7865.477
425	7734.724
426	7606.043
427	7479.399
428	7354.757
429	7232.083
430	7111.343
431	6992.505
432	6875.535
433	6760.401
434	6647.070
435	6535.511
436	6425.692
437	6317.582
438	6211.150
439	6106.365
440	6003.196
441	5901.614
442	5801.587
443	5703.086
444	5606.079
445	5510.537
446	5416.429
447	5323.723
448	5232.389
449	5142.393
450	5053.703
451	4966.286
452	4880.105
453	4795.123
454	4711.300
455	4628.595
456	4546.959
457	4466.341
458	4386.680
459	4307.906
460	4229.933
461	4152.655
462	4075.928
463	3999.553
464	3923.229
465	3846.446
466	3768.192
467	3669.701
468	3572.802
469	3477.471
470	3383.682
471	3291.410
472	3221.450
473	3154.627

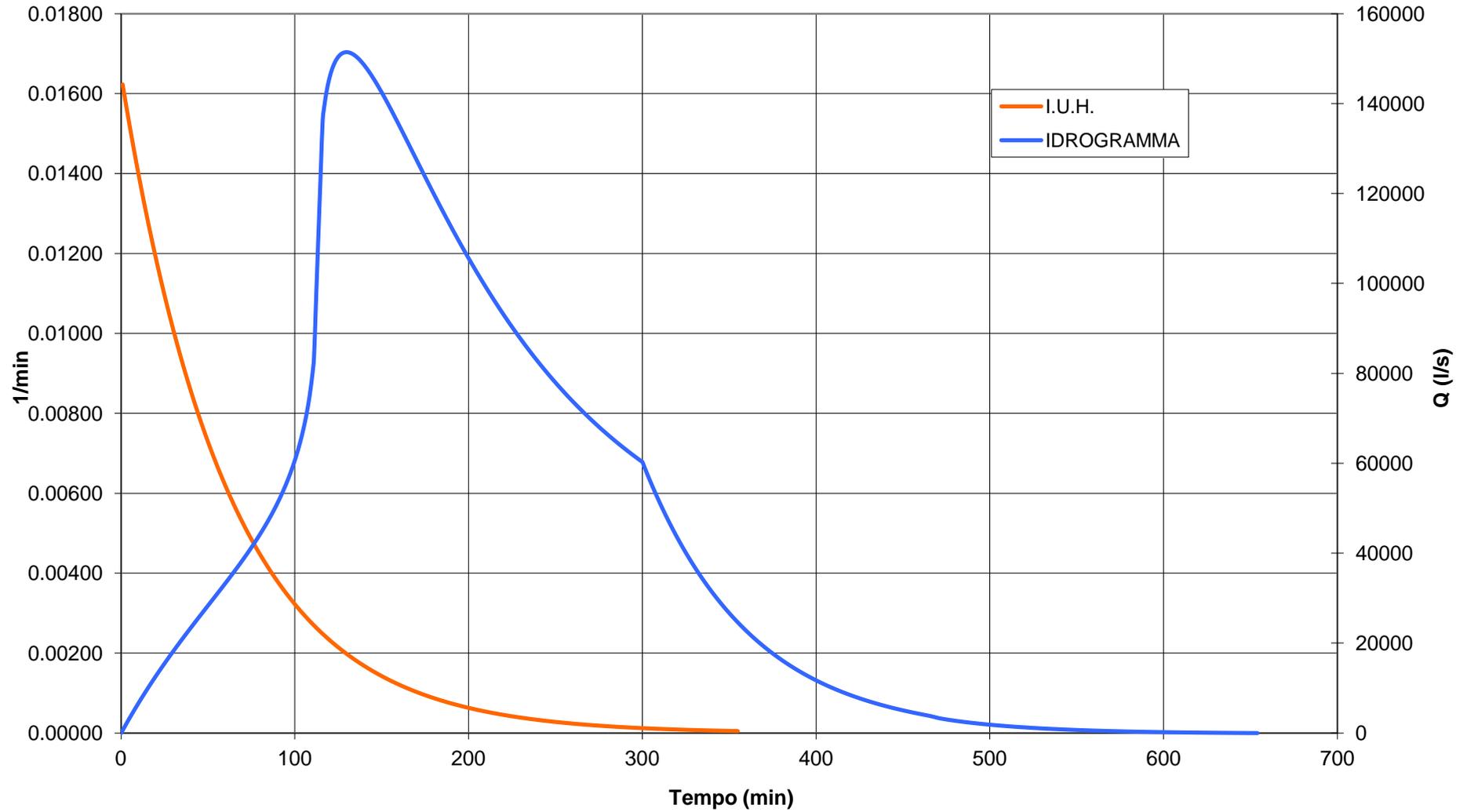
474	3090.318
475	3028.137
476	2967.824
477	2909.192
478	2852.099
479	2796.433
480	2742.104
481	2689.036
482	2637.165
483	2586.437
484	2536.802
485	2488.218
486	2440.646
487	2394.051
488	2348.400
489	2303.665
490	2259.817
491	2216.832
492	2174.685
493	2133.354
494	2092.818
495	2053.056
496	2014.050
497	1975.781
498	1938.232
499	1901.386
500	1865.227
501	1829.739
502	1794.909
503	1760.721
504	1727.161
505	1694.218
506	1661.876
507	1630.125
508	1598.952
509	1568.345
510	1538.292
511	1508.783
512	1479.807
513	1451.354
514	1423.412
515	1395.972
516	1369.025
517	1342.560
518	1316.569
519	1291.043
520	1265.972
521	1241.348
522	1217.163
523	1193.409
524	1170.077
525	1147.159
526	1124.649
527	1102.537
528	1080.818
529	1059.484
530	1038.527

531	1017.941
532	997.719
533	977.854
534	958.341
535	939.172
536	920.342
537	901.843
538	883.671
539	865.820
540	848.283
541	831.055
542	814.131
543	797.505
544	781.171
545	765.126
546	749.362
547	733.876
548	718.663
549	703.717
550	689.035
551	674.610
552	660.440
553	646.518
554	632.842
555	619.406
556	606.207
557	593.240
558	580.501
559	567.986
560	555.691
561	543.613
562	531.747
563	520.090
564	508.639
565	497.389
566	486.337
567	475.479
568	464.813
569	454.335
570	444.042
571	433.930
572	423.997
573	414.238
574	404.652
575	395.235
576	385.984
577	376.897
578	367.970
579	359.200
580	350.586
581	342.124
582	333.812
583	325.647
584	317.626
585	309.748
586	302.009
587	294.407

588	286.940
589	279.605
590	272.401
591	265.325
592	258.374
593	251.547
594	244.841
595	238.254
596	231.785
597	225.431
598	219.191
599	213.061
600	207.041
601	201.129
602	195.322
603	189.619
604	184.018
605	178.517
606	173.114
607	167.809
608	162.599
609	157.482
610	152.457
611	147.523
612	142.677
613	137.918
614	133.246
615	128.657
616	124.151
617	119.727
618	115.383
619	111.117
620	106.929
621	102.816
622	98.778
623	94.813
624	90.921
625	87.099
626	83.347
627	79.663
628	76.046
629	72.496
630	69.010
631	65.588
632	62.229
633	58.931
634	55.694
635	52.517
636	49.398
637	46.336
638	43.331
639	40.381
640	37.486
641	34.645
642	31.856
643	29.119
644	26.433

645		23.796	
646		21.209	
647		18.670	
648		16.179	
649		13.734	
650		11.335	
651		8.981	
652		6.671	
653		4.405	
654		2.182	
	<b>Σ IUH</b>	<b>Portata al colmo</b>	
	1.0	<b>151453.8</b>	<b>l/s</b>
		<b>151.45</b>	<b>m<sup>3</sup>/s</b>

### IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI INVASO



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## "BACINO BONDIONE"

### DATI E GRAFICI DEI CALCOLI DI PORTATA TR = 100 ANNI



## DATI BACINO

### Bacino Bondione

#### DATI

##### Parametri geo-morfologici

<b>A</b>	13.97	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	8.62	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>h max</b>	2747	m s.l.m.	Altitudine massima del bacino
<b>h med</b>	1811	m s.l.m.	Altitudine media del bacino
<b>h min</b>	867	m s.l.m.	Altitudine sezione di chiusura

##### Parametri pluviometrici

<b>a</b>	29.17	-	Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
<b>n</b>	0.48	-	Parametro della ccp

##### Coefficiente di afflusso

<b>φ</b>	0.65	-
----------	------	---

#### CALCOLI

##### Calcolo del tempo di corrvazione (Giandotti)

Tc                    1.13    ore  
                          68.00    min

$$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

##### Calcolo del parametro k (Metodo dell'invaso)

k                    0.79    ore  
                          47.60    min

##### Calcolo dei parametri k e n (Metodo di Nash)

n                    3.00  
k                    0.28    ore  
                          17.01    min

## FORMULA DI FORTI

### Bacino Bondione

#### DATI

A	13.97	Kmq	Area
---	-------	-----	------

Per bacini di superficie A inferiore a 1000 km<sup>2</sup>

$$q \max = \frac{500 \cdot b}{A + 125} + a$$

#### CALCOLI

a) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 200 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} qc & 8.60 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{120.08} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

b) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 400 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} qc & 12.69 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{177.32} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

#### De Marchi

c) Bacini soggetti a piogge elevatissime (400 mm in 12 ore e oltre) e di superficie fino a circa 150 kmq

$$\begin{array}{lll} qc & 26.59 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{371.43} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

#### Scelta del valore che interessa

$$\mathbf{Q} \quad \mathbf{120.08} \quad \mathbf{m}^3/\mathbf{s}$$

#### NOTE

La formula ha un interesse per lo più storico, in quanto dedotta in epoca ormai remota e quindi a partire da una base di dati idrometrica molto meno ampia di quella disponibile al giorno d'oggi.

## FORMULA DI PAOLETTI

Bacino Bondione

### DATI

A	13.97	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$qc = 15.38 \cdot (A^{-0.39})$$

qc 5.499583 m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)

**Q 76.83 m<sup>3</sup>/s**

**Note:** Formula ricavata dall'analisi di vari bacini nello studio del P.T.C.P.

## FORMULA METODI RAZIONALI (afflussi - deflussi)

### Bacino Bondione

#### DATI

<b>A</b>	13.97	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	8.62	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>hm</b>	1811.33	mslm	Altitudine media del bacino
<b>ho</b>	866.73	mslm	Altitudine sezione di chiusura
<b>ε</b>	1.00	-	Coefficiente di laminazione
<b>φ</b>	0.65	-	Coefficiente di deflusso
<b>a</b>	29.17	-	Parametro funzione del tempo di ritorno
<b>n</b>	0.48	-	Parametro

Per il calcolo del Tempo di  
Corrivazione (Tc)

(Da carte o analisi statistiche)

#### CALCOLI

##### Calcolo del tempo di corrivazione

Tc            1.13    ore

$$Tc = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

##### Calcolo della portata

**Q**            **68.92**        **m<sup>3</sup>/s**

$$qC = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot A \cdot a \cdot Tc^{a-1}$$

N.B. 3.6 è un fattore di  
conversione per le U.M.

#### NOTE

La formula del tempo di corrivazione è quella di **Giandotti**

## FORMULA DI ANSELMO

Bacino Bondione

### DATI

A	13.97	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$Q = \left[ \frac{200}{A + 28} + 0.6 \right] \cdot A$$

q      5.37      m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)  
**Q**      **74.95**      **m<sup>3</sup>/s**

**Note:** Formula riportata nei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio  
(d.g.r. n. 8/7374 - 28/05/08)

## FORMULA METODO DI NASH

### Bacino Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0.00002	0.429
1	0.00021	4.075
2	0.00055	13.640
3	0.00102	31.349
4	0.00159	59.005
5	0.00225	98.041
6	0.00296	149.561
7	0.00371	214.383
8	0.00449	293.077
9	0.00529	385.994
10	0.00609	493.298
11	0.00689	614.993
12	0.00768	750.946
13	0.00844	900.908
14	0.00918	1064.534
15	0.00989	1241.397
16	0.01056	1431.007
17	0.01120	1632.822
18	0.01180	1846.260
19	0.01236	2070.709
20	0.01288	2305.537
21	0.01335	2550.101
22	0.01379	2803.749
23	0.01418	3065.832
24	0.01453	3335.706
25	0.01483	3612.736
26	0.01510	3896.302
27	0.01533	4185.801
28	0.01552	4480.647
29	0.01568	4780.280
30	0.01580	5084.159
31	0.01589	5391.769
32	0.01594	5702.624
33	0.01597	6016.260
34	0.01597	6332.243
35	0.01594	6650.166
36	0.01588	6969.648
37	0.01581	7290.337
38	0.01571	7611.908
39	0.01558	7934.064
40	0.01544	8256.532
41	0.01529	8579.067
42	0.01512	8901.451
43	0.01493	9223.489
44	0.01473	9545.010
45	0.01451	9865.870
46	0.01429	10185.946
47	0.01406	10505.138
48	0.01382	10823.368
49	0.01357	11140.581
50	0.01331	11456.742
51	0.01305	11771.836
52	0.01279	12085.870
53	0.01252	12398.867
54	0.01224	12710.874
55	0.01197	13021.954
56	0.01170	13332.189
57	0.01142	13641.681

58	0.01114	13950.550
59	0.01087	14258.936
60	0.01059	14566.995
61	0.01032	14874.905
62	0.01004	15182.864
63	0.00977	15491.089
64	0.00951	15799.821
65	0.00924	16109.320
66	0.00898	16419.874
67	0.00872	16731.794
68	0.00847	17045.420
69	0.00822	17361.121
70	0.00797	17679.302
71	0.00773	18000.403
72	0.00749	18324.905
73	0.00726	18653.339
74	0.00703	18986.287
75	0.00681	19324.394
76	0.00659	19668.377
77	0.00637	20019.040
78	0.00617	20377.285
79	0.00596	20744.139
80	0.00576	21120.780
81	0.00557	21508.572
82	0.00538	21909.120
83	0.00519	22324.341
84	0.00501	22756.574
85	0.00484	23208.753
86	0.00467	23684.696
87	0.00450	24189.664
88	0.00434	24734.524
89	0.00419	25349.976
90	0.00404	26064.355
91	0.00389	26900.329
92	0.00375	27875.580
93	0.00361	28999.716
94	0.00348	30257.868
95	0.00335	31630.509
96	0.00322	33097.990
97	0.00310	34641.200
98	0.00298	36241.959
99	0.00287	37883.237
100	0.00276	39549.279
101	0.00265	41225.661
102	0.00255	42899.299
103	0.00245	44558.428
104	0.00236	46192.560
105	0.00226	47792.433
106	0.00218	49349.941
107	0.00209	50858.070
108	0.00201	52310.825
109	0.00193	53703.154
110	0.00185	55030.881
111	0.00178	56290.629
112	0.00170	57479.757
113	0.00163	58596.292
114	0.00157	59638.866
115	0.00150	60606.657
116	0.00144	61499.334
117	0.00138	62317.002
118	0.00133	63060.156
119	0.00127	63729.634
120	0.00122	64326.573
121	0.00117	64852.374
122	0.00112	65308.663

123	0.00107	65697.256
124	0.00103	66020.133
125	0.00098	66279.408
126	0.00094	66477.303
127	0.00090	66616.128
128	0.00086	66698.256
129	0.00083	66726.107
130	0.00079	66702.133
131	0.00076	66628.798
132	0.00073	66508.568
133	0.00069	66343.899
134	0.00067	66137.225
135	0.00064	65890.953
136	0.00061	65607.447
137	0.00058	65289.028
138	0.00056	64937.968
139	0.00053	64556.479
140	0.00051	64146.715
141	0.00049	63710.766
142	0.00047	63250.655
143	0.00045	62768.337
144	0.00043	62265.696
145	0.00041	61744.545
146	0.00039	61206.624
147	0.00037	60653.602
148	0.00035	60087.075
149	0.00034	59508.567
150	0.00032	58919.533
151	0.00031	58321.354
152	0.00030	57715.344
153	0.00028	57102.751
154	0.00027	56484.753
155	0.00026	55862.465
156	0.00025	55236.940
157	0.00023	54609.169
158	0.00022	53980.082
159	0.00021	53350.553
160	0.00020	52721.401
161	0.00019	52093.390
162	0.00019	51467.234
163	0.00018	50843.596
164	0.00017	50223.091
165	0.00016	49606.291
166	0.00015	48993.722
167	0.00015	48385.868
168	0.00014	47783.175
169	0.00013	47186.050
170	0.00013	46594.865
171	0.00012	46009.955
172	0.00012	45431.625
173	0.00011	44860.149
174	0.00011	44295.770
175	0.00010	43738.704
176	0.00010	43189.143
177	0.00009	42647.251
178	0.00009	42113.171
179	0.00008	41587.023
180	0.00008	41068.909
181	0.00008	40558.908
182	0.00007	40057.083
183	0.00007	39563.482
184	0.00007	39078.134
185	0.00006	38601.056

186	0.00006	38132.250
187	0.00006	37671.705
188	0.00005	37219.399
189	0.00005	36775.301
190	0.00005	36339.366
191	0.00005	35911.545
192	0.00004	35491.775
193	0.00004	35079.991
194	0.00004	34676.116
195	0.00004	34280.070
196	0.00004	33891.765
197	0.00003	33511.110
198	0.00003	33138.008
199	0.00003	32772.359
200	0.00003	32414.057
201	0.00003	32062.995
202	0.00003	31719.064
203	0.00003	31382.149
204	0.00002	31052.137
205	0.00002	30728.910
206	0.00002	30412.352
207	0.00002	30102.343
208	0.00002	29798.763
209	0.00002	29501.493
210	0.00002	29210.412
211	0.00002	28925.399
212	0.00002	28646.335
213	0.00002	28373.100
214	0.00002	28105.573
215	0.00001	27843.637
216	0.00001	27587.173
217	0.00001	27336.064
218		27089.981
219		26849.033
220		26613.104
221		26382.083
222		26155.857
223		25934.319
224		25717.359
225		25504.872
226		25296.753
227		25092.899
228		24893.210
229		24697.585
230		24505.927
231		24318.141
232		24134.134
233		23953.812
234		23777.087
235		23603.869
236		23434.073
237		23267.614
238		23104.410
239		22944.380
240		22787.017
241		22629.474
242		22469.016

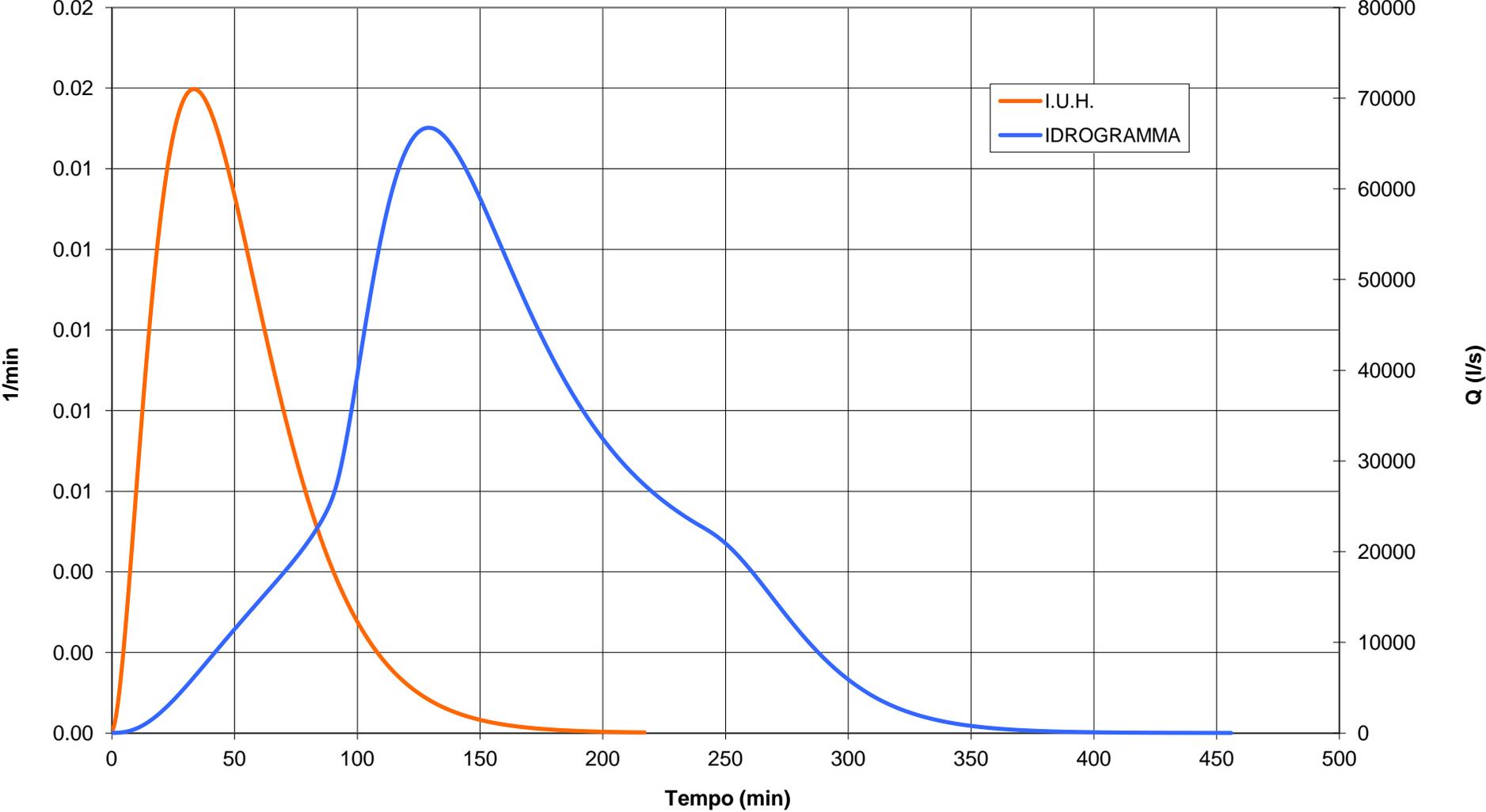
243	22303.409
244	22130.862
245	21949.972
246	21759.676
247	21559.209
248	21348.066
249	21125.960
250	20892.801
251	20648.660
252	20393.745
253	20128.383
254	19852.994
255	19568.080
256	19274.202
257	18971.971
258	18662.037
259	18345.072
260	18021.768
261	17692.826
262	17358.945
263	17020.824
264	16679.150
265	16334.597
266	15987.822
267	15639.461
268	15290.129
269	14940.413
270	14590.878
271	14242.057
272	13894.459
273	13548.563
274	13204.818
275	12863.645
276	12525.438
277	12190.560
278	11859.349
279	11532.113
280	11209.135
281	10890.674
282	10576.961
283	10268.206
284	9964.594
285	9666.289
286	9373.435
287	9086.154
288	8804.551
289	8528.711
290	8258.704
291	7994.583
292	7736.386
293	7484.136
294	7237.844
295	6997.508
296	6763.113
297	6534.635
298	6312.038
299	6095.277

300	5884.294
301	5679.024
302	5479.389
303	5285.296
304	5096.629
305	4913.224
306	4733.348
307	4558.902
308	4389.785
309	4225.898
310	4067.136
311	3915.231
312	3768.327
313	3626.261
314	3488.892
315	3356.091
316	3227.734
317	3103.704
318	2983.884
319	2868.161
320	2756.425
321	2648.565
322	2544.475
323	2444.047
324	2347.177
325	2253.762
326	2163.701
327	2076.894
328	1993.244
329	1912.653
330	1835.029
331	1760.278
332	1688.310
333	1619.036
334	1552.370
335	1488.226
336	1426.522
337	1367.177
338	1310.112
339	1255.249
340	1202.515
341	1151.835
342	1103.139
343	1056.357
344	1011.422
345	968.269
346	926.834
347	887.056
348	848.874
349	812.230
350	777.068
351	743.333
352	710.973
353	679.936
354	650.172
355	621.634
356	594.274

357	568.049
358	542.914
359	518.827
360	495.748
361	473.638
362	452.459
363	432.174
364	412.748
365	394.147
366	376.339
367	359.290
368	342.972
369	327.355
370	312.409
371	298.109
372	284.428
373	271.340
374	258.821
375	246.848
376	235.399
377	224.450
378	213.983
379	203.976
380	194.410
381	185.268
382	176.530
383	168.180
384	160.202
385	152.579
386	145.298
387	138.342
388	131.698
389	125.353
390	119.294
391	113.508
392	107.984
393	102.711
394	97.676
395	92.871
396	88.285
397	83.908
398	79.732
399	75.747
400	71.944
401	68.317
402	64.857
403	61.557
404	58.409
405	55.407
406	52.545
407	49.815
408	47.213
409	44.732
410	42.367
411	40.113
412	37.964
413	35.917

414	33.965
415	32.106
416	30.335
417	28.647
418	27.039
419	25.508
420	24.050
421	22.661
422	21.338
423	20.079
424	18.879
425	17.738
426	16.651
427	15.617
428	14.632
429	13.695
430	12.804
431	11.955
432	11.148
433	10.380
434	9.650
435	8.956
436	8.295
437	7.667
438	7.070
439	6.502
440	5.962
441	5.449
442	4.961
443	4.498
444	4.058
445	3.640
446	3.242
447	2.865
448	2.507
449	2.167
450	1.844
451	1.537
452	1.246
453	0.970
454	0.708
455	0.459
456	0.224
<b>Σ IUH</b>	<b>Portata al colmo</b>
1.0	<b>66726.1</b> l/s
	<b>66.73</b> m <sup>3</sup> /s

**IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI NASH**



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## FORMULA METODO DELL'INVASO

### Bacino Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0	360.010
1	0.02090	714.627
2	0.02046	1064.000
3	0.02004	1408.275
4	0.01962	1747.598
5	0.01921	2082.112
6	0.01881	2411.958
7	0.01842	2737.277
8	0.01803	3058.206
9	0.01766	3374.882
10	0.01729	3687.440
11	0.01693	3996.015
12	0.01658	4300.738
13	0.01623	4601.742
14	0.01589	4899.157
15	0.01556	5193.112
16	0.01524	5483.737
17	0.01492	5771.158
18	0.01461	6055.505
19	0.01430	6336.903
20	0.01400	6615.479
21	0.01371	6891.359
22	0.01343	7164.671
23	0.01315	7435.539
24	0.01287	7704.090
25	0.01260	7970.451
26	0.01234	8234.749
27	0.01208	8497.112
28	0.01183	8757.668
29	0.01159	9016.547
30	0.01134	9273.879
31	0.01111	9529.798
32	0.01088	9784.435
33	0.01065	10037.928
34	0.01043	10290.414
35	0.01021	10542.032
36	0.01000	10792.926
37	0.00979	11043.241
38	0.00958	11293.127
39	0.00938	11542.736
40	0.00919	11792.225
41	0.00900	12041.756
42	0.00881	12291.495
43	0.00863	12541.615
44	0.00845	12792.293
45	0.00827	13043.715
46	0.00810	13296.073
47	0.00793	13549.569
48	0.00776	13804.412
49	0.00760	14060.822
50	0.00744	14319.032
51	0.00729	14579.284
52	0.00714	14841.837
53	0.00699	15106.962
54	0.00684	15374.951
55	0.00670	15646.112
56	0.00656	15920.775
57	0.00642	16199.294

58	0.00629	16482.050
59	0.00616	16769.452
60	0.00603	17061.946
61	0.00590	17360.015
62	0.00578	17664.184
63	0.00566	17975.031
64	0.00554	18293.188
65	0.00543	18619.357
66	0.00531	18954.313
67	0.00520	19298.922
68	0.00509	19654.152
69	0.00499	20021.096
70	0.00488	20400.994
71	0.00478	20795.260
72	0.00468	21205.518
73	0.00458	21633.655
74	0.00449	22081.872
75	0.00440	22552.774
76	0.00430	23049.469
77	0.00421	23575.720
78	0.00413	24136.145
79	0.00404	24736.516
80	0.00396	25384.190
81	0.00387	26088.778
82	0.00379	26863.225
83	0.00371	27725.636
84	0.00364	28702.624
85	0.00356	29836.052
86	0.00349	31198.600
87	0.00341	32938.269
88	0.00334	37849.741
89	0.00327	42658.810
90	0.00320	47367.609
91	0.00314	51978.230
92	0.00307	56492.720
93	0.00301	57808.841
94	0.00295	58798.800
95	0.00288	59554.772
96	0.00282	60132.857
97	0.00276	60570.336
98	0.00271	60893.553
99	0.00265	61121.979
100	0.00260	61270.516
101	0.00254	61350.884
102	0.00249	61372.506
103	0.00244	61343.097
104	0.00239	61269.075
105	0.00234	61155.843
106	0.00229	61008.004
107	0.00224	60829.513
108	0.00219	60623.802
109	0.00215	60393.865
110	0.00210	60142.336
111	0.00206	59871.542
112	0.00202	59583.548
113	0.00197	59280.200
114	0.00193	58963.150
115	0.00189	58633.882
116	0.00185	58293.737
117	0.00181	57943.927
118	0.00178	57585.550
119	0.00174	57219.606
120	0.00170	56847.005
121	0.00167	56468.578
122	0.00163	56085.085

123	0.00160	55697.222
124	0.00157	55305.626
125	0.00153	54910.882
126	0.00150	54513.530
127	0.00147	54114.065
128	0.00144	53712.941
129	0.00141	53310.580
130	0.00138	52907.368
131	0.00135	52503.663
132	0.00132	52099.794
133	0.00129	51696.066
134	0.00127	51292.758
135	0.00124	50890.130
136	0.00122	50488.421
137	0.00119	50087.853
138	0.00117	49688.627
139	0.00114	49290.932
140	0.00112	48894.942
141	0.00109	48500.815
142	0.00107	48108.698
143	0.00105	47718.726
144	0.00103	47331.022
145	0.00101	46945.701
146	0.00098	46562.866
147	0.00096	46182.613
148	0.00094	45805.028
149	0.00092	45430.191
150	0.00091	45058.172
151	0.00089	44689.037
152	0.00087	44322.845
153	0.00085	43959.648
154	0.00083	43599.494
155	0.00081	43242.423
156	0.00080	42888.474
157	0.00078	42537.678
158	0.00076	42190.065
159	0.00075	41845.657
160	0.00073	41504.476
161	0.00072	41166.538
162	0.00070	40831.857
163	0.00069	40500.444
164	0.00067	40172.306
165	0.00066	39847.448
166	0.00065	39525.873
167	0.00063	39207.581
168	0.00062	38892.570
169	0.00061	38580.836
170	0.00059	38272.372
171	0.00058	37967.171
172	0.00057	37665.223
173	0.00056	37366.516
174	0.00055	37071.040
175	0.00053	36778.778
176	0.00052	36489.717
177	0.00051	36203.840
178	0.00050	35921.129
179	0.00049	35641.567
180	0.00048	35365.132
181	0.00047	35091.805
182	0.00046	34821.566
183	0.00045	34554.392
184	0.00044	34290.260
185	0.00043	34029.148
186	0.00042	33771.031
187	0.00042	33515.886

188	0.00041	33263.688
189	0.00040	33014.411
190	0.00039	32768.030
191	0.00038	32524.520
192	0.00037	32283.853
193	0.00037	32046.005
194	0.00036	31810.946
195	0.00035	31578.652
196	0.00034	31349.095
197	0.00034	31122.247
198	0.00033	30898.082
199	0.00032	30676.571
200	0.00032	30457.688
201	0.00031	30241.404
202	0.00030	30027.692
203	0.00030	29816.524
204	0.00029	29607.873
205	0.00028	29401.711
206	0.00028	29198.011
207	0.00027	28996.744
208	0.00027	28797.884
209	0.00026	28601.403
210	0.00026	28407.273
211	0.00025	28215.468
212	0.00025	28025.961
213	0.00024	27838.724
214	0.00023	27653.732
215	0.00023	27470.956
216	0.00023	27290.371
217	0.00022	27111.950
218	0.00022	26935.667
219	0.00021	26761.496
220	0.00021	26589.412
221	0.00020	26419.388
222	0.00020	26251.400
223	0.00019	26085.421
224	0.00019	25921.428
225	0.00019	25759.394
226	0.00018	25599.296
227	0.00018	25441.110
228	0.00017	25284.810
229	0.00017	25130.374
230	0.00017	24977.776
231	0.00016	24826.995
232	0.00016	24678.006
233	0.00016	24530.786
234	0.00015	24385.313
235	0.00015	24241.565
236	0.00015	24099.518
237	0.00014	23959.150
238	0.00014	23820.440
239	0.00014	23683.367
240	0.00014	23189.570
241	0.00013	22706.068
242	0.00013	22232.648
243	0.00013	21769.099
244	0.00012	21315.214
245	0.00012	20870.793

246	0.00012	20435.638
247	0.00012	20009.556
248	0.00011	19592.358
249	0.00011	19183.858
250	0.00011	18783.876
251	0.00011	18392.233
252	0.00011	18008.756
253	0.00010	17633.275
254	0.00010	17265.622
255	0.00010	16905.634
256	0.00010	16553.153
257	0.00009	16208.021
258	0.00009	15870.084
259	0.00009	15539.194
260	0.00009	15215.202
261	0.00009	14897.966
262	0.00009	14587.345
263	0.00008	14283.199
264	0.00008	13985.395
265	0.00008	13693.801
266	0.00008	13408.286
267	0.00008	13128.724
268	0.00008	12854.990
269	0.00007	12586.965
270	0.00007	12324.527
271	0.00007	12067.561
272	0.00007	11815.953
273	0.00007	11569.591
274	0.00007	11328.366
275	0.00006	11092.170
276	0.00006	10860.899
277	0.00006	10634.450
278	0.00006	10412.722
279	0.00006	10195.617
280	0.00006	9983.039
281	0.00006	9774.894
282	0.00006	9571.088
283	0.00005	9371.531
284	0.00005	9176.135
285	0.00005	8984.813
286	0.00005	8797.480
287	0.00005	8613.202
288		8432.761
289		8256.077
290		8083.072
291		7913.668
292		7747.792
293		7585.368
294		7426.326
295		7270.593
296		7118.102
297		6968.785
298		6822.575
299		6679.407
300		6539.218
301		6401.945
302		6267.529

303	6135.908
304	6007.024
305	5880.821
306	5757.243
307	5636.233
308	5517.740
309	5401.709
310	5288.090
311	5176.832
312	5067.886
313	4961.203
314	4856.736
315	4754.438
316	4654.265
317	4556.170
318	4460.112
319	4366.047
320	4273.934
321	4183.731
322	4095.398
323	4008.896
324	3924.187
325	3841.232
326	3759.996
327	3680.441
328	3602.533
329	3526.236
330	3451.517
331	3378.342
332	3306.679
333	3236.495
334	3167.759
335	3100.441
336	3034.510
337	2969.937
338	2906.693
339	2844.749
340	2784.077
341	2724.651
342	2666.443
343	2609.427
344	2553.577
345	2498.868
346	2445.275
347	2392.773
348	2341.338
349	2290.946
350	2241.574
351	2193.199
352	2145.798
353	2099.348
354	2053.827
355	2009.214
356	1965.485
357	1922.620
358	1880.595
359	1839.390

360	1798.981
361	1759.346
362	1720.461
363	1682.304
364	1644.847
365	1608.065
366	1571.927
367	1536.402
368	1501.450
369	1467.028
370	1433.077
371	1399.521
372	1366.246
373	1333.067
374	1299.621
375	1259.287
376	1219.794
377	1181.125
378	1143.261
379	1106.187
380	1077.227
381	1049.576
382	1023.006
383	997.373
384	972.579
385	948.551
386	925.231
387	902.576
388	880.547
389	859.112
390	838.243
391	817.917
392	798.110
393	778.804
394	759.981
395	741.623
396	723.715
397	706.243
398	689.193
399	672.553
400	656.310
401	640.453
402	624.971
403	609.854
404	595.092
405	580.675
406	566.595
407	552.841
408	539.407
409	526.283
410	513.462
411	500.937
412	488.699
413	476.742
414	465.059
415	453.643
416	442.488

417	431.588
418	420.935
419	410.525
420	400.352
421	390.410
422	380.693
423	371.197
424	361.915
425	352.844
426	343.978
427	335.312
428	326.843
429	318.564
430	310.472
431	302.563
432	294.833
433	287.276
434	279.890
435	272.670
436	265.613
437	258.715
438	251.973
439	245.382
440	238.939
441	232.642
442	226.486
443	220.469
444	214.587
445	208.838
446	203.218
447	197.725
448	192.355
449	187.106
450	181.976
451	176.961
452	172.059
453	167.267
454	162.584
455	158.006
456	153.531
457	149.157
458	144.882
459	140.704
460	136.620
461	132.628
462	128.726
463	124.912
464	121.185
465	117.542
466	113.981
467	110.501
468	107.100
469	103.776
470	100.527
471	97.352
472	94.249
473	91.217

474	88.254
475	85.357
476	82.527
477	79.762
478	77.059
479	74.418
480	71.837
481	69.315
482	66.851
483	64.443
484	62.090
485	59.792
486	57.545
487	55.351
488	53.207
489	51.112
490	49.065
491	47.065
492	45.112
493	43.203
494	41.339
495	39.518
496	37.739
497	36.001
498	34.303
499	32.645
500	31.026
501	29.444
502	27.899
503	26.390
504	24.916
505	23.477
506	22.071
507	20.698
508	19.358
509	18.049
510	16.771
511	15.523
512	14.305
513	13.115
514	11.954
515	10.820
516	9.713
517	8.632
518	7.577
519	6.548
520	5.543
521	4.562
522	3.604
523	2.670
524	1.758
525	0.868

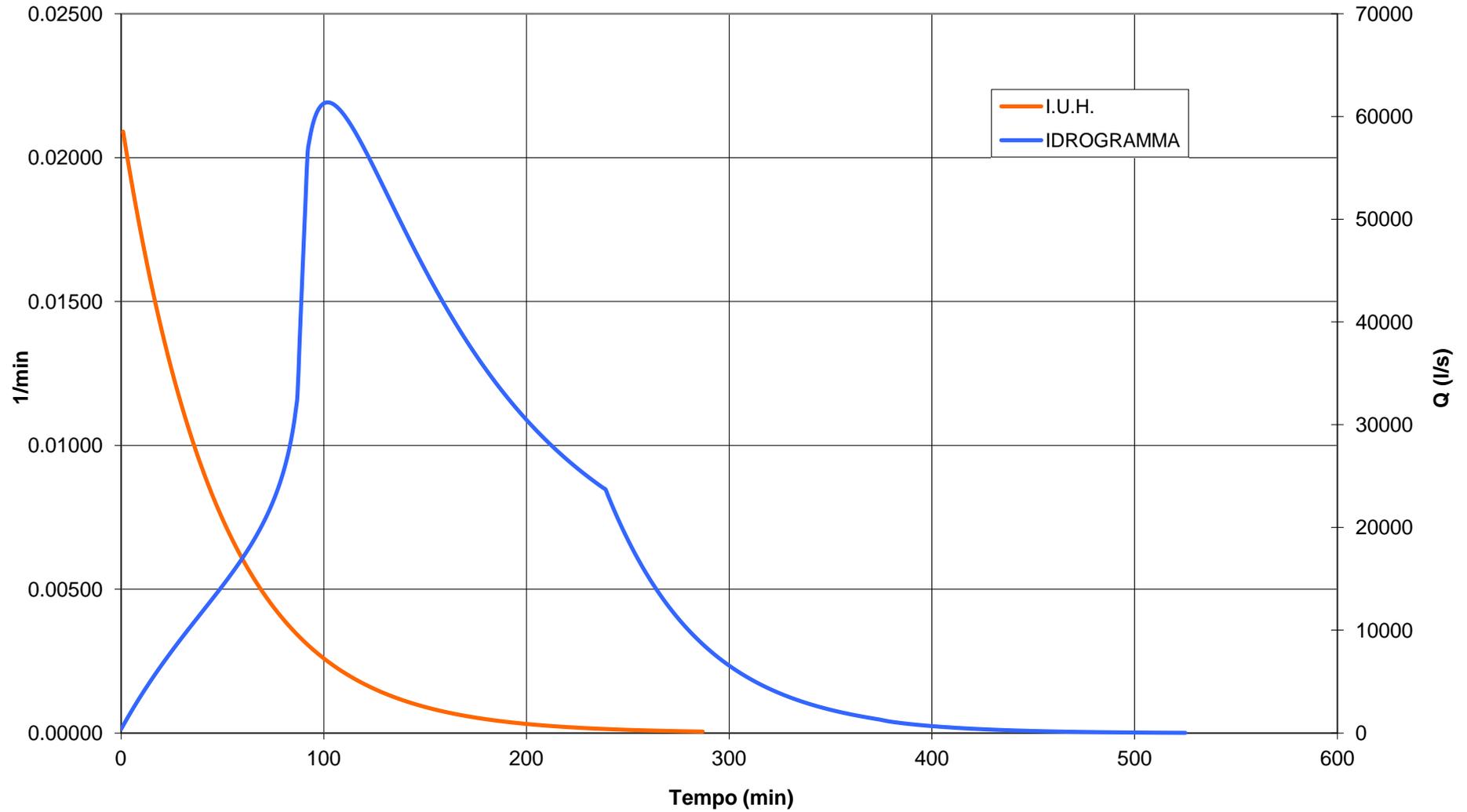
$\Sigma$  IUH  
1.0

**Portata al colmo**

**61372.5**  
**61.37**

l/s  
m<sup>3</sup>/s

### IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI INVASO



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## "BACINO SERIO VALLE"

### DATI E GRAFICI DEI CALCOLI DI PORTATA TR = 100 ANNI



## DATI BACINO

### Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

#### DATI

##### Parametri geo-morfologici

<b>A</b>	56.14	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	12.33	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>h max</b>	3053.80	m s.l.m.	Altitudine massima del bacino
<b>h med</b>	2029.41	m s.l.m.	Altitudine media del bacino
<b>h min</b>	862.17	m s.l.m.	Altitudine sezione di chiusura

##### Parametri pluviometrici

<b>a</b>	29.17	-	Parametro della ccp (funzione del tempo di ritorno)
<b>n</b>	0.48	-	Parametro della ccp

##### Coefficiente di afflusso

<b>φ</b>	0.65	-
----------	------	---

#### CALCOLI

##### Calcolo del tempo di corrivazione (Giandotti)

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - h_0}}$$

T<sub>c</sub>                    1.77    ore  
                          106.00   min

##### Calcolo del parametro k (Metodo dell'invaso)

k                      1.24    ore  
                          74.20   min

##### Calcolo dei parametri k e n (Metodo di Nash)

n                      3.00  
k                      0.44    ore  
                          26.60   min

## FORMULA DI FORTI

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	56.14	Kmq	Area
---	-------	-----	------

Per bacini di superficie A inferiore a 1000 km<sup>2</sup>

$$q_{\max} = \frac{500 \cdot b}{A + 125} + a$$

### CALCOLI

a) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 200 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} q_c & 6.71 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{376.74} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

b) Bacini con pioggia massima giornaliera mai registrata < 400 mm/giorno

$$\begin{array}{lll} q_c & 9.97 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{559.77} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

### De Marchi

c) Bacini soggetti a piogge elevatissime (400 mm in 12 ore e oltre) e di superficie fino a circa 150 kmq

$$\begin{array}{lll} q_c & 21.56 & \text{m}^3/(\text{s} \cdot \text{Km}^2) \\ \mathbf{Q} & \mathbf{1210.48} & \mathbf{m}^3/\mathbf{s} \end{array}$$

### Scelta del valore che interessa

$$\mathbf{Q} \quad \mathbf{376.74} \quad \mathbf{m}^3/\mathbf{s}$$

### NOTE

La formula ha un interesse per lo più storico, in quanto dedotta in epoca ormai remota e quindi a partire da una base di dati idrometrica molto meno ampia di quella disponibile al giorno d'oggi.

## FORMULA DI PAOLETTI

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	56.14	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$qc = 15.38 \cdot (A^{-0.39})$$

qc 3.196981 m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)

**Q 179.48 m<sup>3</sup>/s**

**Note:** Formula ricavata dall'analisi di vari bacini nello studio del P.T.C.P.

**FORMULA METODI RAZIONALI (afflussi - deflussi)**  
**Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione**

**DATI**

<b>A</b>	56.14	Km <sup>2</sup>	Area
<b>L</b>	12.33	Km	Lunghezza percorso più lungo del bacino
<b>hm</b>	2029.41	mslm	Altitudine media del bacino
<b>ho</b>	862.17	mslm	Altitudine sezione di chiusura
<b>ε</b>	1.00	-	Coefficiente di laminazione
<b>φ</b>	0.65	-	Coefficiente di deflusso
<b>a</b>	29.17	-	Parametro funzione del tempo di ritorno
<b>n</b>	0.48	-	Parametro

Per il calcolo del Tempo di  
Corrivazione (Tc)

(Da carte o analisi statistiche)

**CALCOLI**

**Calcolo del tempo di corrivazione**

$$T_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{hm - ho}}$$

Tc            1.77    ore

**Calcolo della portata**

$$q_c = \frac{1}{3.6} \cdot \phi \cdot \varepsilon \cdot A \cdot a \cdot T_c^{a-1}$$

**Q            219.51    m<sup>3</sup>/s**

N.B. 3.6 è un fattore di  
conversione per le U.M.

**NOTE**

La formula del tempo di corrivazione è quella di **Giandotti**

## FORMULA DI ANSELMO

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

### DATI

A	56.14	Km <sup>2</sup>	Area
---	-------	-----------------	------

### CALCOLI

$$Q = \left[ \frac{200}{A + 28} + 0.6 \right] \cdot A$$

q      2.98    m<sup>3</sup>/(s\*Km<sup>2</sup>)  
Q      167.13   m<sup>3</sup>/s

**Note:** Formula riportata nei criteri attuativi della L.R. 12/05 per il governo del territorio (d.g.r. n. 8/7374 - 28/05/08)

## FORMULA METODO DI NASH

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s
0	0.00001	0.316
1	0.00006	3.057
2	0.00015	10.394
3	0.00029	24.257
4	0.00046	46.349
5	0.00066	78.165
6	0.00088	121.006
7	0.00113	175.996
8	0.00140	244.094
9	0.00169	326.111
10	0.00198	422.715
11	0.00229	534.450
12	0.00261	661.743
13	0.00293	804.915
14	0.00325	964.188
15	0.00358	1139.697
16	0.00391	1331.498
17	0.00423	1539.571
18	0.00456	1763.836
19	0.00488	2004.147
20	0.00519	2260.312
21	0.00550	2532.088
22	0.00580	2819.191
23	0.00609	3121.300
24	0.00638	3438.063
25	0.00665	3769.097
26	0.00692	4113.999
27	0.00717	4472.341
28	0.00742	4843.681
29	0.00766	5227.560
30	0.00788	5623.511
31	0.00810	6031.054
32	0.00830	6449.705
33	0.00849	6878.977
34	0.00867	7318.377
35	0.00885	7767.414
36	0.00900	8225.597
37	0.00915	8692.440
38	0.00929	9167.456
39	0.00942	9650.168
40	0.00954	10140.103
41	0.00964	10636.796
42	0.00974	11139.788
43	0.00983	11648.631
44	0.00990	12162.887
45	0.00997	12682.126
46	0.01003	13205.929
47	0.01008	13733.889
48	0.01012	14265.611
49	0.01015	14800.709
50	0.01017	15338.811
51	0.01019	15879.557
52	0.01020	16422.600
53	0.01020	16967.602
54	0.01019	17514.242
55	0.01018	18062.208
56	0.01016	18611.203
57	0.01013	19160.940

58	0.01010	19711.146
59	0.01006	20261.560
60	0.01002	20811.933
61	0.00997	21362.028
62	0.00992	21911.619
63	0.00986	22460.493
64	0.00979	23008.448
65	0.00973	23555.294
66	0.00966	24100.850
67	0.00958	24644.948
68	0.00950	25187.431
69	0.00942	25728.149
70	0.00933	26266.966
71	0.00925	26803.755
72	0.00916	27338.397
73	0.00906	27870.784
74	0.00897	28400.818
75	0.00887	28928.407
76	0.00877	29453.471
77	0.00867	29975.936
78	0.00856	30495.738
79	0.00846	31012.820
80	0.00835	31527.134
81	0.00824	32038.637
82	0.00813	32547.295
83	0.00803	33053.082
84	0.00791	33555.978
85	0.00780	34055.968
86	0.00769	34553.045
87	0.00758	35047.209
88	0.00747	35538.465
89	0.00736	36026.822
90	0.00724	36512.299
91	0.00713	36994.916
92	0.00702	37474.701
93	0.00690	37951.685
94	0.00679	38425.907
95	0.00668	38897.408
96	0.00657	39366.234
97	0.00646	39832.437
98	0.00635	40296.071
99	0.00624	40757.197
100	0.00613	41215.878
101	0.00602	41672.181
102	0.00591	42126.179
103	0.00581	42577.945
104	0.00570	43027.560
105	0.00559	43475.105
106	0.00549	43920.666
107	0.00539	44364.333
108	0.00528	44806.200
109	0.00518	45246.361
110	0.00508	45684.916
111	0.00498	46121.968
112	0.00489	46557.623
113	0.00479	46991.989
114	0.00469	47425.180
115	0.00460	47857.311
116	0.00451	48288.500
117	0.00442	48718.870
118	0.00433	49148.545
119	0.00424	49577.655
120	0.00415	50006.331
121	0.00406	50434.708
122	0.00398	50862.925

123	0.00389	51291.125
124	0.00381	51719.454
125	0.00373	52148.062
126	0.00365	52577.103
127	0.00357	53006.734
128	0.00349	53437.119
129	0.00341	53868.425
130	0.00334	54300.821
131	0.00326	54734.486
132	0.00319	55169.600
133	0.00312	55606.351
134	0.00305	56044.932
135	0.00298	56485.540
136	0.00291	56928.382
137	0.00285	57373.670
138	0.00278	57821.623
139	0.00272	58272.468
140	0.00265	58726.441
141	0.00259	59183.786
142	0.00253	59644.758
143	0.00247	60109.619
144	0.00242	60578.646
145	0.00236	61052.126
146	0.00230	61530.358
147	0.00225	62013.656
148	0.00219	62502.349
149	0.00214	62996.782
150	0.00209	63497.317
151	0.00204	64004.337
152	0.00199	64518.246
153	0.00194	65039.470
154	0.00189	65568.460
155	0.00185	66105.698
156	0.00180	66651.695
157	0.00176	67206.996
158	0.00172	67772.185
159	0.00167	68347.891
160	0.00163	68934.787
161	0.00159	69533.603
162	0.00155	70145.130
163	0.00151	70770.227
164	0.00147	71409.834
165	0.00144	72064.983
166	0.00140	72736.813
167	0.00136	73426.588
168	0.00133	74135.718
169	0.00130	74865.793
170	0.00126	75618.613
171	0.00123	76396.246
172	0.00120	77201.087
173	0.00117	78035.957
174	0.00114	78904.238
175	0.00111	79810.082
176	0.00108	80758.764
177	0.00105	81757.337
178	0.00102	82819.140
179	0.00100	83979.629
180	0.00097	85273.765
181	0.00095	86732.179
182	0.00092	88381.494
183	0.00090	90240.732
184	0.00087	92302.954
185	0.00085	94554.972

186	0.00083	96982.028
187	0.00081	99568.523
188	0.00078	102298.498
189	0.00076	105155.962
190	0.00074	108125.118
191	0.00072	111190.528
192	0.00070	114337.231
193	0.00068	117550.824
194	0.00067	120817.521
195	0.00065	124124.192
196	0.00063	127458.387
197	0.00061	130808.347
198	0.00060	134163.011
199	0.00058	137512.010
200	0.00056	140845.658
201	0.00055	144154.942
202	0.00053	147431.504
203	0.00052	150667.621
204	0.00050	153856.188
205	0.00049	156990.691
206	0.00048	160065.190
207	0.00046	163074.289
208	0.00045	166013.117
209	0.00044	168877.301
210	0.00043	171662.943
211	0.00041	174366.596
212	0.00040	176985.242
213	0.00039	179516.265
214	0.00038	181957.432
215	0.00037	184306.869
216	0.00036	186563.041
217	0.00035	188724.731
218	0.00034	190791.020
219	0.00033	192761.265
220	0.00032	194635.084
221	0.00031	196412.339
222	0.00030	198093.113
223	0.00029	199677.701
224	0.00029	201166.589
225	0.00028	202560.440
226	0.00027	203860.082
227	0.00026	205066.493
228	0.00026	206180.787
229	0.00025	207204.203
230	0.00024	208138.094
231	0.00023	208983.916
232	0.00023	209743.215
233	0.00022	210417.619
234	0.00021	211008.831
235	0.00021	211518.615
236	0.00020	211948.794
237	0.00020	212301.236
238	0.00019	212577.852
239	0.00019	212780.586
240	0.00018	212911.410
241	0.00017	212972.317
242	0.00017	212965.318

243	0.00016	212892.432
244	0.00016	212755.687
245	0.00016	212557.110
246	0.00015	212298.729
247	0.00015	211982.562
248	0.00014	211610.619
249	0.00014	211184.898
250	0.00013	210707.378
251	0.00013	210180.022
252	0.00013	209604.770
253	0.00012	208983.538
254	0.00012	208318.220
255	0.00012	207610.677
256	0.00011	206862.745
257	0.00011	206076.228
258	0.00011	205252.897
259	0.00010	204394.492
260	0.00010	203502.717
261	0.00010	202579.241
262	0.00009	201625.699
263	0.00009	200643.688
264	0.00009	199634.768
265	0.00009	198600.463
266	0.00008	197542.258
267	0.00008	196461.601
268	0.00008	195359.901
269	0.00008	194238.531
270	0.00007	193098.824
271	0.00007	191942.077
272	0.00007	190769.547
273	0.00007	189582.455
274	0.00007	188381.986
275	0.0001	187169.284
276	0.0001	185945.462
277	0.0001	184711.592
278	0.0001	183468.713
279	0.0001	182217.829
280	0.0001	180959.907
281	0.0001	179695.882
282	0.0001	178426.655
283	0.0000	177153.093
284	0.0000	175876.031
285	0.0000	174596.274
286	0.0000	173314.593
287	0.0000	172031.730
288	0.0000	170748.397
289	0.0000	169465.277
290	0.0000	168183.023
291	0.0000	166902.261
292	0.0000	165623.591
293	0.0000	164347.584
294	0.0000	163074.787
295	0.0000	161805.721
296	0.0000	160540.883
297	0.0000	159280.745
298	0.0000	158025.756
299	0.0000	156776.343

300	0.0000	155532.912
301	0.0000	154295.845
302	0.0000	153065.505
303	0.0000	151842.235
304	0.0000	150626.359
305	0.0000	149418.181
306	0.0000	148217.987
307	0.0000	147026.046
308	0.0000	145842.610
309	0.0000	144667.913
310	0.0000	143502.175
311	0.0000	142345.600
312	0.0000	141198.377
313	0.0000	140060.680
314	0.0000	138932.671
315	0.0000	137814.497
316	0.0000	136706.292
317	0.0000	135608.180
318	0.0000	134520.271
319	0.0000	133442.665
320	0.0000	132375.449
321	0.0000	131318.703
322	0.0000	130272.492
323	0.0000	129236.877
324	0.0000	128211.904
325	0.0000	127197.616
326	0.0000	126194.043
327	0.0000	125201.208
328		124218.540
329		123246.651
330		122285.542
331		121335.207
332		120395.633
333		119466.803
334		118548.692
335		117641.270
336		116744.502
337		115858.349
338		114982.765
339		114117.701
340		113263.106
341		112418.920
342		111585.084
343		110761.532
344		109948.198
345		109145.010
346		108351.895
347		107568.776
348		106795.574
349		106032.209
350		105278.597
351		104534.651
352		103800.286
353		103075.412
354		102359.939
355		101653.774
356		100956.825

357	100268.996
358	99590.194
359	98920.320
360	98259.278
361	97606.971
362	96963.299
363	96328.164
364	95701.466
365	95083.106
366	94472.984
367	93870.999
368	93277.051
369	92691.041
370	92112.867
371	91542.431
372	90979.632
373	90424.371
374	89876.548
375	89336.064
376	88802.821
377	88276.722
378	87757.667
379	87245.561
380	86740.307
381	86241.810
382	85749.973
383	85264.703
384	84785.905
385	84313.487
386	83847.357
387	83387.423
388	82933.594
389	82485.781
390	82043.895
391	81607.847
392	81177.550
393	80752.919
394	80333.868
395	79920.312
396	79512.167
397	79109.352
398	78711.785
399	78319.385
400	77932.072
401	77549.768
402	77172.395
403	76799.876
404	76432.136
405	76069.099
406	75710.693
407	75356.843
408	75007.479
409	74662.530
410	74321.925
411	73985.595
412	73653.474
413	73325.493

414	73001.588
415	72681.692
416	72365.742
417	72053.674
418	71745.427
419	71440.939
420	71140.150
421	70843.000
422	70549.431
423	70259.386
424	69972.807
425	69689.639
426	69409.826
427	69133.316
428	68860.054
429	68589.988
430	68323.067
431	68059.240
432	67798.457
433	67540.669
434	67285.828
435	67033.886
436	66784.797
437	66538.514
438	66294.994
439	66054.190
440	65816.060
441	65580.561
442	65347.651
443	65117.287
444	64889.430
445	64664.039
446	64441.075
447	64220.499
448	64002.273
449	63786.360
450	63572.722
451	63361.324
452	63152.130
453	62945.106
454	62740.216
455	62537.428
456	62336.707
457	62138.022
458	61941.341
459	61746.632
460	61553.863
461	61363.005
462	61174.028
463	60986.903
464	60801.600
465	60618.091
466	60436.348
467	60256.344
468	60078.052
469	59901.445
470	59726.497

471	59553.183
472	59381.477
473	59211.354
474	59042.790
475	58875.760
476	58710.242
477	58546.211
478	58383.645
479	58222.520
480	58062.499
481	57901.458
482	57737.219
483	57567.856
484	57391.679
485	57207.213
486	57013.185
487	56808.502
488	56592.242
489	56363.639
490	56122.065
491	55867.026
492	55598.144
493	55315.149
494	55017.869
495	54706.219
496	54380.195
497	54039.863
498	53685.348
499	53316.832
500	52934.542
501	52538.736
502	52129.697
503	51707.708
504	51273.009
505	50825.696
506	50359.678
507	49883.190
508	49396.717
509	48900.754
510	48395.807
511	47889.674
512	47376.065
513	46855.284
514	46327.724
515	45793.824
516	45254.044
517	44708.859
518	44158.748
519	43604.191
520	43045.666
521	42483.647
522	41918.600
523	41350.983
524	40781.247
525	40209.830
526	39637.163
527	39063.661

528	38489.731
529	37915.765
530	37342.144
531	36769.235
532	36197.394
533	35626.961
534	35058.265
535	34491.621
536	33927.330
537	33365.683
538	32806.953
539	32251.406
540	31699.289
541	31150.843
542	30606.291
543	30065.847
544	29529.712
545	28998.077
546	28471.120
547	27949.007
548	27431.896
549	26919.932
550	26413.250
551	25911.977
552	25416.228
553	24926.109
554	24441.718
555	23963.144
556	23490.465
557	23023.755
558	22563.077
559	22108.487
560	21660.034
561	21217.759
562	20781.697
563	20351.877
564	19928.321
565	19511.045
566	19100.059
567	18695.368
568	18296.972
569	17904.865
570	17519.037
571	17139.474
572	16766.156
573	16399.061
574	16038.161
575	15683.426
576	15334.822
577	14992.312
578	14655.855
579	14325.408
580	14000.924
581	13682.357
582	13369.654
583	13062.762
584	12761.627

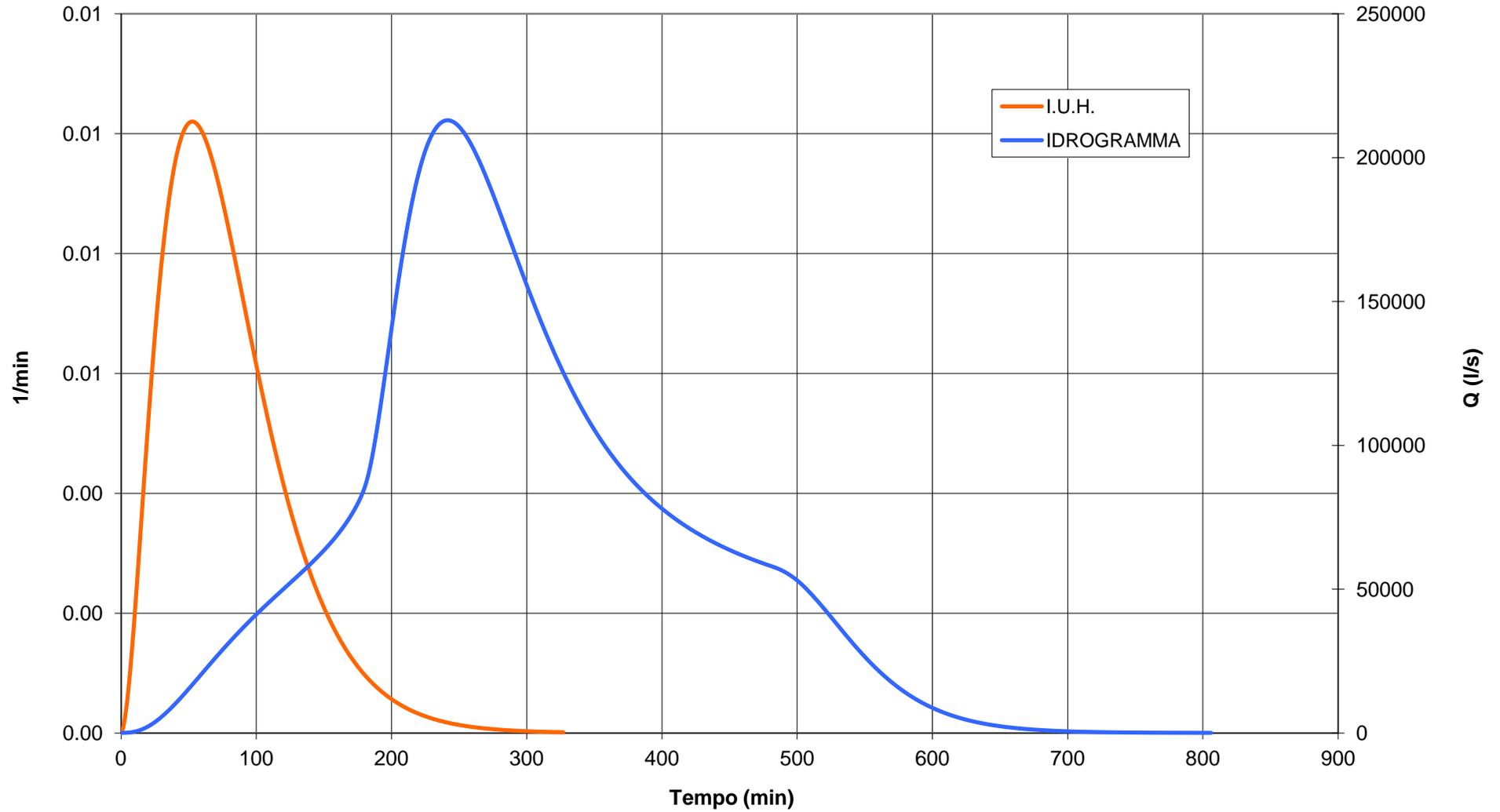
585	12466.191
586	12176.396
587	11892.181
588	11613.483
589	11340.241
590	11072.389
591	10809.862
592	10552.592
593	10300.513
594	10053.556
595	9811.652
596	9574.731
597	9342.723
598	9115.558
599	8893.165
600	8675.472
601	8462.408
602	8253.901
603	8049.880
604	7850.274
605	7655.011
606	7464.020
607	7277.229
608	7094.568
609	6915.966
610	6741.353
611	6570.659
612	6403.814
613	6240.750
614	6081.398
615	5925.690
616	5773.559
617	5624.938
618	5479.761
619	5337.961
620	5199.475
621	5064.239
622	4932.187
623	4803.259
624	4677.391
625	4554.522
626	4434.593
627	4317.543
628	4203.313
629	4091.845
630	3983.081
631	3876.966
632	3773.444
633	3672.458
634	3573.957
635	3477.885
636	3384.191
637	3292.824
638	3203.731
639	3116.865
640	3032.174
641	2949.612

642	2869.130
643	2790.683
644	2714.223
645	2639.707
646	2567.089
647	2496.328
648	2427.379
649	2360.201
650	2294.753
651	2230.995
652	2168.888
653	2108.392
654	2049.470
655	1992.084
656	1936.198
657	1881.777
658	1828.784
659	1777.186
660	1726.950
661	1678.041
662	1630.429
663	1584.080
664	1538.966
665	1495.054
666	1452.316
667	1410.722
668	1370.245
669	1330.856
670	1292.528
671	1255.235
672	1218.951
673	1183.650
674	1149.308
675	1115.900
676	1083.403
677	1051.792
678	1021.047
679	991.144
680	962.063
681	933.781
682	906.278
683	879.534
684	853.530
685	828.246
686	803.663
687	779.764
688	756.529
689	733.943
690	711.987
691	690.645
692	669.901
693	649.738
694	630.143
695	611.099
696	592.591
697	574.606
698	557.130

699	540.148
700	523.648
701	507.617
702	492.041
703	476.909
704	462.208
705	447.928
706	434.055
707	420.580
708	407.492
709	394.779
710	382.432
711	370.440
712	358.795
713	347.485
714	336.503
715	325.838
716	315.483
717	305.428
718	295.665
719	286.186
720	276.984
721	268.050
722	259.377
723	250.958
724	242.785
725	234.852
726	227.151
727	219.677
728	212.423
729	205.383
730	198.550
731	191.919
732	185.485
733	179.240
734	173.181
735	167.302
736	161.597
737	156.062
738	150.692
739	145.482
740	140.427
741	135.524
742	130.767
743	126.153
744	121.677
745	117.335
746	113.124
747	109.040
748	105.079
749	101.237
750	97.511
751	93.898
752	90.394
753	86.997
754	83.702
755	80.508

756	77.410
757	74.407
758	71.496
759	68.673
760	65.937
761	63.284
762	60.713
763	58.220
764	55.804
765	53.462
766	51.192
767	48.992
768	46.860
769	44.794
770	42.792
771	40.851
772	38.971
773	37.149
774	35.384
775	33.674
776	32.017
777	30.411
778	28.856
779	27.350
780	25.890
781	24.477
782	23.107
783	21.781
784	20.497
785	19.253
786	18.048
787	16.882
788	15.752
789	14.658
790	13.599
791	12.574
792	11.581
793	10.620
794	9.690
795	8.789
796	7.917
797	7.074
798	6.257
799	5.467
800	4.702
801	3.962
802	3.246
803	2.553
804	1.883
805	1.234
806	0.607
<b>Σ IUH</b>	<b>Portata al colmo</b>
1.0	<b>212972.3</b> l/s
	<b>212.97</b> m <sup>3</sup> /s

### IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI NASH



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## FORMULA METODO DELL'INVASO

Bacino Valbondione - Valle confluenza Torrente Bondione

TEMPO	I.U.H. 1/min	IDROGRAMMA l/s	
0	0	646.488	1.34E-02
1	0.01341	1286.219	1.32E-02
2	0.01323	1919.301	1.31E-02
3	0.01306	2545.838	1.29E-02
4	0.01288	3165.935	1.27E-02
5	0.01271	3779.695	1.25E-02
6	0.01254	4387.219	1.24E-02
7	0.01237	4988.607	1.22E-02
8	0.01221	5583.960	1.20E-02
9	0.01204	6173.376	1.19E-02
10	0.01188	6756.952	1.17E-02
11	0.01172	7334.784	1.16E-02
12	0.01157	7906.968	1.14E-02
13	0.01141	8473.599	1.13E-02
14	0.01126	9034.770	1.11E-02
15	0.01111	9590.573	1.10E-02
16	0.01096	10141.099	0.01081442
17	0.01081	10686.440	1.07E-02
18	0.01067	11226.685	1.05E-02
19	0.01053	11761.922	1.04E-02
20	0.01039	12292.241	1.02E-02
21	0.01025	12817.727	1.01E-02
22	0.01011	13338.468	9.98E-03
23	0.00998	13854.548	9.84E-03
24	0.00984	14366.053	9.71E-03
25	0.00971	14873.066	9.58E-03
26	0.00958	15375.670	9.45E-03
27	0.00945	15873.949	9.33E-03
28	0.00933	16367.984	9.20E-03
29	0.00920	16857.855	9.08E-03
30	0.00908	17343.644	8.96E-03
31	0.00896	17825.429	8.84E-03
32	0.00884	18303.291	8.72E-03
33	0.00872	18777.308	8.60E-03
34	0.00860	19247.556	8.49E-03
35	0.00849	19714.115	8.38E-03
36	0.00838	20177.060	8.26E-03
37	0.00826	20636.468	8.15E-03
38	0.00815	21092.415	8.04E-03
39	0.00804	21544.975	7.94E-03
40	0.00794	21994.224	7.83E-03
41	0.00783	22440.235	7.73E-03
42	0.00773	22883.082	7.62E-03
43	0.00762	23322.840	7.52E-03
44	0.00752	23759.580	7.42E-03
45	0.00742	24193.375	7.32E-03
46	0.00732	24624.298	7.22E-03
47	0.00722	25052.421	7.13E-03
48	0.00713	25477.814	7.03E-03
49	0.00703	25900.550	6.94E-03
50	0.00694	26320.699	6.85E-03
51	0.00685	26738.333	6.75E-03
52	0.00675	27153.521	6.66E-03
53	0.00666	27566.333	6.57E-03
54	0.00657	27976.841	6.49E-03
55	0.00649	28385.114	6.40E-03
56	0.00640	28791.222	6.31E-03
57	0.00631	29195.234	6.23E-03

58	0.00623	29597.220	6.15E-03
59	0.00615	29997.250	6.06E-03
60	0.00606	30395.394	5.98E-03
61	0.00598	30791.720	5.90E-03
62	0.00590	31186.299	5.82E-03
63	0.00582	31579.199	5.75E-03
64	0.00575	31970.491	5.67E-03
65	0.00567	32360.245	5.59E-03
66	0.00559	32748.530	5.52E-03
67	0.00552	33135.416	5.45E-03
68	0.00545	33520.974	5.37E-03
69	0.00537	33905.274	5.30E-03
70	0.00530	34288.388	5.23E-03
71	0.00523	34670.385	5.16E-03
72	0.00516	35051.338	5.09E-03
73	0.00509	35431.319	5.02E-03
74	0.00502	35810.399	4.96E-03
75	0.00496	36188.652	4.89E-03
76	0.00489	36566.150	4.82E-03
77	0.00482	36942.968	4.76E-03
78	0.00476	37319.180	4.70E-03
79	0.00470	37694.860	4.63E-03
80	0.00463	38070.085	4.57E-03
81	0.00457	38444.931	4.51E-03
82	0.00451	38819.475	4.45E-03
83	0.00445	39193.795	4.39E-03
84	0.00439	39567.971	4.33E-03
85	0.00433	39942.082	4.27E-03
86	0.00427	40316.209	4.22E-03
87	0.00422	40690.434	4.16E-03
88	0.00416	41064.841	4.11E-03
89	0.00411	41439.514	4.05E-03
90	0.00405	41814.539	4.00E-03
91	0.00400	42190.003	3.94E-03
92	0.00394	42565.995	3.89E-03
93	0.00389	42942.604	3.84E-03
94	0.00384	43319.924	3.79E-03
95	0.00379	43698.048	3.74E-03
96	0.00374	44077.070	3.69E-03
97	0.00369	44457.089	3.64E-03
98	0.00364	44838.205	3.59E-03
99	0.00359	45220.518	3.54E-03
100	0.00354	45604.133	3.49E-03
101	0.00349	45989.157	3.45E-03
102	0.00345	46375.699	3.40E-03
103	0.00340	46763.871	3.36E-03
104	0.00336	47153.787	3.31E-03
105	0.00331	47545.565	3.27E-03
106	0.00327	47939.327	3.22E-03
107	0.00322	48335.197	3.18E-03
108	0.00318	48733.304	3.14E-03
109	0.00314	49133.779	3.10E-03
110	0.00310	49536.759	3.05E-03
111	0.00305	49942.384	3.01E-03
112	0.00301	50350.800	2.97E-03
113	0.00297	50762.156	2.93E-03
114	0.00293	51176.608	2.89E-03
115	0.00289	51594.317	2.86E-03
116	0.00286	52015.449	2.82E-03
117	0.00282	52440.178	2.78E-03
118	0.00278	52868.681	2.74E-03
119	0.00274	53301.148	2.71E-03
120	0.00271	53737.770	2.67E-03
121	0.00267	54178.751	2.63E-03
122	0.00263	54624.301	2.60E-03

123	0.00260	55074.640	2.56E-03
124	0.00256	55529.997	2.53E-03
125	0.00253	55990.614	2.50E-03
126	0.00250	56456.740	2.46E-03
127	0.00246	56928.640	2.43E-03
128	0.00243	57406.590	2.40E-03
129	0.00240	57890.879	2.37E-03
130	0.00237	58381.814	2.33E-03
131	0.00233	58879.716	2.30E-03
132	0.00230	59384.923	2.27E-03
133	0.00227	59897.794	2.24E-03
134	0.00224	60418.705	2.21E-03
135	0.00221	60948.057	2.18E-03
136	0.00218	61486.275	2.15E-03
137	0.00215	62033.808	2.12E-03
138	0.00212	62591.135	2.10E-03
139	0.00210	63158.765	2.07E-03
140	0.00207	63737.243	2.04E-03
141	0.00204	64327.148	2.01E-03
142	0.00201	64929.103	1.99E-03
143	0.00199	65543.773	1.96E-03
144	0.00196	66171.877	1.93E-03
145	0.00193	66814.183	1.91E-03
146	0.00191	67471.526	1.88E-03
147	0.00188	68144.805	1.86E-03
148	0.00186	68834.996	1.83E-03
149	0.00183	69543.160	1.81E-03
150	0.00181	70270.453	1.78E-03
151	0.00178	71018.139	1.76E-03
152	0.00176	71787.603	1.74E-03
153	0.00174	72580.370	1.71E-03
154	0.00171	73398.122	1.69E-03
155	0.00169	74242.723	1.67E-03
156	0.00167	75116.248	1.64E-03
157	0.00164	76021.015	1.62E-03
158	0.00162	76959.626	1.60E-03
159	0.00160	77935.018	1.58E-03
160	0.00158	78950.525	1.56E-03
161	0.00156	80009.954	1.54E-03
162	0.00154	81117.686	1.52E-03
163	0.00152	82278.795	1.50E-03
164	0.00150	83499.213	1.48E-03
165	0.00148	84785.941	1.46E-03
166	0.00146	86147.332	1.44E-03
167	0.00144	87593.477	1.42E-03
168	0.00142	89136.749	1.40E-03
169	0.00140	90792.568	1.38E-03
170	0.00138	92580.551	1.36E-03
171	0.00136	94526.266	1.34E-03
172	0.00134	96664.042	1.33E-03
173	0.00133	99041.755	1.31E-03
174	0.00131	101729.547	1.29E-03
175	0.00129	104837.359	1.27E-03
176	0.00127	108555.338	1.26E-03
177	0.00126	113269.037	1.24E-03
178	0.00124	126192.321	1.22E-03
179	0.00122	138942.928	1.21E-03
180	0.00121	151523.166	1.19E-03
181	0.00119	163935.312	1.18E-03
182	0.00118	176181.611	1.16E-03
183	0.00116	180258.866	1.14E-03
184	0.00114	183511.091	1.13E-03
185	0.00113	186169.586	1.11E-03
186	0.00111	188374.422	1.10E-03
187	0.00110	190218.266	1.08E-03

188	0.00108	191766.326	1.07E-03
189	0.00107	193066.635	1.06E-03
190	0.00106	194155.838	1.04E-03
191	0.00104	195062.684	1.03E-03
192	0.00103	195810.247	1.01E-03
193	0.00101	196417.397	1.00E-03
194	0.00100	196899.812	9.87E-04
195	0.00099	197270.695	9.73E-04
196	0.00097	197541.297	9.60E-04
197	0.00096	197721.300	9.48E-04
198	0.00095	197819.113	9.35E-04
199	0.00093	197842.094	9.22E-04
200	0.00092	197796.731	9.10E-04
201	0.00091	197688.775	8.98E-04
202	0.00090	197523.356	8.86E-04
203	0.00089	197305.074	8.74E-04
204	0.00087	197038.069	8.62E-04
205	0.00086	196726.085	8.51E-04
206	0.00085	196372.521	8.40E-04
207	0.00084	195980.474	8.28E-04
208	0.00083	195552.772	8.17E-04
209	0.00082	195092.006	8.06E-04
210	0.00081	194600.561	7.96E-04
211	0.00080	194080.629	7.85E-04
212	0.00078	193534.238	7.74E-04
213	0.00077	192963.262	7.64E-04
214	0.00076	192369.439	7.54E-04
215	0.00075	191754.385	7.44E-04
216	0.00074	191119.601	7.34E-04
217	0.00073	190466.487	7.24E-04
218	0.00072	189796.352	7.14E-04
219	0.00071	189110.415	7.05E-04
220	0.00070	188409.819	6.95E-04
221	0.00070	187695.637	6.86E-04
222	0.00069	186968.872	6.77E-04
223	0.00068	186230.468	6.68E-04
224	0.00067	185481.312	6.59E-04
225	0.00066	184722.237	6.50E-04
226	0.00065	183954.030	6.41E-04
227	0.00064	183177.431	6.33E-04
228	0.00063	182393.139	6.24E-04
229	0.00062	181601.811	6.16E-04
230	0.00062	180804.071	6.08E-04
231	0.00061	180000.507	6.00E-04
232	0.00060	179191.675	5.92E-04
233	0.00059	178378.101	5.84E-04
234	0.00058	177560.283	5.76E-04
235	0.00058	176738.693	5.68E-04
236	0.00057	175913.777	5.61E-04
237	0.00056	175085.958	5.53E-04
238	0.00055	174255.639	5.46E-04
239	0.00055	173423.199	5.39E-04
240	0.00054	172589.000	5.31E-04
241	0.00053	171753.384	5.24E-04
242	0.00052	170916.676	5.17E-04
243	0.00052	170079.185	5.10E-04
244	0.00051	169241.203	5.04E-04
245	0.00050	168403.009	4.97E-04

246	0.00050	167564.867	4.90E-04
247	0.00049	166727.027	4.84E-04
248	0.00048	165889.728	4.77E-04
249	0.00048	165053.196	4.71E-04
250	0.00047	164217.645	4.64E-04
251	0.00046	163383.280	4.58E-04
252	0.00046	162550.295	4.52E-04
253	0.00045	161718.873	4.46E-04
254	0.00045	160889.188	4.40E-04
255	0.00044	160061.408	4.34E-04
256	0.00043	159235.688	4.28E-04
257	0.00043	158412.179	4.23E-04
258	0.00042	157591.021	4.17E-04
259	0.00042	156772.350	4.12E-04
260	0.00041	155956.291	4.06E-04
261	0.00041	155142.966	4.01E-04
262	0.00040	154332.490	3.95E-04
263	0.00040	153524.969	3.90E-04
264	0.00039	152720.508	3.85E-04
265	0.00038	151919.201	3.80E-04
266	0.00038	151121.141	3.75E-04
267	0.00037	150326.414	3.70E-04
268	0.00037	149535.102	3.65E-04
269	0.00036	148747.281	3.60E-04
270	0.00036	147963.024	3.55E-04
271	0.00035	147182.400	3.50E-04
272	0.00035	146405.471	3.46E-04
273	0.00035	145632.299	3.41E-04
274	0.00034	144862.940	3.36E-04
275	0.00034	144097.447	3.32E-04
276	0.00033	143335.870	3.27E-04
277	0.00033	142578.254	3.23E-04
278	0.00032	141824.643	3.19E-04
279	0.00032	141075.076	3.14E-04
280	0.00031	140329.592	3.10E-04
281	0.00031	139588.223	3.06E-04
282	0.00031	138851.003	3.02E-04
283	0.00030	138117.961	2.98E-04
284	0.00030	137389.122	2.94E-04
285	0.00029	136664.512	2.90E-04
286	0.00029	135944.153	2.86E-04
287	0.00029	135228.065	2.82E-04
288	0.00028	134516.265	2.79E-04
289	0.00028	133808.771	2.75E-04
290	0.00027	133105.596	2.71E-04
291	0.00027	132406.752	2.68E-04
292	0.00027	131712.251	2.64E-04
293	0.00026	131022.100	2.60E-04
294	0.00026	130336.308	2.57E-04
295	0.00026	129654.881	2.54E-04
296	0.00025	128977.821	2.50E-04
297	0.00025	128305.134	2.47E-04
298	0.00025	127636.820	2.44E-04
299	0.00024	126972.879	2.40E-04
300	0.00024	126313.311	2.37E-04
301	0.00024	125658.113	2.34E-04
302	0.00023	125007.282	2.31E-04

303	0.00023	124360.815	2.28E-04
304	0.00023	123718.705	2.25E-04
305	0.00022	123080.947	2.22E-04
306	0.00022	122447.532	2.19E-04
307	0.00022	121818.454	2.16E-04
308	0.00022	121193.702	2.13E-04
309	0.00021	120573.267	2.10E-04
310	0.00021	119957.138	2.07E-04
311	0.00021	119345.304	2.04E-04
312	0.00020	118737.752	2.02E-04
313	0.00020	118134.471	1.99E-04
314	0.00020	117535.445	1.96E-04
315	0.00020	116940.661	1.94E-04
316	0.00019	116350.105	1.91E-04
317	0.00019	115763.760	1.89E-04
318	0.00019	115181.612	1.86E-04
319	0.00019	114603.643	1.84E-04
320	0.00018	114029.837	1.81E-04
321	0.00018	113460.177	1.79E-04
322	0.00018	112894.644	1.76E-04
323	0.00018	112333.221	1.74E-04
324	0.00017	111775.888	1.72E-04
325	0.00017	111222.627	1.69E-04
326	0.00017	110673.419	1.67E-04
327	0.00017	110128.243	1.65E-04
328	0.00016	109587.081	1.63E-04
329	0.00016	109049.910	1.60E-04
330	0.00016	108516.712	1.58E-04
331	0.00016	107987.464	1.56E-04
332	0.00016	107462.146	1.54E-04
333	0.00015	106940.736	1.52E-04
334	0.00015	106423.213	1.50E-04
335	0.00015	105909.556	1.48E-04
336	0.00015	105399.741	1.46E-04
337	0.00015	104893.747	1.44E-04
338	0.00014	104391.551	1.42E-04
339	0.00014	103893.132	1.40E-04
340	0.00014	103398.466	1.38E-04
341	0.00014	102907.530	1.37E-04
342	0.00014	102420.302	1.35E-04
343	0.00013	101936.758	1.33E-04
344	0.00013	101456.877	1.31E-04
345	0.00013	100980.633	1.29E-04
346	0.00013	100508.005	1.28E-04
347	0.00013	100038.968	1.26E-04
348	0.00013	99573.500	1.24E-04
349	0.00012	99111.576	1.23E-04
350	0.00012	98653.174	1.21E-04
351	0.00012	98198.269	1.19E-04
352	0.00012	97746.839	1.18E-04
353	0.00012	97298.860	1.16E-04
354	0.00012	96854.307	1.15E-04
355	0.00011	96413.158	1.13E-04
356	0.0001	95975.389	1.12E-04
357	0.0001	95540.976	1.10E-04
358	0.0001	95109.895	1.09E-04
359	0.0001	94682.124	1.07E-04

360	0.0001	94257.638	1.06E-04
361	0.0001	93836.414	1.04E-04
362	0.0001	93418.428	1.03E-04
363	0.0001	93003.657	1.02E-04
364	0.0001	92592.078	1.00E-04
365	0.0001	92183.667	9.89E-05
366	0.0001	91778.401	9.76E-05
367	0.0001	91376.256	9.63E-05
368	0.0001	90977.210	9.50E-05
369	0.0001	90581.238	9.37E-05
370	0.0001	90188.320	9.25E-05
371	0.0001	89798.430	9.12E-05
372	0.0001	89411.546	9.00E-05
373	0.0001	89027.646	8.88E-05
374	0.0001	88646.706	8.76E-05
375	0.0001	88268.705	8.64E-05
376	0.0001	87893.618	8.53E-05
377	0.0001	87521.425	8.41E-05
378	0.0001	87152.102	8.30E-05
379	0.0001	86785.627	8.19E-05
380	0.0001	86421.978	8.08E-05
381	0.0001	86061.132	7.97E-05
382	0.0001	85703.068	7.87E-05
383	0.0001	85347.764	7.76E-05
384	0.0001	84995.198	7.66E-05
385	0.0001	84645.348	7.56E-05
386	0.0001	84298.193	7.46E-05
387	0.0001	83953.711	7.36E-05
388	0.0001	83611.881	7.26E-05
389	0.0001	83272.681	7.16E-05
390	0.0001	82936.091	7.06E-05
391	0.0001	82602.088	6.97E-05
392	0.0001	82270.654	6.88E-05
393	0.0001	81941.765	6.79E-05
394	0.0001	81615.403	6.69E-05
395	0.0001	81291.546	6.61E-05
396	0.0001	80970.174	6.52E-05
397	0.0001	80651.267	6.43E-05
398	0.0001	80334.803	6.34E-05
399	0.0001	80020.764	6.26E-05
400	0.0001	79709.130	6.18E-05
401	0.0001	79399.880	6.09E-05
402	0.0001	79092.995	6.01E-05
403	0.0001	78788.455	5.93E-05
404	0.0001	78486.241	5.85E-05
405	0.0001	78186.333	5.77E-05
406	0.0001	77888.713	5.70E-05
407	0.0001	77593.361	5.62E-05
408	0.0001	77300.258	5.55E-05
409	0.0001	77009.386	5.47E-05
410	0.0001	76720.725	5.40E-05
411	0.0001	76434.258	5.33E-05
412	0.0001	76149.965	5.25E-05
413	0.0001	75867.830	5.18E-05
414	0.0001	75587.832	5.12E-05
415	0.0001	75309.955	5.05E-05
416	0.0001	75031.780	

417	74755.714
418	74481.740
419	74209.840
420	73939.996
421	73672.191
422	73406.406
423	73142.624
424	72880.829
425	72621.003
426	72363.129
427	72107.190
428	71853.170
429	71601.051
430	71350.818
431	71102.454
432	70855.943
433	70611.268
434	70368.415
435	70127.366
436	69888.107
437	69650.621
438	69414.894
439	69180.909
440	68948.652
441	68718.108
442	68489.261
443	68262.097
444	68036.602
445	67812.759
446	67590.556
447	67369.977
448	67151.009
449	66933.637
450	66717.847
451	66503.626
452	66290.959
453	66079.833
454	65870.235
455	65662.150
456	65455.566
457	65250.470
458	65046.848
459	64844.687
460	64643.975
461	64444.699
462	64246.845
463	64050.403
464	63855.358
465	63661.699
466	63469.413
467	63278.489
468	63088.914
469	62900.677
470	62713.765
471	62528.168
472	62343.872
473	62160.868

474	61979.142
475	61798.685
476	61619.485
477	61441.530
478	61264.810
479	61089.314
480	60270.041
481	59461.701
482	58664.148
483	57877.238
484	57100.828
485	56334.777
486	55578.947
487	54833.202
488	54097.406
489	53371.426
490	52655.131
491	51948.391
492	51251.079
493	50563.067
494	49884.232
495	49214.451
496	48553.601
497	47901.565
498	47258.224
499	46623.461
500	45997.161
501	45379.212
502	44769.500
503	44167.917
504	43574.352
505	42988.699
506	42410.851
507	41840.704
508	41278.154
509	40723.100
510	40175.442
511	39635.079
512	39101.914
513	38575.851
514	38056.793
515	37544.648
516	37039.322
517	36540.724
518	36048.763
519	35563.351
520	35084.398
521	34611.819
522	34145.528
523	33685.439
524	33231.470
525	32783.539
526	32341.563
527	31905.463
528	31475.160
529	31050.575
530	30631.631

531	30218.252
532	29810.363
533	29407.890
534	29010.760
535	28618.900
536	28232.239
537	27850.707
538	27474.233
539	27102.751
540	26736.190
541	26374.486
542	26017.571
543	25665.380
544	25317.850
545	24974.916
546	24636.515
547	24302.586
548	23973.066
549	23647.896
550	23327.016
551	23010.366
552	22697.887
553	22389.523
554	22085.215
555	21784.908
556	21488.544
557	21196.070
558	20907.429
559	20622.568
560	20341.433
561	20063.970
562	19790.127
563	19519.851
564	19253.091
565	18989.793
566	18729.908
567	18473.383
568	18220.168
569	17970.212
570	17723.463
571	17479.871
572	17239.385
573	17001.952
574	16767.522
575	16536.040
576	16307.455
577	16081.710
578	15858.749
579	15638.515
580	15420.945
581	15205.976
582	14993.538
583	14783.556
584	14575.948
585	14370.619
586	14167.461
587	13966.342

588	13767.102
589	13569.527
590	13373.322
591	13178.046
592	12982.960
593	12786.599
594	12562.145
595	12340.690
596	12122.194
597	11906.618
598	11693.922
599	11513.793
600	11338.931
601	11168.449
602	11001.797
603	10838.604
604	10678.597
605	10521.571
606	10367.363
607	10215.839
608	10066.885
609	9920.406
610	9776.318
611	9634.544
612	9495.019
613	9357.681
614	9222.475
615	9089.348
616	8958.253
617	8829.143
618	8701.978
619	8576.716
620	8453.320
621	8331.753
622	8211.980
623	8093.967
624	7977.684
625	7863.098
626	7750.180
627	7638.901
628	7529.233
629	7421.148
630	7314.621
631	7209.626
632	7106.137
633	7004.130
634	6903.583
635	6804.470
636	6706.770
637	6610.461
638	6515.521
639	6421.929
640	6329.664
641	6238.706
642	6149.034
643	6060.630
644	5973.475

645	5887.549
646	5802.834
647	5719.312
648	5636.966
649	5555.777
650	5475.730
651	5396.807
652	5318.991
653	5242.267
654	5166.618
655	5092.029
656	5018.485
657	4945.970
658	4874.469
659	4803.969
660	4734.453
661	4665.909
662	4598.322
663	4531.679
664	4465.965
665	4401.169
666	4337.276
667	4274.273
668	4212.149
669	4150.891
670	4090.485
671	4030.921
672	3972.186
673	3914.269
674	3857.158
675	3800.841
676	3745.308
677	3690.547
678	3636.548
679	3583.299
680	3530.791
681	3479.012
682	3427.953
683	3377.603
684	3327.953
685	3278.993
686	3230.712
687	3183.103
688	3136.154
689	3089.857
690	3044.203
691	2999.183
692	2954.788
693	2911.009
694	2867.837
695	2825.265
696	2783.284
697	2741.886
698	2701.062
699	2660.804
700	2621.105
701	2581.957

702	2543.353
703	2505.284
704	2467.743
705	2430.723
706	2394.217
707	2358.218
708	2322.718
709	2287.710
710	2253.189
711	2219.147
712	2185.577
713	2152.473
714	2119.828
715	2087.637
716	2055.892
717	2024.588
718	1993.719
719	1963.278
720	1933.259
721	1903.658
722	1874.468
723	1845.683
724	1817.297
725	1789.306
726	1761.704
727	1734.485
728	1707.645
729	1681.177
730	1655.077
731	1629.340
732	1603.960
733	1578.933
734	1554.254
735	1529.919
736	1505.921
737	1482.258
738	1458.923
739	1435.913
740	1413.223
741	1390.849
742	1368.786
743	1347.031
744	1325.578
745	1304.423
746	1283.564
747	1262.995
748	1242.712
749	1222.712
750	1202.991
751	1183.544
752	1164.368
753	1145.460
754	1126.816
755	1108.431
756	1090.303
757	1072.428
758	1054.802

759	1037.422
760	1020.285
761	1003.387
762	986.726
763	970.296
764	954.097
765	938.124
766	922.374
767	906.844
768	891.531
769	876.433
770	861.546
771	846.867
772	832.394
773	818.123
774	804.052
775	790.178
776	776.499
777	763.012
778	749.713
779	736.601
780	723.673
781	710.926
782	698.358
783	685.967
784	673.750
785	661.704
786	649.828
787	638.118
788	626.573
789	615.191
790	603.968
791	592.904
792	581.995
793	571.240
794	560.637
795	550.183
796	539.876
797	529.715
798	519.697
799	509.820
800	500.083
801	490.483
802	481.019
803	471.689
804	462.490
805	453.422
806	444.482
807	435.668
808	426.980
809	418.414
810	409.970
811	401.645
812	393.439
813	385.349
814	377.374
815	369.512

816	361.762
817	354.122
818	346.590
819	339.166
820	331.848
821	324.633
822	317.522
823	310.512
824	303.601
825	296.790
826	290.075
827	283.457
828	276.933
829	270.502
830	264.164
831	257.916
832	251.757
833	245.687
834	239.704
835	233.806
836	227.993
837	222.264
838	216.617
839	211.051
840	205.565
841	200.158
842	194.829
843	189.577
844	184.401
845	179.299
846	174.271
847	169.315
848	164.431
849	159.618
850	154.874
851	150.199
852	145.592
853	141.052
854	136.577
855	132.168
856	127.823
857	123.540
858	119.320
859	115.162
860	111.064
861	107.026
862	103.047
863	99.126
864	95.262
865	91.455
866	87.704
867	84.007
868	80.365
869	76.776
870	73.240
871	69.756
872	66.323

873	62.941
874	59.609
875	56.325
876	53.091
877	49.904
878	46.764
879	43.671
880	40.623
881	37.621
882	34.663
883	31.750
884	28.879
885	26.052
886	23.266
887	20.522
888	17.819
889	15.157
890	12.534
891	9.951
892	7.406
893	4.900
894	2.431

**Σ IUH**

1.0

**Portata al colmo**

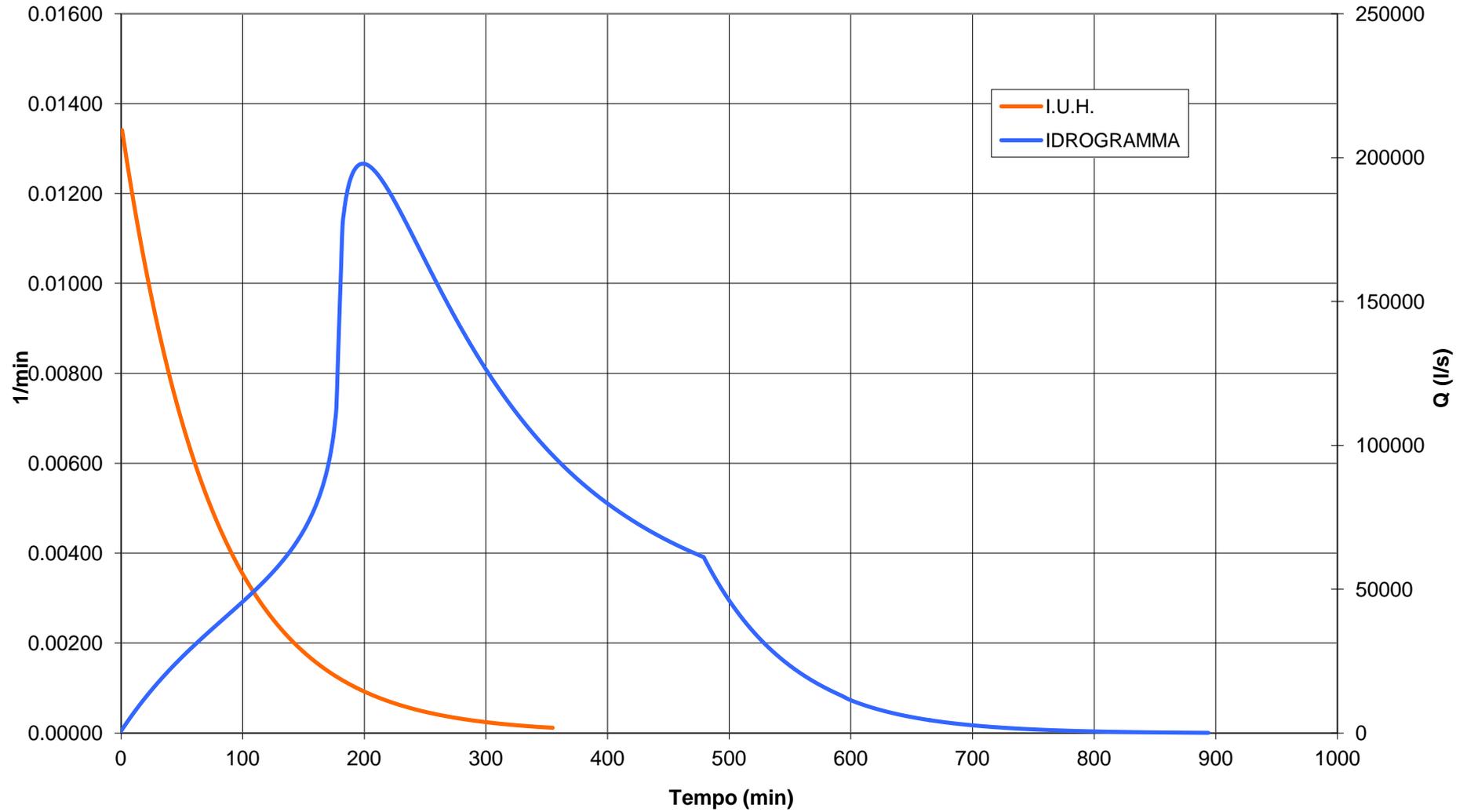
**197842.1**

**197.84**

**l/s**

**m<sup>3</sup>/s**

### IDROGRAMMA CALCOLATO CON IL METODO DI INVASO



Studio G.E.A. di S. Ghilardi C.  
Via Tezze 1/A 24020 Ranica (BG)  
Tel. e Fax. 035340112 e-mail: [gea@mediacom.it](mailto:gea@mediacom.it)

## 7.6 Confronto dei valori di portata al colmo

Nella tabella seguente vengono riassunti i valori riferiti alla portata al colmo per

Tr = 100 anni e 200 anni:

### 7.6.1 Fiume Serio monte confluenza

<b>Tipo Formula</b>	<b>Denominazione</b>	<b>PORTATA T = 100 anni</b>	<b>[u.m.]</b>
Empirica	Forti – De Marchi	289.49	[m <sup>3</sup> /s]
	Anselmo	140.61	[m <sup>3</sup> /s]
Regionalizzazione	Prof. Paoletti	144.68	[m <sup>3</sup> /s]
Afflussi – deflussi (Qc)	Razionale	170.59	[m <sup>3</sup> /s]
Modelli Lineari	Metodo Nash let. Chicago	164.79	[m <sup>3</sup> /s]
	Metodo Invaso let. Chicago	151.45	[m <sup>3</sup> /s]

<b>Tipo Formula</b>	<b>Denominazione</b>	<b>PORTATA T = 200 anni</b>	<b>[u.m.]</b>
Afflussi – deflussi (Qc)	Razionale	182.11	[m <sup>3</sup> /s]
Modelli Lineari	Metodo Nash let. Chicago	175.92	[m <sup>3</sup> /s]
	Metodo Invaso let. Chicago	161.68	[m <sup>3</sup> /s]



**7.6.2 Torrente Bondione**

<i>Tipo Formula</i>	<i>Denominazione</i>	<i>PORTATA T = 100 anni</i>	<i>[u.m.]</i>
<b>Empirica</b>	<b>Forti – De Marchi</b>	<b>120.08</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
	<b>Anselmo</b>	<b>74.95</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Regionalizzazione</b>	<b>Prof. Paoletti</b>	<b>76.83</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Afflussi – deflussi (Qc)</b>	<b>Razionale</b>	<b>68.92</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Modelli Lineari</b>	<b>Metodo Nash let. Chicago</b>	<b>66.73</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
	<b>Metodo Invaso let. Chicago</b>	<b>61.37</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>

<i>Tipo Formula</i>	<i>Denominazione</i>	<i>PORTATA T = 200 anni</i>	<i>[u.m.]</i>
<b>Afflussi – deflussi (Qc)</b>	<b>Razionale</b>	<b>73.58</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Modelli Lineari</b>	<b>Metodo Nash let. Chicago</b>	<b>71.23</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
	<b>Metodo Invaso let. Chicago</b>	<b>65.52</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>



**7.6.3 Fiume Serio valle confluenza**

<i>Tipo Formula</i>	<i>Denominazione</i>	<i>PORTATA T = 100 anni</i>	<i>[u.m.]</i>
Empirica	Forti – De Marchi	376.74	[m <sup>3</sup> /s]
	Anselmo	167.13	[m <sup>3</sup> /s]
Regionalizzazione	Prof. Paoletti	179.48	[m <sup>3</sup> /s]
Afflussi – deflussi (Qc)	Razionale	219.51	[m <sup>3</sup> /s]
Modelli Lineari	Metodo Nash let. Chicago	212.97	[m <sup>3</sup> /s]
	Metodo Invaso let. Chicago	197.84	[m <sup>3</sup> /s]

<i>Tipo Formula</i>	<i>Denominazione</i>	<i>PORTATA T = 200 anni</i>	<i>[u.m.]</i>
Afflussi – deflussi (Qc)	Razionale	234.34	[m <sup>3</sup> /s]
Modelli Lineari	Metodo Nash let. Chicago	227.36	[m <sup>3</sup> /s]
	Metodo Invaso let. Chicago	211.20	[m <sup>3</sup> /s]



## 7.7 Confronto dei risultati ottenuti con altri studi

I risultati delle portate analizzate dagli scriventi sono stati confrontati con quelli presentati all'interno del "Relazione Tecnica Generale, relazione idrografica ed idraulica - Progetto per la realizzazione di una centralina idroelettrica sul fiume Serio in località Fiumenero" redatta dal Dott. Ing. Lino Locatelli. In tale relazione vengono calcolate le portate (con un Tempo di ritorno di 200 anni) all'altezza dell'opera di presa esistente in località Gavazzo:

Come si evince dallo stralcio planimetrico seguente, il tratto analizzato nel presente studio risulta adiacente a quello presente all'interno della relazione dell'Ing. Locatelli, senza la presenza di importanti immissari nel tratto di fiume Serio che li separa.

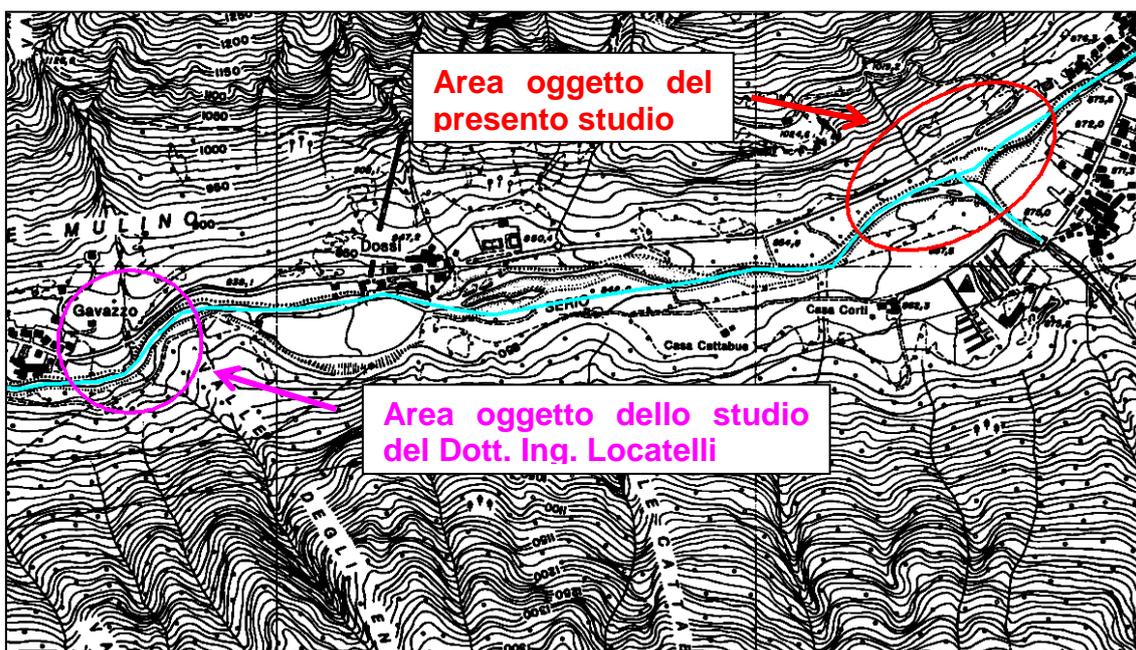


Figura 18 - Stralcio planimetrico con indicazione dell'area oggetto dello studio del Dott. Ing. Locatelli (colore magenta) e quella riferita al presente studio (colore rosso).



Di seguito si riporta la tabella riassuntiva delle portate al colmo del F.Serio riferite alla sezione dello studio sopracitato, per una sollecitazione duecentennale:

<i>Tipo Formula</i>	<i>Denominazione</i>	<i>PORTATA T = 200 anni</i>	<i>[u.m.]</i>
<b>Metodo Regionale</b>	<b>Portata indice</b>	<b>216.10</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
<b>Afflussi – deflussi (Qc)</b>	<b>Razionale</b>	<b>266.62</b>	<b>[m<sup>3</sup>/s]</b>

Tali valori di portata vanno confrontati con quelli riferiti alla sezione "Bacino Serio Valle" del presente studio (Tr = 200 anni).

I risultati, pur partendo da stime idrologiche differenti, mostrano una sostanziale corrispondenza.

### **7.8 Portate conclusive utilizzate nel modello idraulico**

In definitiva, considerando che le formule empiriche e di regionalizzazione non prevedono l'utilizzo di dati diretti del bacino, se non la sola area, si possono stimare una portata per i diversi tempi di ritorno, a favore di sicurezza, pari a:

<b>TRATTO</b>	<b>TEMPO DI RITORNO</b>		<b>PORTATA</b>
	<b>[anni]</b>		
<b>Bacino Serio Monte</b>	100	<b>155</b>	
	200	<b>170</b>	
<b>Bacino Bondione</b>	100	<b>60</b>	
	200	<b>70</b>	
<b>Bacino Serio Valle</b>	100	<b>215</b>	
	200	<b>230</b>	



Si precisa inoltre che, secondo quanto richiesto all'interno dell'Allegato 4 "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da esondazione" della deliberazione di Giunta regionale del 30/11/2011 - n. IX/2616 "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (art. 57, comma 1) della l.r. 11 marzo 2005', "lo scenario di rischio idraulico da considerare fa riferimento alla portata con tempo di ritorno  $Tr = 100$  anni".

Nel caso specifico, anche visto quanto richiede lo STER di Bergamo per situazioni analoghe, a favore di sicurezza e per maggior cautela, è stata considerata come portata di riferimento quella con un  $Tr = 200$  anni.

I valori di portata sopra riportati sono stati utilizzati per le verifiche idrauliche discusse nel capitolo successivo.



## 8 STUDIO IDRAULICO

Lo studio idraulico, ha lo scopo di individuare l'andamento del pelo libero di deflusso del regime di piena, in moto permanente, considerando portate con diversi tempi di ritorno.

In particolare si farà riferimento, per le considerazioni del caso, alla verifica idraulica eseguita utilizzando la portata con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Altresì, per avere una visione più ampia del comportamento idraulico lungo il tratto di corso d'acqua analizzato, è stato determinato il profilo di moto permanente aventi un  $Tr = 100$ .

### 8.1 Metodologie e verifiche

Una volta conosciuto il valore di portata del corso d'acqua afferente al bacino interessato nella sezione di chiusura, è necessario procedere alla verifica a moto uniforme della compatibilità idraulica dell'attraversamento di progetto.

Si ritiene che per il caso in esame, visto che l'altezza del pelo libero serve per effettuare unicamente una verifica sulle capacità di smaltimento delle portate fluenti e, vista l'esiguità del tratto esaminato, il ricorso ad un modello a moto permanente risulta non indispensabile.

Tale calcolo è stato eseguito utilizzando la formula di resistenza di Gauckler – Strickler (o Manning) o quella di Bazin, che è una fra quelle che danno maggiore affidabilità per casi analoghi a quello da noi esaminato.

L'utilizzo della formula prevede la conoscenza di alcuni parametri di base quali:

- Le geometrie della sezione di verifica;



- Il valore di scabrezza adottato in funzione della tipologia di fondo alveo;
- La pendenza del tratto esaminato.

Le condizioni di verifica idraulica sono state svolte sulle due sezioni rilevate in campo.

## **8.2 Definizione del programma di calcolo**

Per la simulazione del modello idraulico, è stato utilizzato il programma HEC-RAS (Hydrologic Engineering Service - River Analysis System) distribuito dall'US Army Corps of Engineers.

Il software permette, tramite l'inserimento di dati geometrici e idrologici riguardanti l'alveo e il corso d'acqua, di calcolare il modello idraulico e di visualizzarne i risultati sia attraverso una rappresentazione tabellare che attraverso una rappresentazione grafica bi e tridimensionale per un riscontro immediato dei risultati.

Il programma permette numerose opzioni nell'inserimento dei dati geometrici, consentendo l'introduzione nella geometria dell'alveo di ponti, sbarramenti e ostacoli oltre alle comuni sezioni trasversali.

Per quanto riguarda i dati di determinazione del modello, il software permette di eseguire i calcoli in regime di moto permanente o vario e di considerare il moto dei sedimenti simulando il flusso sia in stato sub - critico (in corrente "lenta"), sia in stato super - critico (in corrente "veloce"), oppure in uno stato misto.

Una volta concluse le operazioni di calcolo è possibile ottenere una serie di elaborati finali per la consultazione dei dati ottenuti e per la visualizzazione grafica in formati compatibili per software di disegno automatico o per sistemi



informativi territoriali.

La prima fase consiste nel disegno del tratto d'alveo da analizzare tracciando il sistema dei corsi d'acqua e le loro connessioni, secondo la direzione di scorrimento dell'acqua.

Terminata questa fase si provvede ad inserire le sezioni trasversali, definendo le quote e le distanze progressive dal punto di origine della sezione convenzionalmente individuato in sponda sinistra, e ad indicare le distanze reciproche procedendo in senso contrario allo scorrimento dell'acqua. Per ogni sezione si individua, mediante l'inserimento della distanza progressiva specifica, l'alveo e le zone esterne. L'operazione termina con l'inserimento dei dati di scabrezza dell'alveo e delle sponde secondo il coefficiente  $n$  di Manning. Il programma, al termine dell'inserimento dei dati, restituisce il grafico delle sezioni e il profilo altimetrico dell'alveo. Si inseriscono successivamente i dati per il calcolo in moto permanente e si indica per ogni tratto d'alveo (un tratto unico nel caso specifico) un dato di portata: nel nostro caso le portate ricavate precedentemente per un tempo di ritorno di 20, 50, 100, 200 e 500 anni.

Ultimate queste operazioni preliminari è possibile avviare le procedure di determinazione del modello idraulico: si devono indicare al programma i dati geometrici e idrologici da inserire nei computi.

Il calcolo del livello di pelo libero si basa su un'equazione dell'energia idraulica applicata tra due sezioni successive: l'applicazione del modello si basa sulla divisione del corso d'acqua in esame in tronchi di ampiezza tale da poter approssimare i valori medi della sezione e della velocità a quelli presenti agli estremi e quindi di eseguire i calcoli su aree in cui il flusso è assimilabile a quello del moto uniforme.



$$H_{(i-1)} = H(i) + h_e + h_f$$

ovvero

$$z_1 + \alpha (V_1^2/2g) = z_2 + \alpha (V_2^2/2g) + h_e + h_f$$

con:

$V$  = velocità media della sezione

$\alpha$  = coefficiente di Coriolis

$h_e$  = esprime le perdite di energia relative alle variazioni del corso d'acqua

$h_f$  = esprime le perdite di attrito medie nel tronco

$z_1, z_2$  = termini geodetici agli estremi del tronco in esame

$V_1, V_2$  = velocità medie calcolate

I valori di  $h_e$  e  $h_f$  sono così calcolati:

$$h_f = S_f \Delta X = 1/2 (S_{f(i)} - S_{f(i-1)}) \Delta X$$

dove

$$S_f = V_2 / (X^2 R) = V_2 / (c_2 R^{4/3})$$

$$h_e = C_i [(\alpha_2 V_2^2) / 2g] - [(\alpha_1 V_1^2) / 2g] \cong C_i \alpha_1 (V^2 / 2g)$$

in cui  $C_i$  rappresenta un coefficiente relativo alle perdite di carico per espansione e contrazione i cui valori variano tra 0 per alveo prismatico e 0.5 per allargamento a 90°.

Il programma, partendo dalle caratteristiche di una sezione nota, determina il termine geodetico incognito in una sezione successiva attraverso la soluzione iterativa delle tre equazioni elencate in precedenza: in pratica ipotizza un livello del pelo libero  $Z_{ip}$  della sezione incognita di cui si conoscono solo geometria,



distanza e valori di scabrezza e lo utilizza per calcolare tutti i parametri necessari ad applicare l'equazione di equilibrio energetico. Nell'applicare questa equazione si lascia come incognita il valore  $Z_2$  (come indicato nelle equazioni) di cui viene calcolato un valore  $Z_c$ . Dal confronto dei valori di  $Z_{ip}$  e di  $Z_c$  emergerà l'entità dell'errore: se risulta maggiore di 0.003 m la  $Z_{ip}$  verrà corretta ed il procedimento ripetuto; l'operazione viene reiterata fino a quando non si rientra nei valori di tolleranza definiti ed il risultato viene accettato.

In coincidenza delle opere idrauliche (ponti, traverse) la procedura di calcolo non è più quella esposta, ma si proceduto utilizzando i modelli di analisi dei fenomeni localizzati noti dall'idraulica classica.

In particolare:

- I modelli ipotizzano che i ponti non vengano distrutti dal passaggio della piena e che eventualmente possano essere sormontati. In questo caso viene considerato l'efflusso in pressione attraverso le luci del ponte e l'efflusso a stramazzo al di sopra dell'impalcato.  
L'efflusso a battente tra le luci del ponte può essere o meno rigurgitato a seconda che a valle del ponte si mantengano condizioni di corrente lenta o veloce.
- A seconda del regime dei due flussi che si combinano, il modello affronta le confluenze di due corsi d'acqua tramite il bilancio dell'energia o tramite l'equilibrio dei momenti tra le sezioni a monte e a valle della confluenza stessa.
- E' possibile inoltre definire l'alveo effettivamente contribuente allo smaltimento della portata e considerare la distribuzione del deflusso.

Il risultato viene visualizzato in una tabella o graficamente: nella visualizzazione grafica è immediatamente riscontrabile la potenziale esondazione del corso d'acqua dal suo alveo d'appartenenza; inoltre mediante la visualizzazione



prospettica è possibile approssimare anche l'estensione dell'area esondata, e confrontando questi dati con la cartografia locale è possibile individuare le aree a rischio di esondazione.



### 8.3 Scelte progettuali di calcolo

Così come riporta il Prof. Zampaglione del Politecnico di Milano, c'è da considerare che, *“l'individuazione delle zone di allagamento operata con il criterio sopra descritto prescinde da qualunque valutazione relativa all'assunzione di franchi di sicurezza, delimitando le aree esondabili in base alle quote d'acqua ricavate dalle elaborazioni di calcolo matematico che, come ben noto, necessita di parametri (scabrezza, geometria, ecc.) i cui valori puntuali non possono essere certi e trascura fenomeni collaterali nel tracciamento del profilo liquido (sopralzi in curva, onde stazionarie, ecc.)”*.

Occorre inoltre sottolineare che, come riporta il Prof. Paoletti: *“E' bene ricordare che i calcoli idrologici sono essenzialmente di tipo statistico, e che i calcoli idraulici si basano su ipotesi e schematizzazioni che non sempre e in ogni punto possono ricostruire fedelmente la realtà delle ipotetiche future piene”*.

Il programma di calcolo utilizzato richiede l'immissione di vari dati fondamentali per il calcolo delle altezze nelle varie sezioni.

#### 8.3.1 Coefficiente di scabrezza

Per quanto concerne la geometria e le caratteristiche della sezione, di notevole importanza è il coefficiente di scabrezza ( $n$  di Manning) assegnato ai vari tratti della sezione.

Il coefficiente di scabrezza in un alveo è una misura globale della resistenza al moto; la scelta deve essere effettuata a seguito di un accurato sopralluogo dei luoghi, considerando le caratteristiche specifiche dei materiali che compongono l'alveo e la copertura vegetale delle sponde e delle aree golenali adiacenti



interessate al deflusso. Di fatto, tale coefficiente è altamente variabile e dipende da numerosi fattori, quali scabrezza delle superfici, vegetazioni, irregolarità del canale, ostruzioni, ecc...

I valori sono stati scelti, in mancanza di dati di misurazione diretti, da indici tabulati: in questo caso sono state utilizzate le tabelle del manuale di utilizzo del programma (HEC-RAS Hydraulic Reference Manual) che si rifà direttamente al libro di Chow "Open - Channel Hydraulics", il quale riporta una grande varietà di valori del coefficiente  $n$  per i fiumi e le aree inondabili.

Come ausilio per la stima dei valori di scabrezza per il tratto di corso d'acqua oggetto di studio, si è ricorso alla tabella di "Open Channel Hydraulics", Ven te Chow, McGraw Hill International Editions, riportata inoltre nelle direttive per la valutazione della compatibilità idraulica dell'Autorità di Bacino del Fiume Po.

In tale metodo il coefficiente di Manning ( $n$ ) nel corso d'acqua è dato dalla somma di 4 sottocoefficienti ( $n_1, n_2, n_3, n_4$ ), moltiplicati per un ulteriore fattore ( $m_5$ ).

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

La tabella da cui si ricavano i diversi termini è riportata di seguito.



## Comune di Valbondione (Bg)

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	$n_0$	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028
	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	$n_1$	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	$n_2$	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
	Variazione frequente		0.010- 0.015
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	$n_3$	0.000
	Modesto		0.010- 0.015
	Apprezzabile		0.020- 0.030
	Elevato		0.040- 0.060
Effetto della vegetazione	Basso	$n_4$	0.005- 0.010
	Medio		0.010- 0.025
	Alto		0.025- 0.050
	Molto alto		0.050- 0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	$m_5$	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

*Figura 19 - Tabella di "Open Channel Hydraulics", Ven te Chow, McGraw Hill International Editions per la stima del coefficiente di scabrezza.*

In base alle condizioni riscontrate dell'alveo sono stati stimati i seguenti valori di scabrezza:

PARAMETRO	ALVEO	SPONDE	U.M.
<b>n utilizzato</b>	<b>0.033</b>	<b>0.040</b>	<b>[s/m<sup>1/3</sup>]</b>

Ciò è dovuto alla presenza di ciottoli di svariate dimensioni lungo il corso d'acqua che causa una scabrezza costante lungo il tratto investigato. Le golene sono invece caratterizzate dalla presenza di vegetazione.



C'è da considerare che questo valore potrebbe essere più alto in alcuni punti dove la sezione non è omogenea e soprattutto dove la sezione risulta più irregolare, ma anche più basso per la presenza di muri di sostegno. Si è però deciso, visto che il tratto interessato si presenta abbastanza omogeneo dal punto di vista delle caratteristiche dell'alveo, di utilizzare i suddetti valori per tutto il tronco in esame.

Nelle figure seguenti sono mostrate le condizioni attuali del torrente nella zona di indagine.



*Figura 20 – Alveo nelle condizioni attuali - vista verso valle.*





*Figura 21 – Alveo nelle condizioni attuali - vista verso monte.*



### **8.3.2 Condizioni al contorno**

Un'altra importante informazione, che è funzione dello schema di calcolo utilizzato, che il programma richiede è la condizione al contorno per poter integrare.

Il modello di calcolo prevede quattro tipi di condizioni al contorno da imporre, nella sezioni finale di valle per correnti lente, in quella iniziale di monte per correnti veloci e in entrambe per regimi misti. In breve è possibile:

1. imporre una quota della superficie idrica, nota nella sezione di contorno
2. imporre che l'altezza idrica sia pari all'altezza di stato critico
3. imporre che l'altezza idrica soddisfi una scala di portate di cui si conosca la curva
4. imporre che l'altezza idrica sia pari all'altezza di moto uniforme

Negli alvei naturali non è sempre però possibile determinare a priori se il moto risulterà SUB- o SUPER- critico. Per questo motivo, vi è la possibilità di poter svolgere analisi dei profili in moto "mixed" (misto). Per poter utilizzare questa metodologia di risoluzione è però necessario fissare sia la condizione al contorno di monte che di valle.

Nel nostro caso, viste le pendenze presenti (circa 2%), e l'assenza di opere che possono generare interferenze con il moto della corrente, è prevedibile la formazione di un moto di tipo "veloce" e quindi la necessità della sola condizione al contorno di monte.

Data la presenza dell'immissione del torrente Bondione sono state inoltre inserite specifiche condizioni al contorno ("*Junction*") e metodologie di calcolo.



Di seguito si riassumono le condizioni al contorno inserite per il modello idraulico implementato:

TRATTO INTERESSATO	CONDIZIONE AL CONTORNO DI MONTE	CONDIZIONE AL CONTORNO DI VALLE
<b>Serio monte confluenza</b>	Altezza moto uniforme - pendenza del tratto di interesse	<i>Junction</i>
<b>Bondione</b>	Altezza moto uniforme - pendenza del tratto di interesse	<i>Junction</i>
<b>Serio valle confluenza</b>	<i>Junction</i>	Altezza moto uniforme - pendenza del tratto di interesse



## 9 RISULTATI: GRAFICI

Di seguito si riportano i risultati grafici ottenuti, per ogni singolo tratto analizzato, con le portate aventi un tempo di ritorno pari a 100 e 200 anni.

Legenda:

— = Livello di piena per  $Tr = 100$  anni;

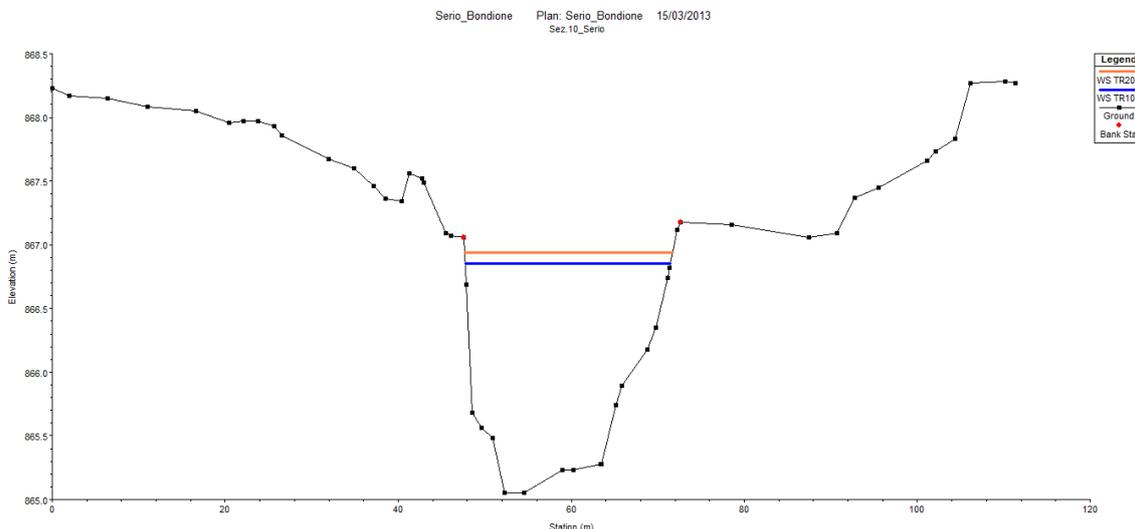
— = Livello di piena per  $Tr = 200$  anni;



## 9.1 Sezioni

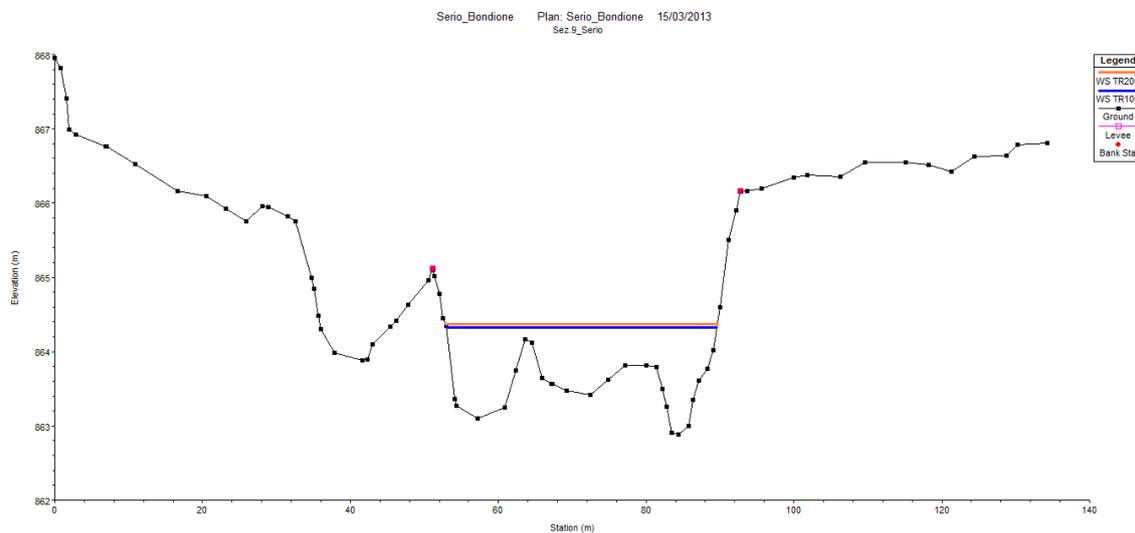
### 9.1.1 Fiume Serio

#### SEZIONE N. 10 - SERIO



*Figura 22 - Sezione n. 10 (vista da monte verso valle)*

#### SEZIONE N. 9 - SERIO

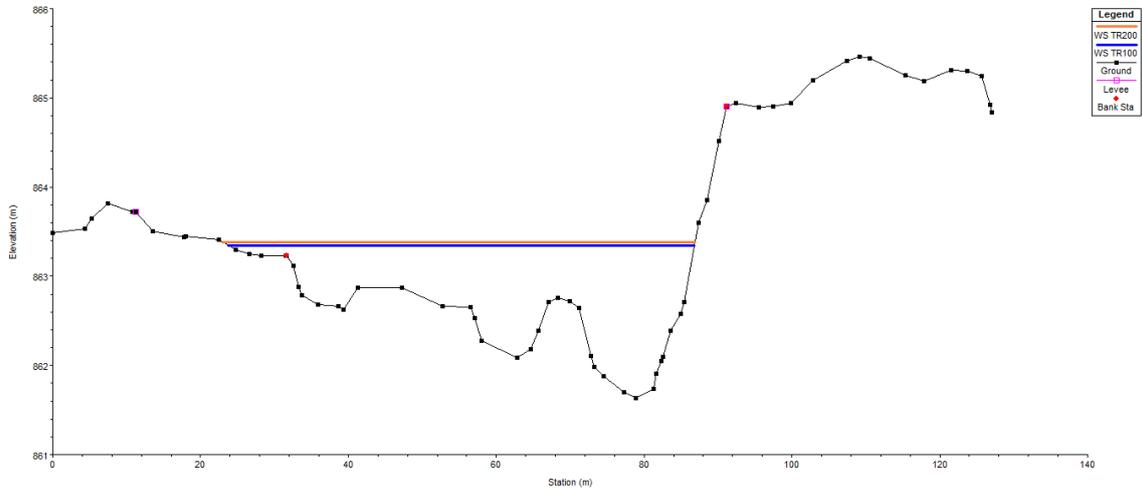


*Figura 23 - Sezione n. 9 (vista da monte verso valle)*



**SEZIONE N. 8 - SERIO**

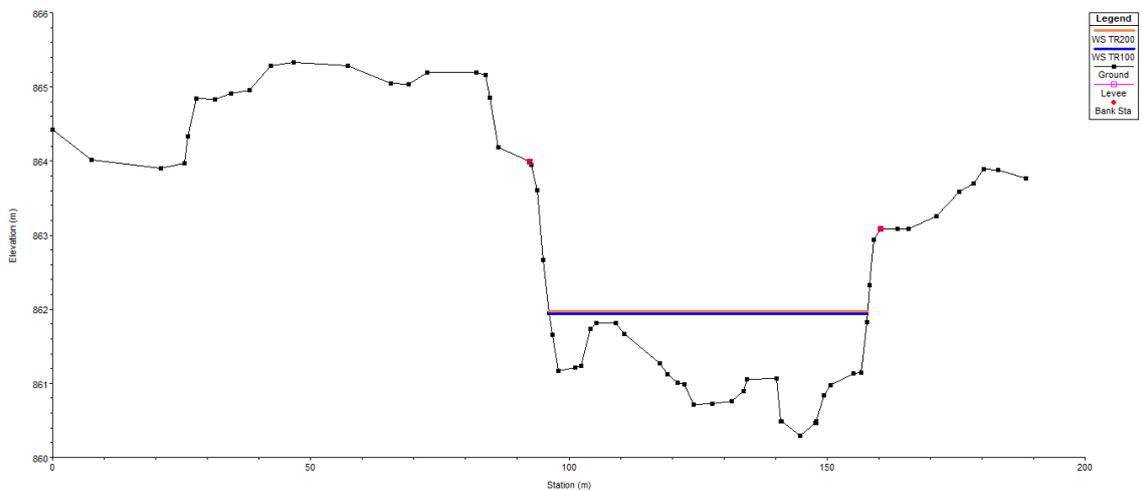
Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.8\_Serio



*Figura 24 - Sezione n. 8 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 7 - SERIO**

Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.7\_Serio

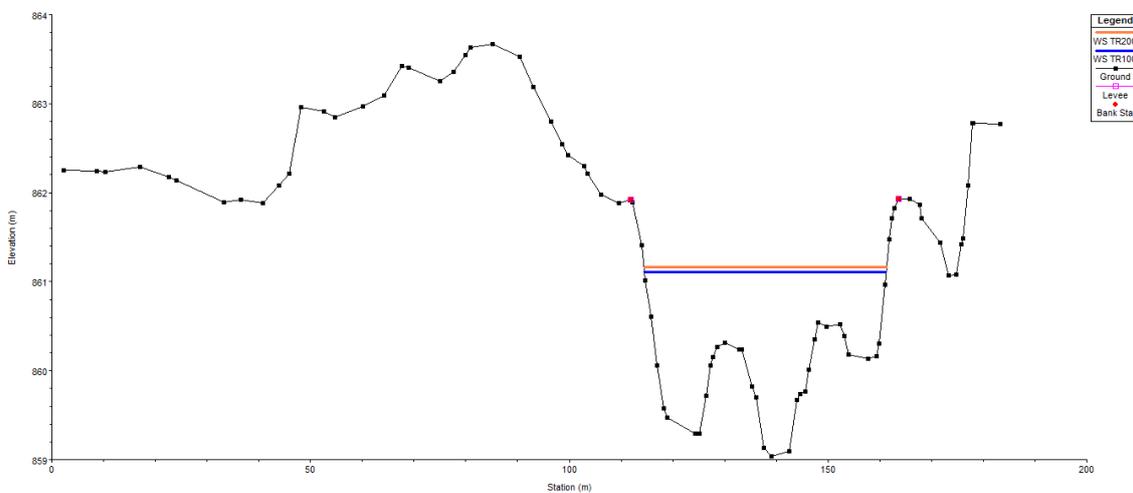


*Figura 25 - Sezione n. 7 (vista da monte verso valle)*



**SEZIONE N. 6 - SERIO**

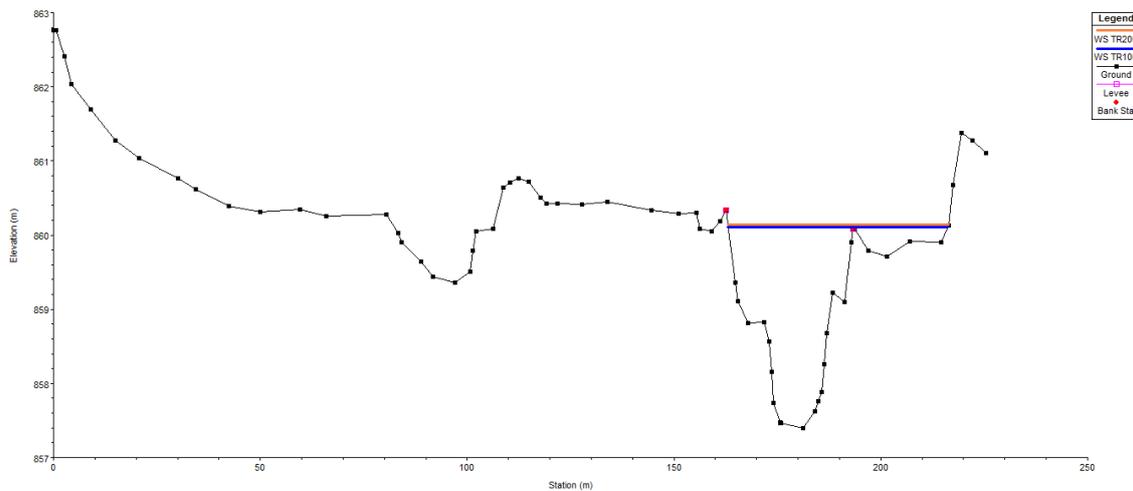
Serio\_Bondione Plan\_Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.6\_Serio



*Figura 26 - Sezione n. 6 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 5 - SERIO**

Serio\_Bondione Plan\_Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.5\_Serio

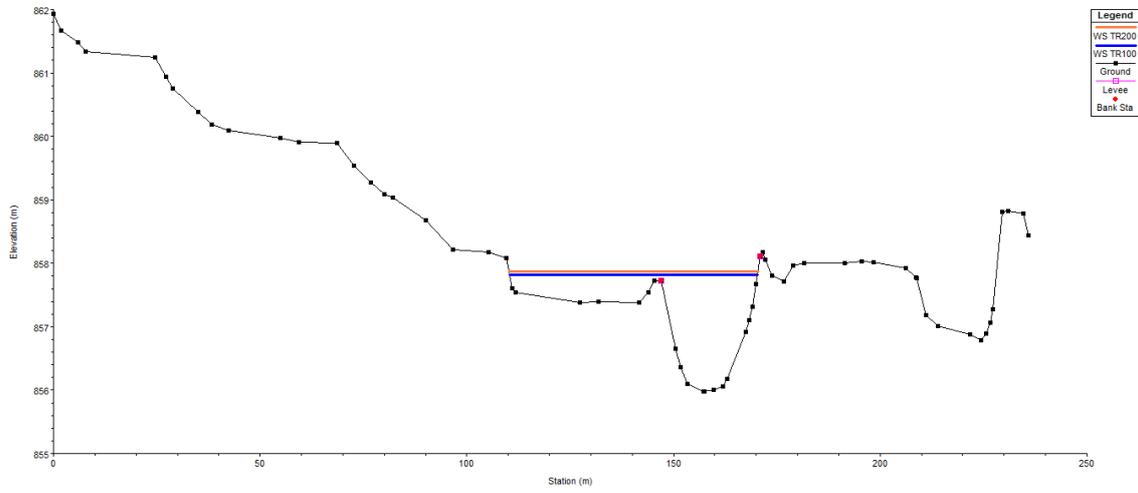


*Figura 27 - Sezione n. 5 (vista da monte verso valle)*



**SEZIONE N. 4 - SERIO**

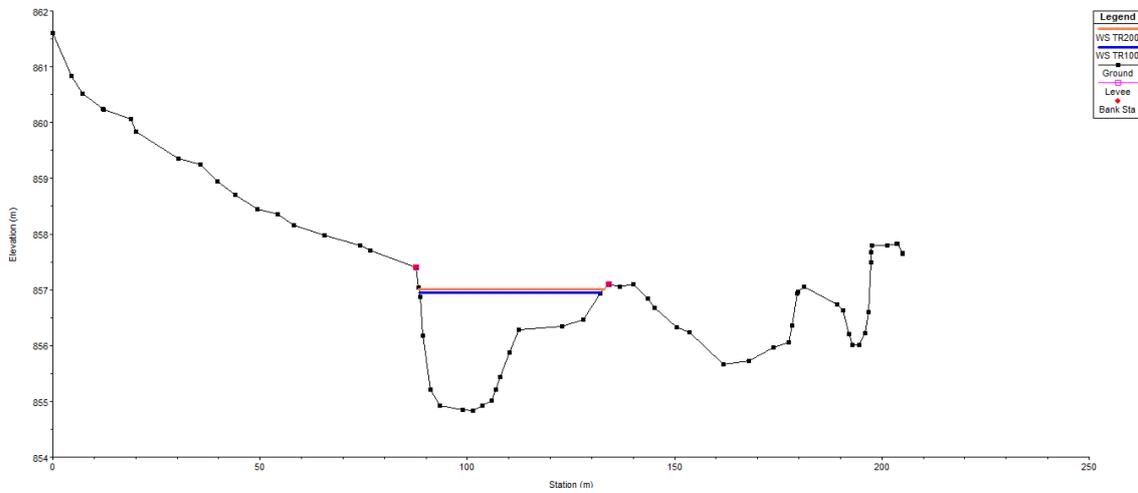
Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.4\_Serio



*Figura 28 - Sezione n. 4 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 3 - SERIO**

Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez.3\_Serio

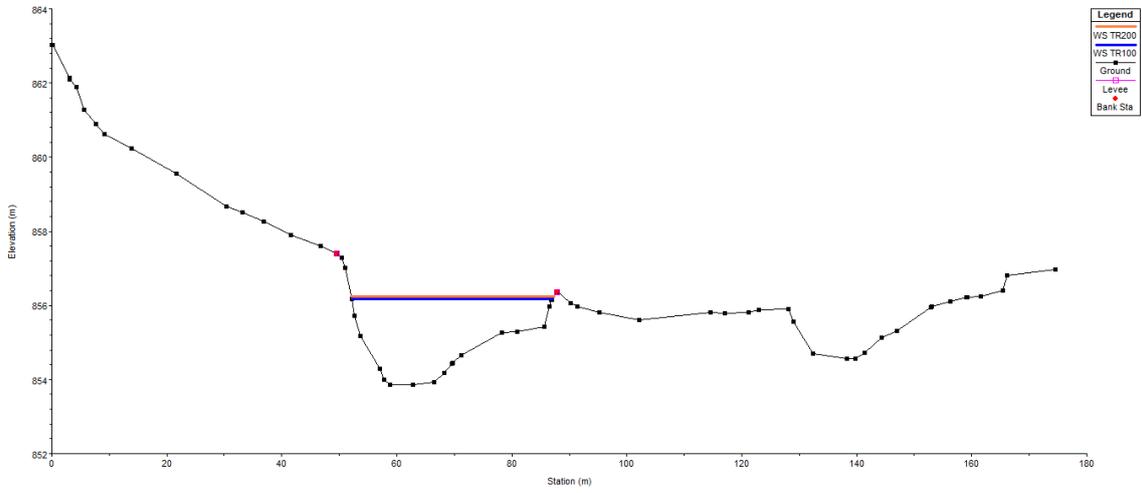


*Figura 29 - Sezione n. 3 (vista da monte verso valle)*



**SEZIONE N. 2 - SERIO**

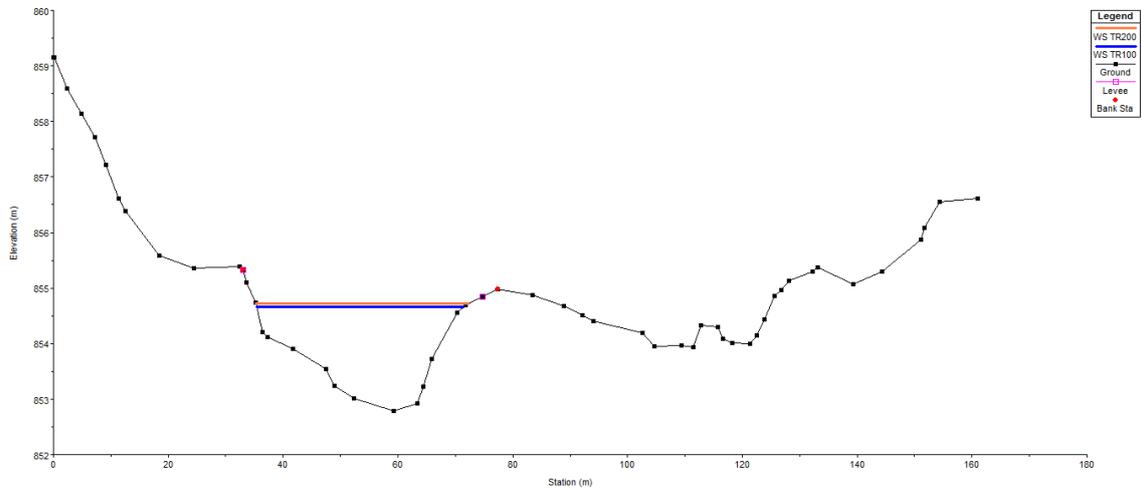
Serio\_Bondione Plan\_Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez\_2\_Serio



*Figura 30 - Sezione n. 2 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 1 - SERIO**

Serio\_Bondione Plan\_Serio\_Bondione 15/03/2013  
Sez\_1\_Serio



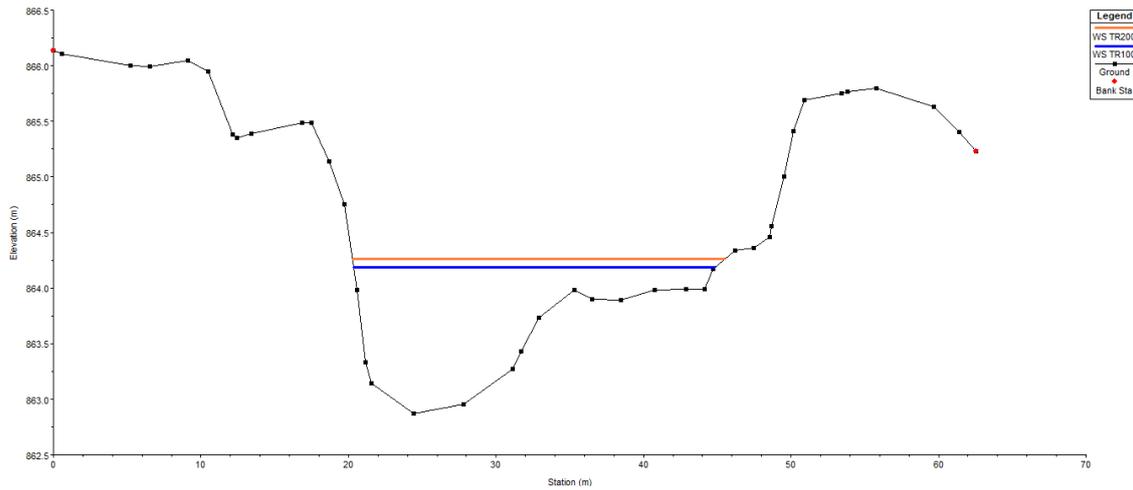
*Figura 31 - Sezione n. 1 (vista da monte verso valle)*



**9.1.2 Torrente Bondione**

**SEZIONE N. 1 - BONDIONE**

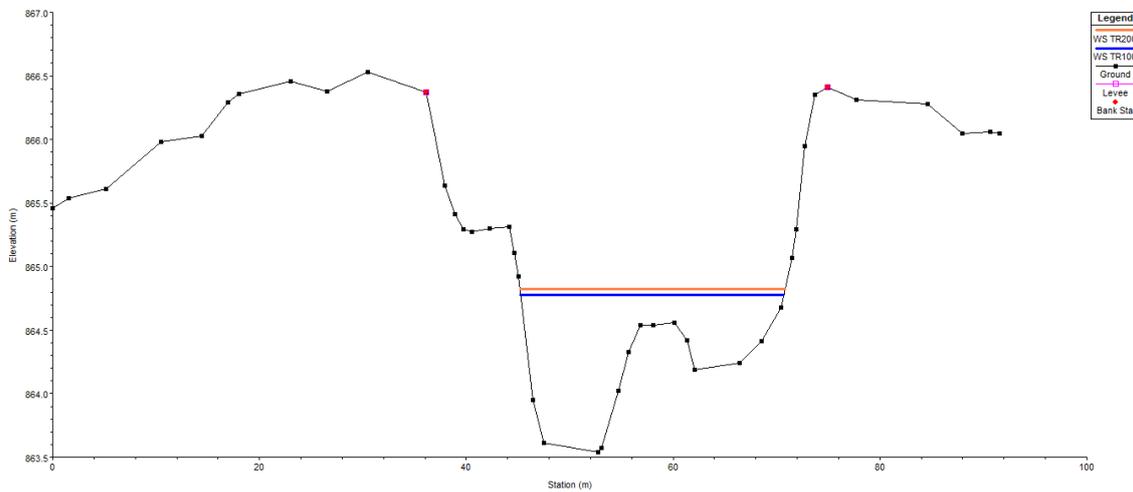
Serie\_Bondione Plan: Serie\_Bondione 15/03/2013



*Figura 32 - Sezione n. 1 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 2 - BONDIONE**

Serie\_Bondione Plan: Serie\_Bondione 15/03/2013

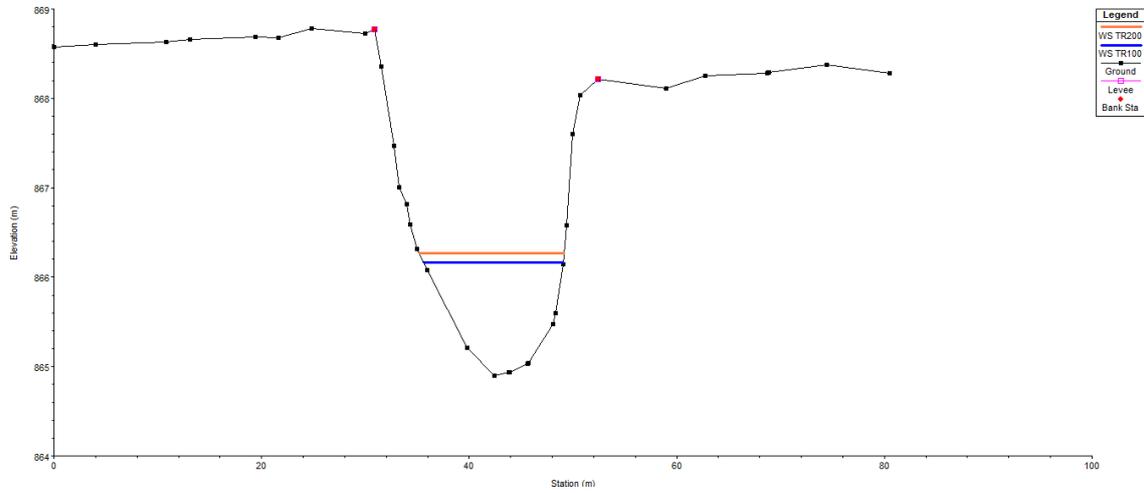


*Figura 33 - Sezione n. 2 (vista da monte verso valle)*



**SEZIONE N. 3 - BONDIONE**

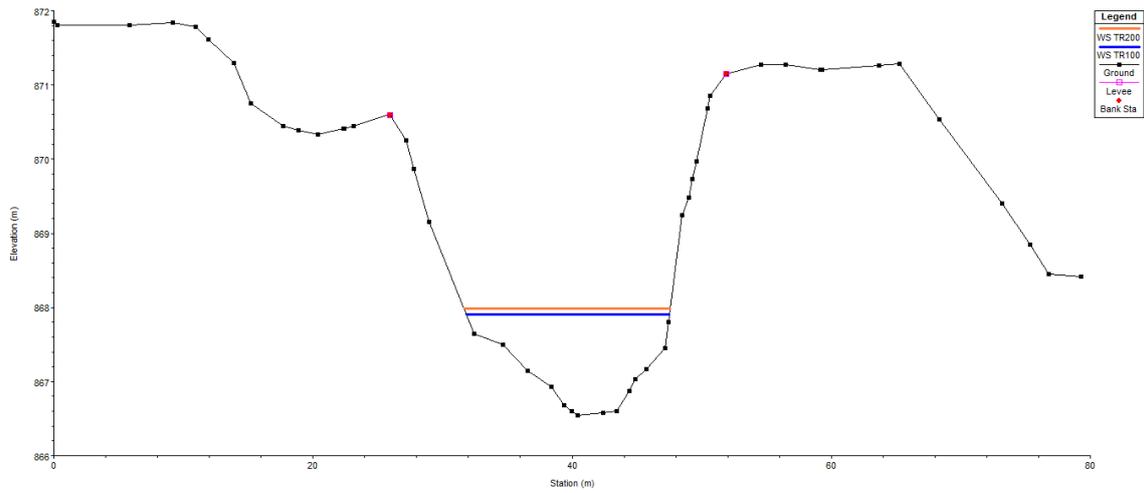
Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013



*Figura 34 - Sezione n. 3 (vista da monte verso valle)*

**SEZIONE N. 4 - BONDIONE**

Serio\_Bondione Plan: Serio\_Bondione 15/03/2013



*Figura 35 - Sezione n. 4 (vista da monte verso valle)*



## 9.2 Profili

### 9.2.1 Fiume Serio

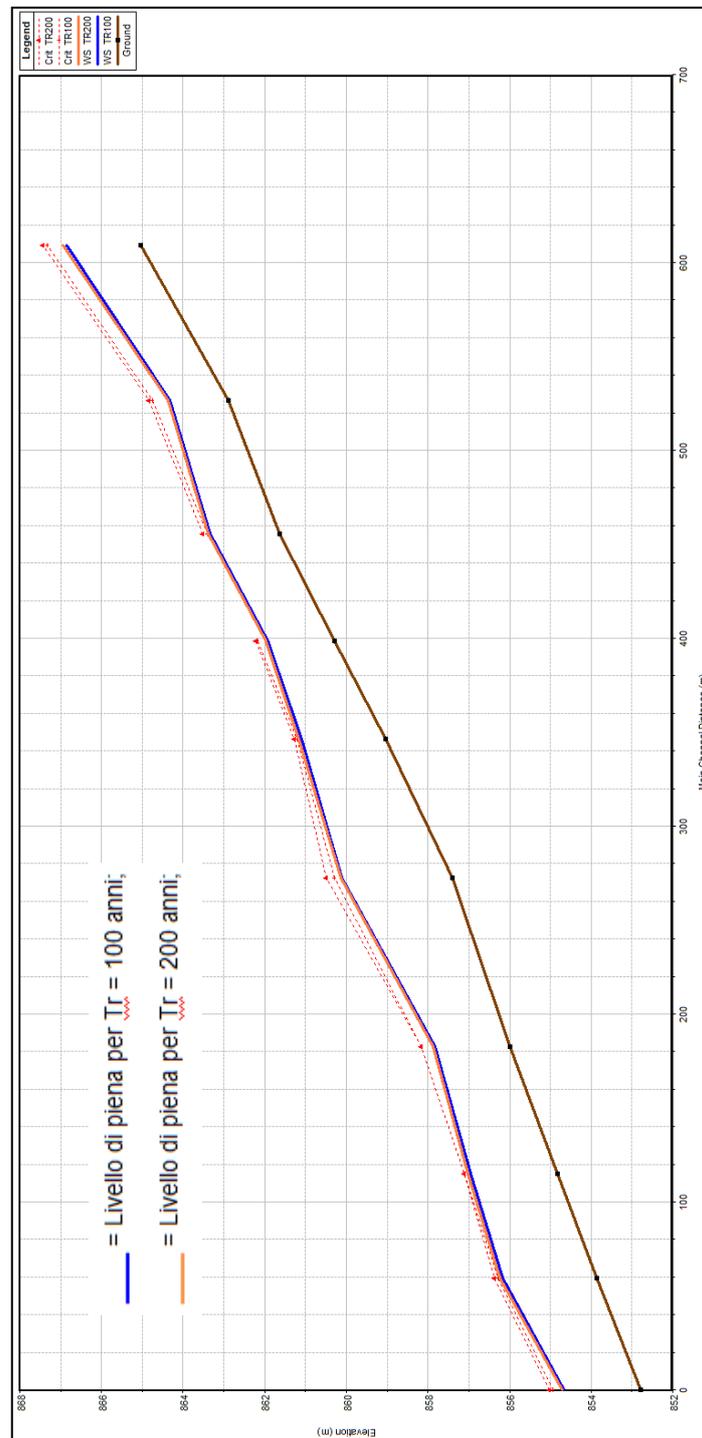
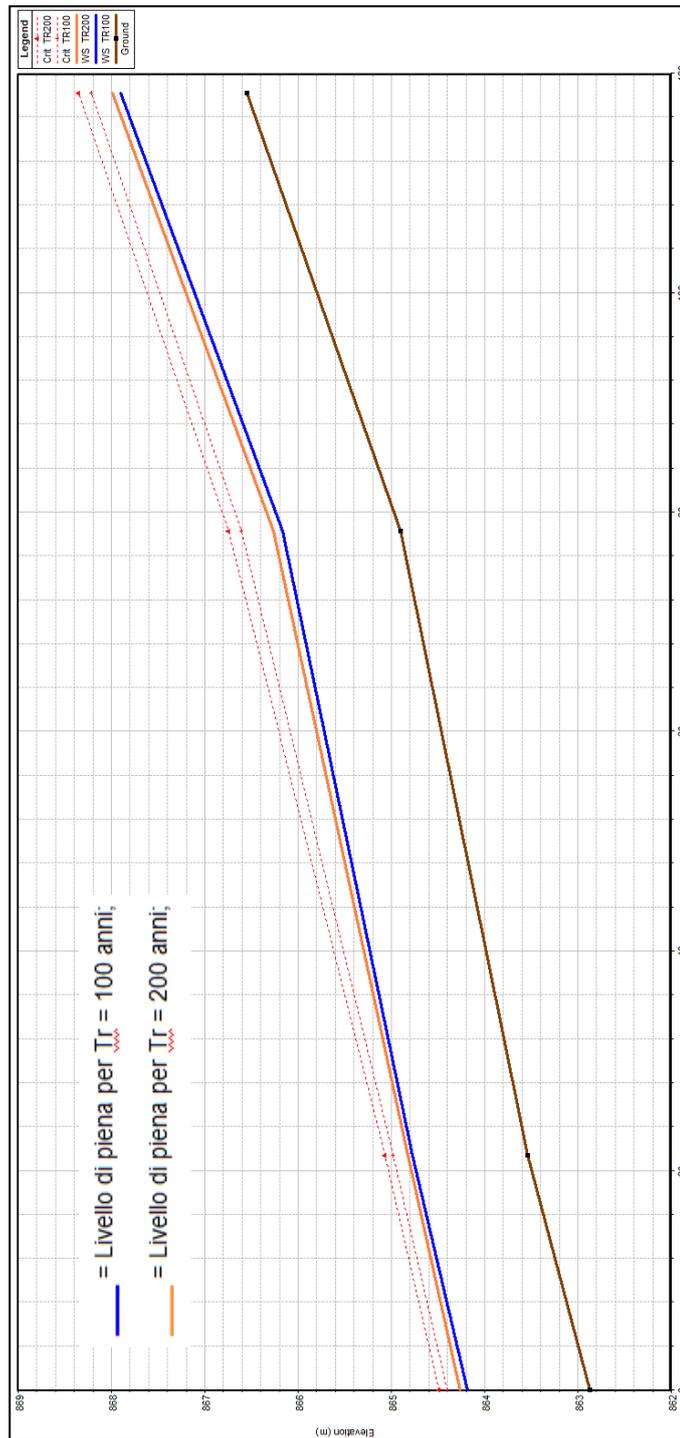


Figura 36 - Profili per i differenti tempi di ritorno del Fiume Serio.



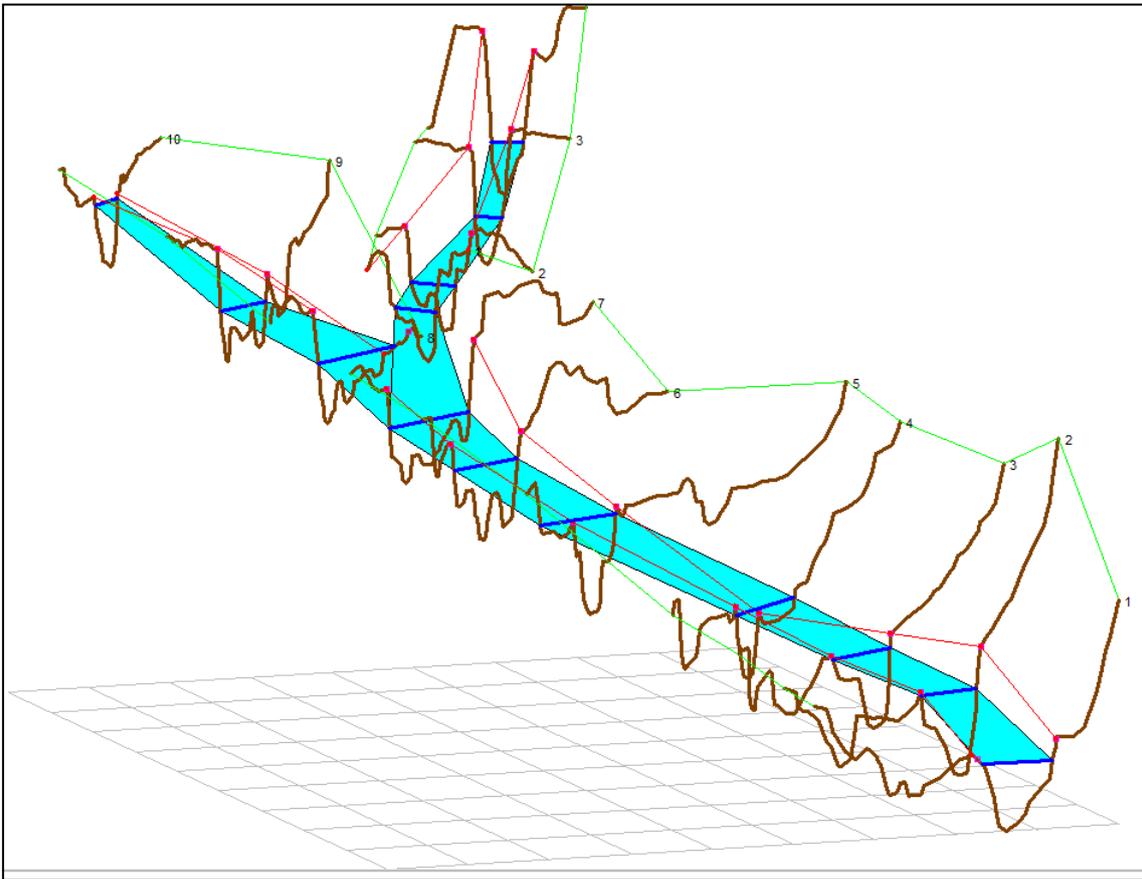
**9.2.2 Torrente Bondione**



*Figura 37 - Profili per i differenti tempi di ritorno del Torrente Bondione.*



### 9.3 Vista 3D



*Figura 38 - Vista 3D dell'area investigata da valle per T = 200 anni*



## 10 RISULTATI: TABELLE RIASSUNTIVE

Contenuto del capitolo seguente è la tabella di simulazione idraulica che riassume, per ogni sezione del modello idraulico, i valori delle grandezze di riferimento.

La tabella è composta, da sinistra verso destra dalle seguenti colonne:

**Reach:** colonna che riporta il nome del tratto di fiume/torrente oggetto d'analisi.

**River station:** indica la sezione alla quale fanno riferimento le grandezze idrauliche e geometriche sulla medesima riga.

**Profile:** indica il tempo di ritorno per la quale è stata eseguita la simulazione idraulica.

**Q total:** riporta il valore della portata al colmo di piena stimato per il tempo di ritorno riportato nella colonna precedente.

**Min Ch El:** rappresenta la quota di fondo in m s.l.m. della sezione in esame.

**W.S. Elev:** rappresenta la quota in m s.l.m. del profilo di moto permanente nella sezione in esame.

**Crit W.S.:** rappresenta la quota di stato critico in m s.l.m. alla sezione in esame.

**E.G. Elev.:** rappresenta la quota in m s.l.m. della linea dei carichi totali.

**E.G. Slope:** rappresenta la pendenza della cadente dell'energia.

**Vel Chl:** rappresenta la velocità di deflusso nell'alveo inciso per la sezione corrispondente.

**Froude:** riporta il valore del numero di Froude. (si ricorda che per valori inferiori a 1 si ha deflusso in corrente lenta, per valori maggiori di deflusso in corrente veloce).



## 10.1 Fiume Serio

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Froude
	[num]	[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[-]
Fiume Serio - Monte e Valle confluenza	10	TR100	155	865.05	866.85	867.33	868.13	0.020028	5	1.6
	10	TR200	170	865.05	866.94	867.44	868.29	0.020013	5.16	1.61
	9	TR100	155	862.89	864.32	864.76	865.76	0.043455	5.32	1.82
	9	TR200	170	862.89	864.37	864.84	865.92	0.043809	5.52	1.82
	8	TR100	155	861.63	863.35	863.41	863.88	0.013914	3.23	1.49
	8	TR200	170	861.63	863.39	863.51	863.97	0.014505	3.39	1.56
	7	TR100	215	860.3	861.94	862.17	862.79	0.023007	4.09	1.46
	7	TR200	230	860.3	861.98	862.22	862.87	0.022772	4.19	1.46
	6	TR100	215	859.04	861.11	861.22	861.87	0.013377	3.87	1.4
	6	TR200	230	859.04	861.16	861.28	861.96	0.01316	3.95	1.41
	5	TR100	215	857.4	860.11	860.29	860.96	0.009854	4.14	1.9
	5	TR200	230	857.4	860.14	860.49	861.07	0.01066	4.34	1.93
	4	TR100	215	855.98	857.82	858.17	859.48	0.028478	6.07	1.11
	4	TR200	230	855.98	857.87	858.17	859.53	0.027884	6.13	1.14
	3	TR100	215	854.83	856.95	857.1	857.84	0.015918	4.19	1.42
	3	TR200	230	854.83	857.01	857.1	857.93	0.015653	4.25	1.42
	2	TR100	215	853.86	856.16	856.29	857.07	0.012067	4.22	1.13
	2	TR200	230	853.86	856.24	856.36	857.18	0.011765	4.28	1.13
	1	TR100	215	852.78	854.67	854.93	856.04	0.024654	5.18	1.02
	1	TR200	230	852.78	854.72	855.03	856.15	0.025001	5.29	1.06

Figura 39 – Tabella riassuntiva Fiume Serio – Tr = 100 e 200 anni.



**10.2 Torrente Bondione**

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Froude
	[num]	[anni]	[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m/m]	[m/s]	[-]
Torrente Bondione	4	TR100	60	866.55	867.9	868.22	868.97	0.03001	4.57	1.6
	4	TR200	70	866.55	867.99	868.36	869.17	0.030011	4.82	1.61
	3	TR100	60	864.9	866.17	866.61	867.57	0.038907	5.25	1.82
	3	TR200	70	864.9	866.27	866.74	867.79	0.038186	5.47	1.82
	2	TR100	60	863.54	864.78	864.98	865.48	0.028425	3.72	1.49
	2	TR200	70	863.54	864.83	865.07	865.65	0.030401	4.02	1.56
	1	TR100	60	862.87	864.19	864.4	864.89	0.026916	3.71	1.46
	1	TR200	70	862.87	864.26	864.49	865.03	0.026375	3.88	1.46

*Figura 40 – Tabella riassuntiva Torrente Bondione – Tr = 100 e 200 anni.*

## **11 CONSIDERAZIONI SUI RISULTATI CONSEGUITI DAI MODELLI IDRAULICI - (TR 200 ANNI)**

**Si precisa che il tratto di interesse per la ripermetrazione è quello relativo a Serio Valle.**

### **11.1 Fiume Serio**

Dai calcoli idraulici si evince quanto segue:

- Partendo da monte la corrente si presenta "veloce". A causa delle pendenze presenti lungo il tratto e data l'assenza di particolari sezioni critiche (come salti di fondo, restringimenti, ...), continua a mantenersi in tale moto per tutto il tratto oggetto di studio.
- anche se dai calcoli non risultano esserci esondazioni, il franco idraulico rispetto alle aree presenti in destra idraulica è in alcune sezioni molto limitato, in particolare nei pressi delle sezioni n. 1, 2, 3 e 5.
- in sinistra idraulica si osservano in generale franchi idraulici più consistenti per il deflusso della piena. La sezione che denota franchi ridotti è la n.4
- le velocità nelle aree di esondazione sono ridotte
- In generale viste le altezze di pelo libero calcolate, e considerata la morfologia del territorio, le singole sezioni che sono verificate con buoni franchi potrebbero comunque avere franchi ridotti appena a monte o a valle

### **11.2 Torrente Bondione**

Dai calcoli idraulici si evince quanto segue:



- Partendo da monte la corrente si presenta "veloce". A causa delle pendenze presenti lungo il tratto e data l'assenza di particolari sezioni critiche (come salti di fondo, restringimenti, ...), continua a mantenersi in tale moto per tutto il tratto oggetto di studio.
- sia in destra che in sinistra idraulica non si registrano situazioni particolarmente critiche per il solo tratto investigato.
- Si specifica che in questa simulazione non è stato considerato il trasporto solido



## 12 PROPOSTA DI PERIMETRAZIONE

### 12.1 Aree esondabili, Zonazione della pericolosità e proposta della carta dei dissesti

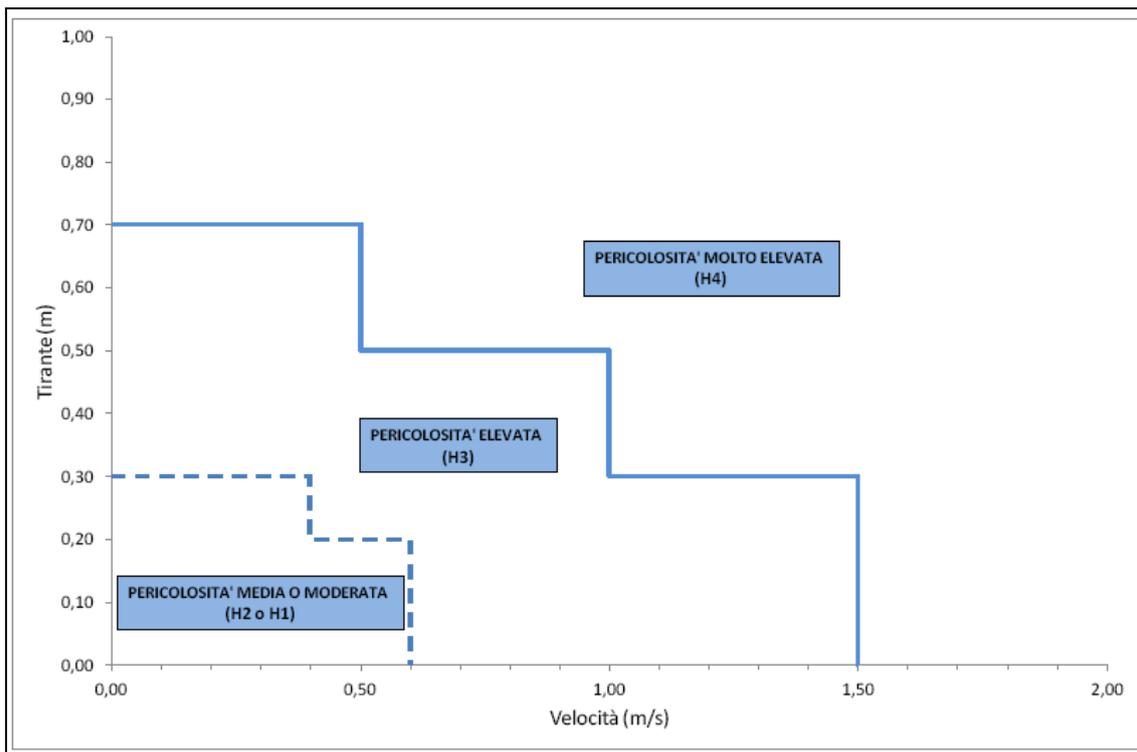
Sulla base delle risultanze del presente studio idraulico e dell'analisi morfologica sul campo si è proceduto alla valutazione delle aree esondabili.

Per la definizione di tali aree si è proceduto secondo quanto riporta all'interno dell'Allegato 4 "Procedure per la valutazione e la zonazione della pericolosità e del rischio da esondazione" della deliberazione di Giunta regionale del 30/11/2011 - n. IX/2616 "Aggiornamento dei 'Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del P.G.T. (art. 57, comma 1) della l.r. 11 marzo 2005, ovvero mediante il:

- 1 - confronto dei livelli di piena ottenuti con la morfologia del territorio e tracciamento delle aree esondabili dalla piena di riferimento ( $Tr = 200$  anni);
- 2 - confronto critico fra la delimitazione delle aree ottenute al punto precedente con le informazioni disponibili relative a eventi di piena precedenti e con le informazioni di carattere geomorfologico desumibili dall'analisi del territorio;
- 3 - [...]



Le aree esondabili possono essere classificate secondo diversi livelli di pericolosità che si determinano principalmente in base ai tiranti idrici e alle velocità di scorrimento calcolate. Secondo il sopracitato *Allegato 4*, per la classificazione dei diversi livelli di pericolosità idraulica viene fatto riferimento al grafico seguente:



*Figura 41 - Grafico utile alla classificazione dei diversi livelli di pericolosità.*



In particolare è stata assegnata la classe di pericolosità molto elevata (H4) corrispondente alla classe “**Ee**” del PAI alle aree che risultano direttamente esondabili; nel nostro caso tali aree coincidono con l'alveo del Fiume Serio e con le sponde prossime allo stesso.

Ai pianori esondabili o potenzialmente esondabili al di fuori dell'alveo vero e proprio è stata assegnata in generale una classe di pericolosità H3 corrispondente alla classe “**Eb**” del PAI, considerando le altezze e le velocità corrispondenti.

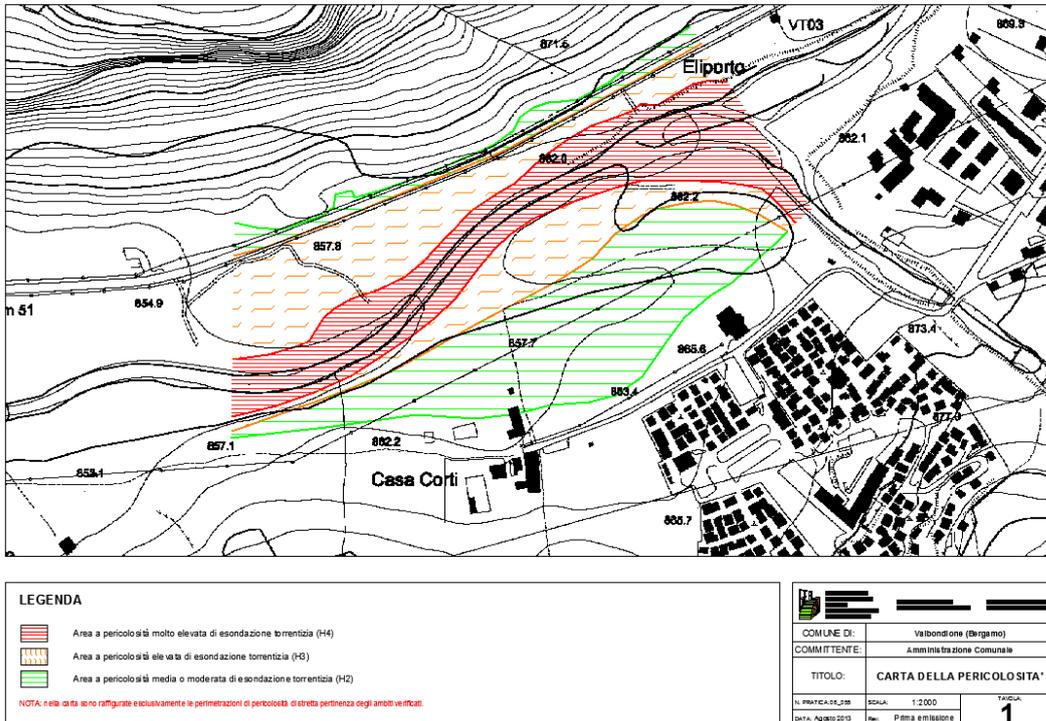
In particolare in destra idraulica tale classe è stata assegnata sino alla scarpata in corrispondenza della strada provinciale. In sinistra invece è stata assegnata considerando i risultati numerici della sezione n. 4, poi riportati e collegati morfologicamente a monte e a valle utilizzando i dati derivanti dal rilievo laser-scanner.

Le aree restanti in sinistra idrografica, vista la morfologia in parte comunque depressa di alcune zone e l'ambito della strada provinciale per la sponda destra, sono state inserite in classe “**Em**” del PAI.

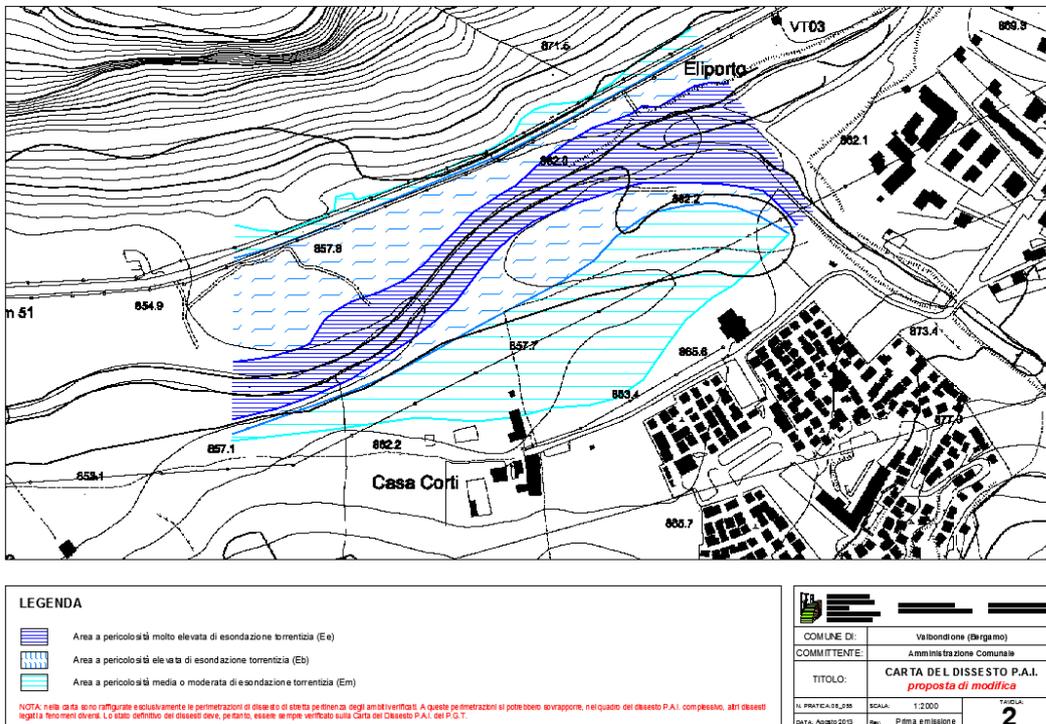
Livello di Pericolosità	Tipo di dissesto	Classe di fattibilità	Norme associate
H4	Ee	4	Art. 9 comma 4 delle N.T.A. del PAI
H3	Eb	3	Art. 9 comma 5 delle N.T.A. del PAI
H2	Em	3	Art. 9 comma 6 bis delle N.T.A. del PAI

Per le perimetrazioni finali si vedano le tavole 1, 2 e 3 allegate alla presente relazione e di seguito riportate in stralcio.





*Figura 42 - Carta della pericolosità (TAV 1 in allegato)*



*Figura 43 - Carta del dissesto (TAV 2 in allegato)*

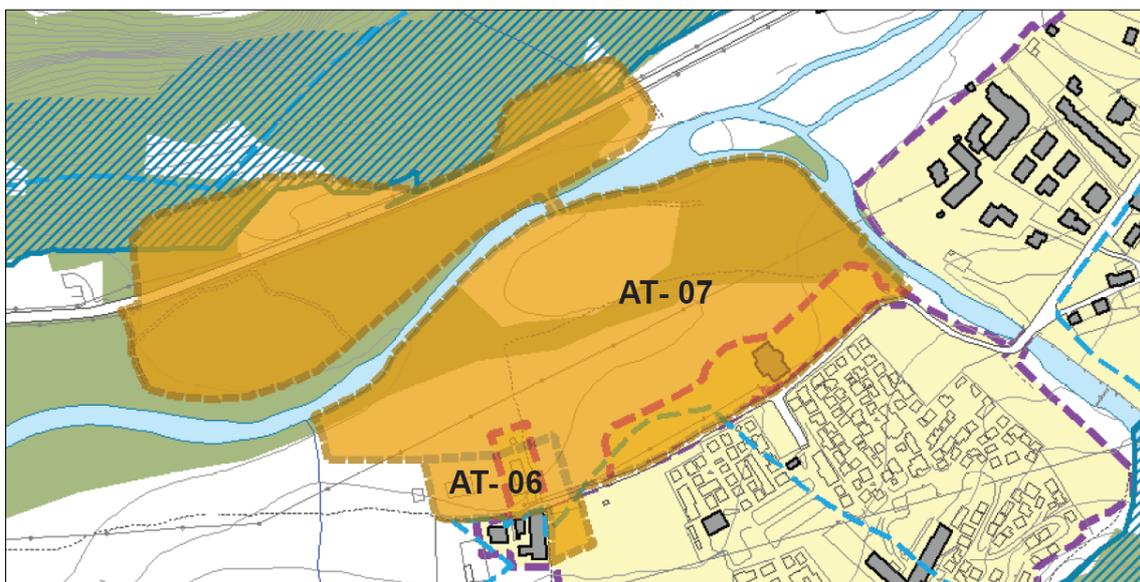




## 13 CONSIDERAZIONE SUI RISULTATI OTTENUTI E LE PREVISIONI URBANISTICHE DI PIANO

### 13.1 Note tecniche

Nelle aree di indagine sono previsti, secondo l'ambito di trasformazione AT 7 del redigendo PGT, la realizzazione di attività turistico sportive, turistico-ricettive –commerciali e aree di sosta.



*Figura 45 - Stralcio del documento di piano con individuazione degli ambiti di trasformazione interferenti con la aree di indagine*



In linea di massima le opere dovranno essere previste in aree attualmente esterne alle zone di rischio mappate così come dal presente studio e in particolare alle zone individuate come H3 e H4, corrispondenti rispettivamente alle classi Eb e Ee.

In sede di progettazione potrebbe esserci la necessità di utilizzare delle aree attualmente a rischio H3 (e quindi associate alla normativa della classe Eb).

Un caso probabile è ad esempio quello che riguarda la realizzazione di parcheggi a raso in destra idrografica; in tale situazione, prima della realizzazione degli interventi, occorrerà prevedere delle opere di sistemazione idrogeologia per la mitigazione del rischio.

Per tale area in particolare, si consiglia la realizzazione di un argine con utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica, per ottenere risultati a basso impatto ambientale e paesistico (così come previsto per l'ambito AT7), facendo riferimento in particolare alla seguente normativa:

*Direttiva*: Direttiva concernente criteri ed indirizzi per l'attuazione degli interventi di ingegneria naturalistica sul territorio della Regione

*Provvedimento*: **d.g.r. n° VI/6586 in data 19.12.1995**

*Principali argomenti trattati*: Criteri progettuali per la sistemazione dei corsi d'acqua e dei bacini lacustri, per il consolidamento dei versanti, il recupero di aree degradate, la scelta delle piante e gli ecosistemi filtro.

*Direttiva*: Direttiva sull'impiego dei materiali vegetali vivi negli interventi di ingegneria naturalistica in Lombardia

*Provvedimento*: **d.g.r. n° VII/29567 in data 01.07.1997**

*Principali argomenti trattati*: Scelta delle specie e delle caratteristiche delle piante da utilizzare, conservazione e cure colturali, progettazione ed esecuzione degli interventi.



Direttiva: Direttiva Quaderno opere tipo di ingegneria naturalistica

Provvedimento: **d.g.r. n° VI/48740 in data 29.02.2000**

Principali argomenti trattati: Modalità e criteri di progettazione, e esecuzione e direzione dei lavori, collaudo, caratteristiche tecniche delle singole opere di ingegneria naturalistica.

Direttiva: Direttiva per il reperimento di materiale vegetale vivo nelle aree demaniali da impiegare negli interventi di ingegneria naturalistica

Provvedimento: **d.g.r. n° VII/2571 in data 11.11.2000**

Principali argomenti trattati: Modalità di raccolta delle piante nelle foreste “demaniali” di proprietà della Regione.

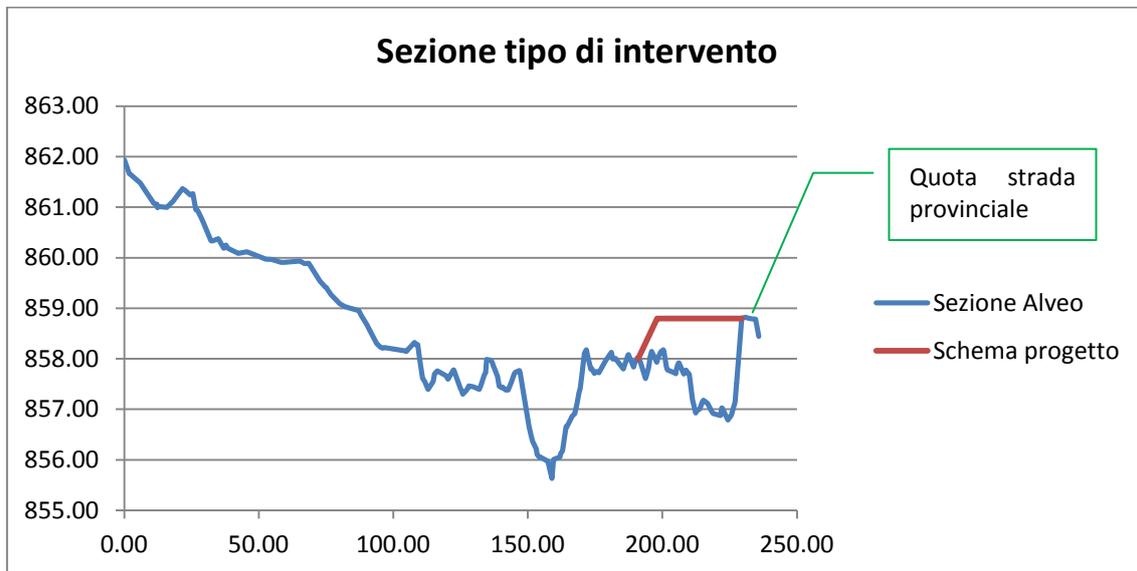
In termini geometrici, le quote di imposta finali dell'area dovranno essere almeno pari alla quota della strada provinciale e l'argine potrà essere realizzato ad almeno 20 metri dalla sponda del Fiume Serio, per consentire sia di avere un'area di laminazione che possa contenere i volumi eventualmente esondabili, sia di evitare che fenomeni erosivi associati alla sponda attuale del Fiume Serio interessino la nuova opera. I volumi attualmente in gioco nelle aree indicate con Eb sono ridotti e quindi una riduzione della sezione d'alveo non porta ad effetti negativi significativi sull'altra sponda.

La posizione planimetrica finale della scogliera e gli altri accorgimenti costruttivi (ad esempio il dimensionamento dei massi in modo da resistere all'azione di trascinarsi della corrente) dovranno essere soggette a progettazione di dettaglio che potrà valutare anche le interferenze tra le sponde opposte.

In caso di realizzazione e del collaudo di tali opere, le aree al di sopra della quota del nuovo argine potranno, a seguito di variante urbanistica, essere successivamente declassificate ad Em.

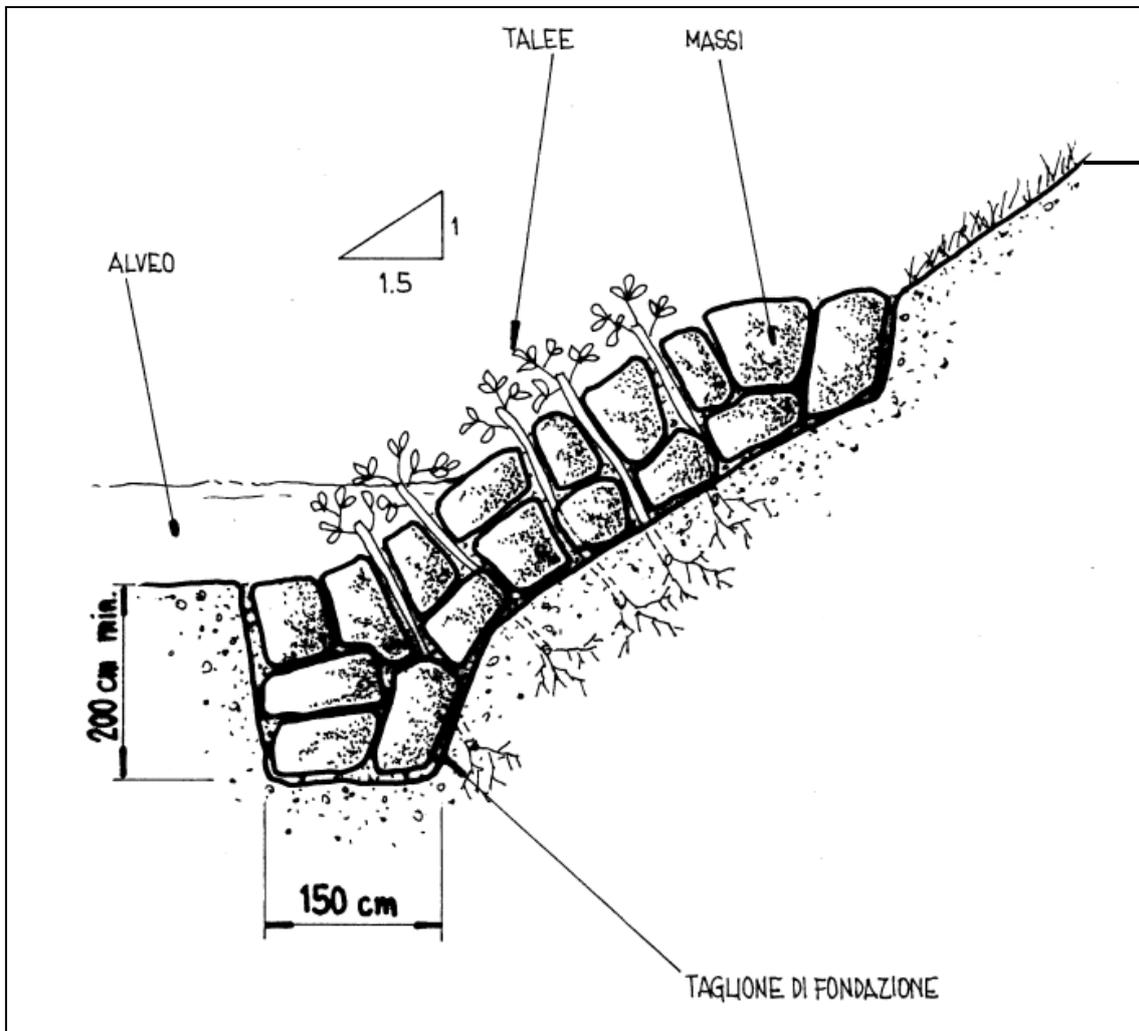


Anche per le previsioni in sinistra idrografica, occorrerà tenere in considerazione in linea di massima i suggerimenti di cui sopra.



*Figura 46 - Schema di progetto (in rosso nuova linea di progetto)*





*Figura 47 - Schema di intervento*

Per le opere che ricado e ricadranno in ambito Em, occorrerà prevedere accorgimenti tecnici-costruttivi, così come indicati nel paragrafo seguente.

Anche per eventuali interventi compatibili con ambiti Eb si dovrà tenere conto di tali prescrizioni.



### **13.2 Accorgimenti costruttivi per le aree classificate in Em (e nelle aree Eb per gli interventi compatibili)**

Nelle aree Em ed eventualmente quelle prossime alle stesse, a favore di sicurezza, eventuali opere dovranno essere realizzate mediante accorgimenti costruttivi che impediscano danni a beni e strutture e/o che consentano la facile e immediata evacuazione dell'area inondabile da parte di persone e beni mobili.

#### a) Misure per evitare il danneggiamento dei beni e delle strutture

- realizzare le superfici abitabili, le aree sede dei processi industriali, degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiali sopraelevate rispetto al livello della piena di riferimento;
- realizzare le aperture degli edifici situate al di sotto del livello di piena a tenuta stagna; disporre gli ingressi in modo che non siano perpendicolari al flusso principale della corrente;
- progettare la viabilità minore interna e la disposizione dei fabbricati così da limitare allineamenti di grande lunghezza nel senso dello scorrimento delle acque, che potrebbero indurre la creazione di canali di scorrimento a forte velocità;
- progettare la disposizione dei fabbricati in modo da limitare la presenza di lunghe strutture trasversali alla corrente principale;
- favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo.

#### b) Misure atte a garantire la stabilità delle fondazioni

- opere drenanti per evitare le sottopressioni idrostatiche nei terreni di fondazione; qualora il calcolo idraulico non consenta di differenziare il valore della velocità nelle diverse porzioni della sezione, il grafico viene letto in funzione della velocità media nella sezione. Si intende che le



condizioni idrauliche così definite si mantengano invariate su tutto il tronco a cavallo della sezione;

- opere di difesa per evitare i fenomeni di erosione delle fondazioni superficiali;
- fondazioni profonde per limitare i fenomeni di cedimento o di rigonfiamento di suoli coesivi.

c) Misure per facilitare l'evacuazione di persone e beni in caso di inondazione

- uscite di sicurezza situate sopra il livello della piena di riferimento aventi dimensioni sufficienti per l'evacuazione di persone e beni verso l'esterno o verso i piani superiori;
- vie di evacuazione situate sopra il livello della piena di riferimento.

d) Utilizzo di materiali e tecnologie costruttive che permettano alle strutture di resistere alle pressioni idrodinamiche

e) Utilizzo di materiali per costruzione poco danneggiabili al contatto con l'acqua.

Ranica, Agosto 2013

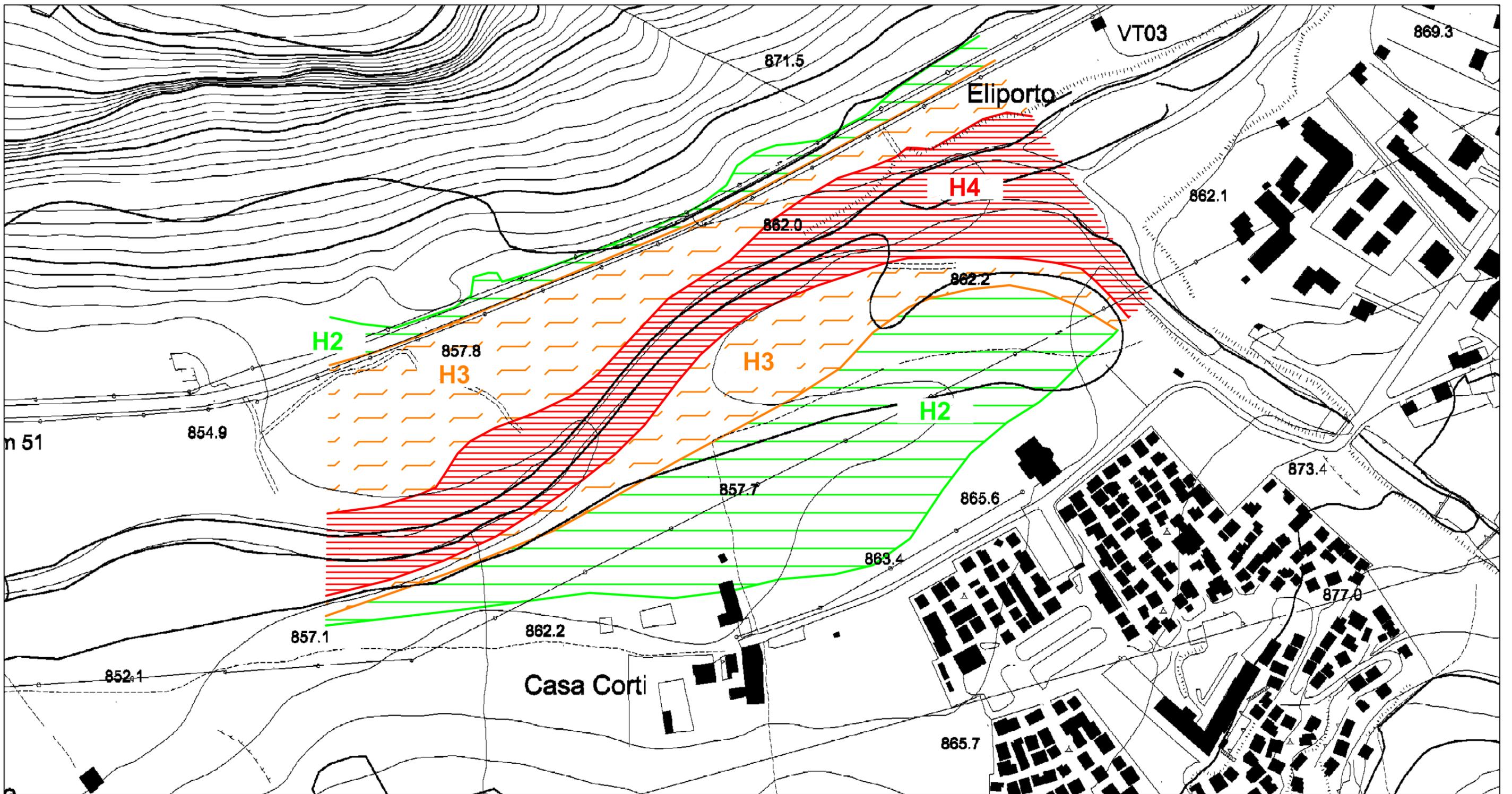
Dott. Geol. Sergio Ghilardi

Dott. Ing. Francesco Ghilardi



## TAVOLE ALLEGATE





**LEGENDA**

-  Area a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia (H4)
-  Area a pericolosità elevata di esondazione torrentizia (H3)
-  Area a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia (H2)

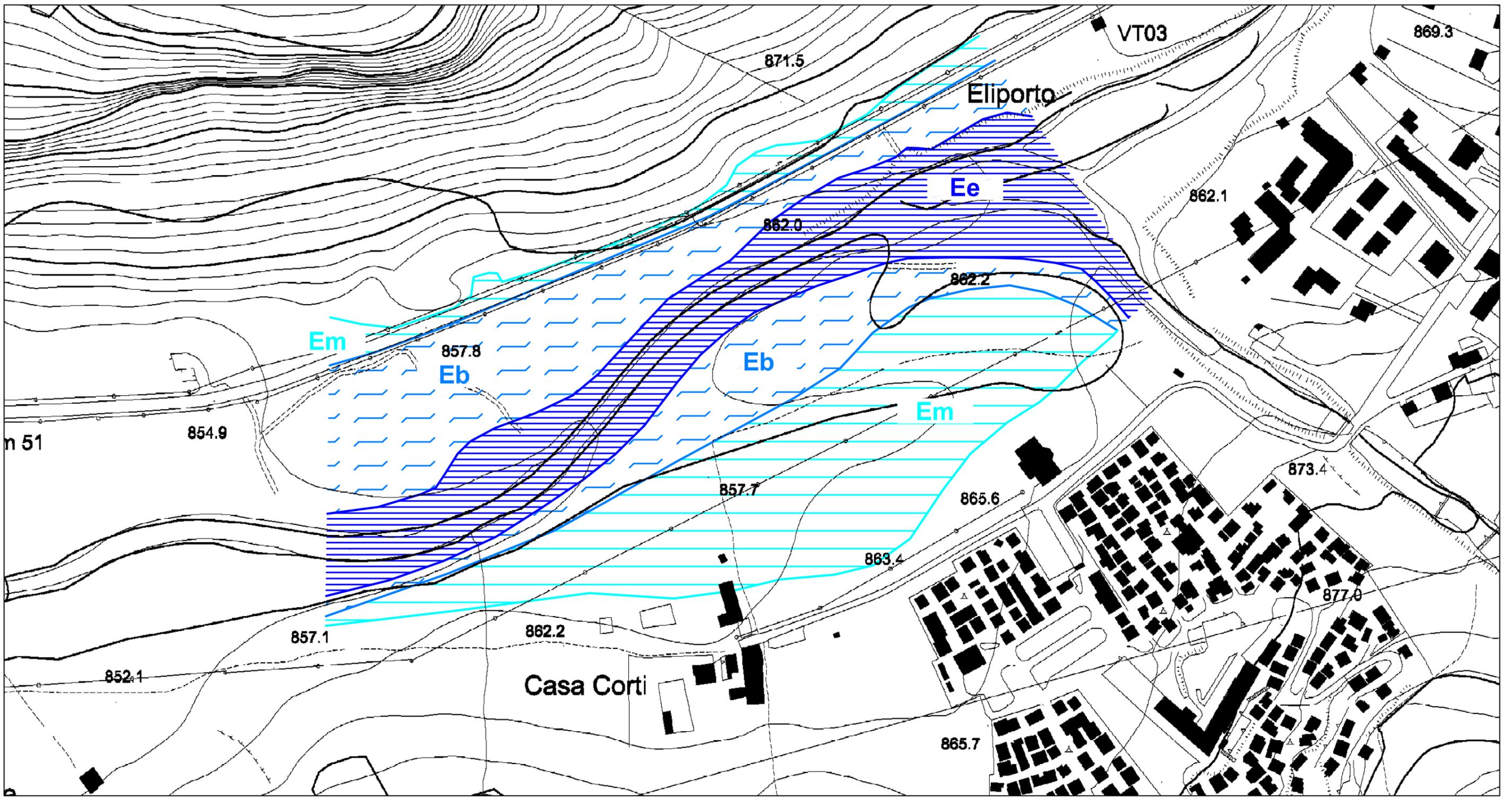
NOTA: nella carta sono raffigurate esclusivamente le perimetrazioni di pericolosità di stretta pertinenza degli ambiti verificati.


 G. Ghilardi & C. s.n.c.  
 24020 RANICA (Bergamo)  
 Via Tezze, 1  
 Telefono e Fax: 035 / 340 112  
 E-Mail: gea@medicom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI  
 iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI  
 iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057

COMUNE DI:	Valbondlone (Bergamo)	
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale	
TITOLO:	CARTA DELLA PERICOLOSITA'	
N. PRATICA: 08_055	SCALA: 1:2000	TAVOLA: <b>1</b>
DATA: Agosto 2013	Rev: Prima emissione	



**LEGENDA**

-  Area a pericolosità molto elevata di esondazione torrentizia (Ee)
-  Area a pericolosità elevata di esondazione torrentizia (Eb)
-  Area a pericolosità media o moderata di esondazione torrentizia (Em)

**NOTA:** nella carta sono raffigurate esclusivamente le perimetrazioni di dissesto di stretta pertinenza degli ambiti verificati. A queste perimetrazioni si potrebbero sovrapporre, nel quadro del dissesto P.A.I. complessivo, altri dissesti legati a fenomeni diversi. Lo stato definitivo dei dissesti deve, pertanto, essere sempre verificato sulla Carta del Dissesto P.A.I. del P.G.T.

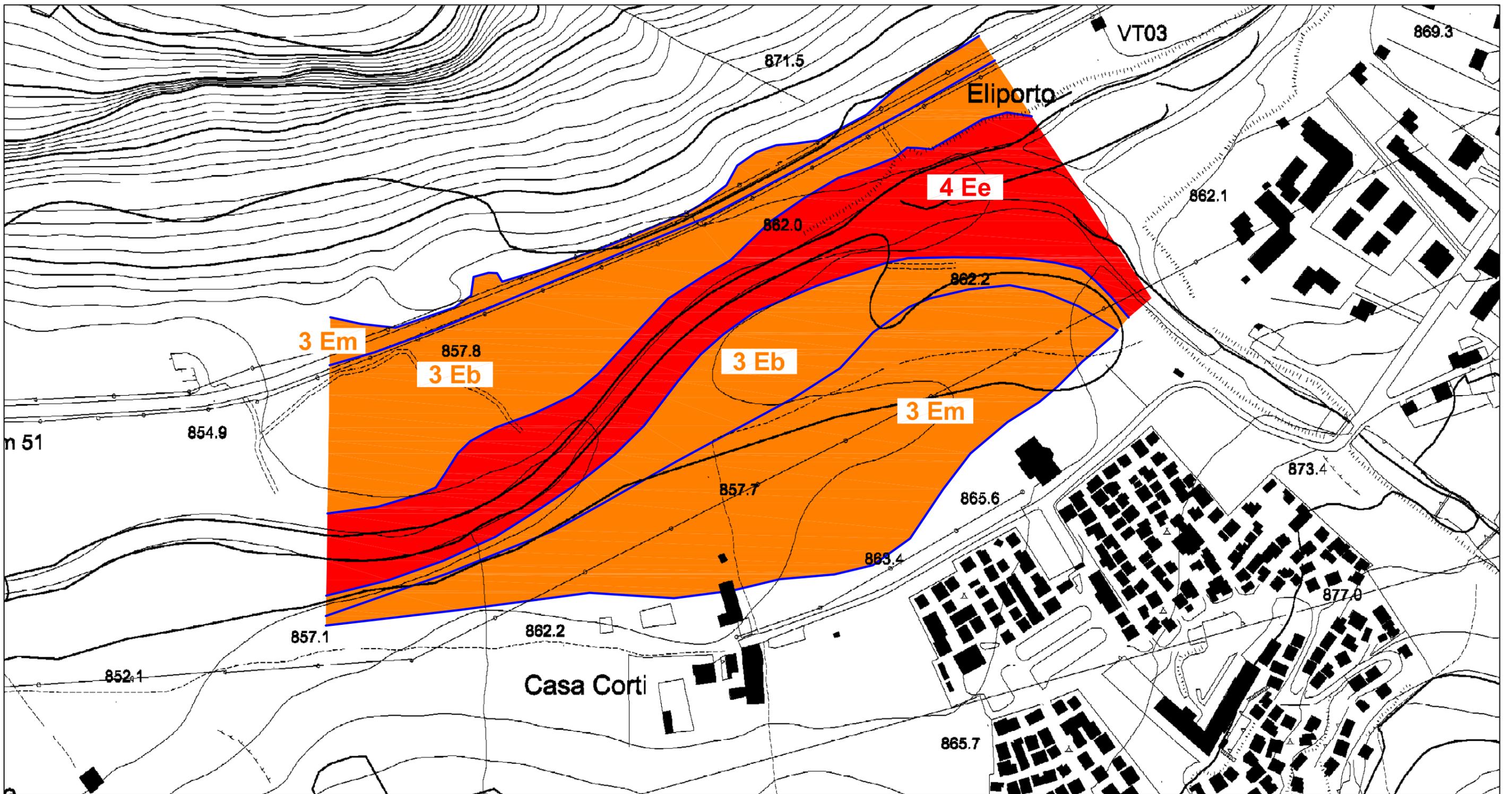


d/S. Ghilardi & C. s.n.c.  
24020 RANICA (Bergamo)  
Via Tezze, 1  
Telefono e Fax: 035 / 340 112  
E-Mail: gea@mediascom.it

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI  
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI  
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057

COMUNE DI:	Valbondlone (Bergamo)	
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale	
TITOLO:	<b>CARTA DEL DISSESTO P.A.I.</b> <i>proposta di modifica</i>	
N. PRATICA: 08_055	SCALA: 1:2000	TAVOLA:
DATA: Agosto 2013	Rev: Prima emissione	<b>2</b>



**LEGENDA**

-  Classe Fattibilità 4 (4 Ee)
-  Classe di Fattibilità 3 (3 Eb)
-  Classe di Fattibilità 3 (3 Em)

NOTA: nella carta sono raffigurate esclusivamente le classi di fattibilità direttamente derivanti dai dissesti P.A.I. verificati nel singolo studio di dettaglio. A queste classi si potrebbero sovrapporre, nella cartografia di fattibilità complessiva, altre classi legate a fenomeni diversi. La definizione definitiva della fattibilità geologica per ciascun ambito deve, pertanto, essere sempre verificata sulla Carta di Fattibilità Geologica del P.G.T.



d/S. Ghilardi & C. s.n.c.  
24020 RANICA (Bergamo)  
Via Tezze, 1  
Telefono e Fax: 035 / 340 112  
E-Mail: [gea@mediascom.it](mailto:gea@mediascom.it)

Dott. Geol. SERGIO GHILARDI  
iscritto all' O.R.G. della Lombardia n° 258

Dott. Ing. FRANCESCO GHILARDI  
iscritto Ord. Ing. Prov. BG n. 3057

COMUNE DI:	Valbondlone (Bergamo)	
COMMITTENTE:	Amministrazione Comunale	
TITOLO:	<b>CARTA DELLA FATTIBILITA'</b> <i>proposta di modifica</i>	
N. PRATICA: 08_055	SCALA: 1:2000	TAVOLA:
DATA: Agosto 2013	Rev: Prima emissione	<b>3</b>