



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO



### INTERVENTI DI RIQUALIFICAZIONE E RINATURAZIONE DEL TRATTO FINALE DELLA ROGGIA CAVOLTO IN COMUNE DI MERONE

Interventi per il miglioramento delle acque e degli habitat nella Valle del Lambro (Lambro vivo) –

LIFE11 ENV/IT/004 – azione B7

### PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

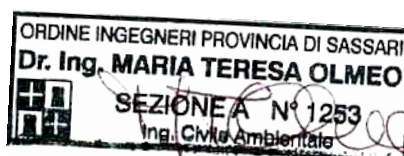
#### RELAZIONE TECNICA



I progettisti

Ing. Stefano Minà

Ing. Maria Teresa Olmeo



Triuggio, Marzo 2015



**fondazione  
cariplo**



## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO .....</b>	<b>4</b>
2.1	INTERVENTO 1 - RINATURAZIONE E MASCHERAMENTO SPONDE ESISTENTI.....	4
2.2	INTERVENTO 2 - FORMAZIONE DI UN RESTRINGIMENTO A MONTE DELLA SOGLIA ESISTENTE "S1" .....	7
2.3	INTERVENTO 3 - PULIZIA E ADEGUAMENTO SENTIERO ESISTENTE .....	7
<b>3.</b>	<b>DIMENSIONAMENTO RAMPE DI RISALITA.....</b>	<b>8</b>
3.1	OBIETTIVI E CRITERI DI PROGETTAZIONE .....	8
3.2	ITTIOFAUNA .....	9
3.3	PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO .....	10
<b>4.</b>	<b>RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA .....</b>	<b>13</b>
4.1	IDROLOGIA.....	13
4.1.1.	Pluviometria.....	14
4.1.2.	Predisposizione del modello numerico in HEC-HMS .....	17
4.1.3.	Simulazioni effettuate e risultati.....	23
4.2	IDRAULICA.....	25
4.2.1.	Modellazione numerica idraulica: codice di calcolo e creazione del modello.....	25
4.2.2.	Condizioni al contorno del modello.....	27
4.2.3.	Risultati .....	30
<b>5.</b>	<b>RELAZIONE GEOLOGICA .....</b>	<b>31</b>
5.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA BRIANZA.....	31
5.2	GEOLOGIA E MORFOLOGIA .....	34
5.2.1.	Geologia dei substrati .....	34
5.2.2.	Natura e forma dei depositi quaternari .....	36
5.2.3.	Elementi geomorfologici principali .....	38
5.3	PEDOLOGIA .....	39
5.4	I CARATTERI DEL SOTTOSUOLO E LA ZONAZIONE GEOLOGICO-TECNICA .....	40

## ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS

ALLEGATO 2 – Profilo idraulico



## **1. PREMESSA**

La presente relazione tecnica è relativa alla progettazione definitiva esecutiva degli interventi previsti lungo la Roggia Cavolto, nel tratto interamente compreso in comune di Merone, tra l'uscita dei laghi di Baggero e l'attraversamento stradale di via Cesare Battisti, finalizzati alla riqualificazione e alla rinaturalizzazione del corso d'acqua, oggi caratterizzato da un'artificializzazione diffusa lungo l'alveo e le sponde.

Nelle pagine che seguono sono riportate nel dettaglio la descrizione delle lavorazioni previste per le opere in progetto, il dimensionamento delle rampe di risalita dei pesci con relative verifiche idrauliche di stabilità, le analisi idrologico-idrauliche elaborate per il tratto in esame ed una relazione geologica della zona d'interesse.



## 2. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Le finalità ricercate nel presente progetto definitivo-esecutivo riguardano:

- la rinaturalizzazione e il mascheramento delle sponde della roggia Cavolto mediante utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica;
- il superamento delle attuali soglie in cls da parte della fauna ittica;
- la pulizia dell'attuale sentiero in destra idraulica, adiacente alla roggia.

Le soluzioni progettuali adottate per raggiungere le predette finalità si possono riassumere in due tipi di interventi:

- **Intervento 1** - rinaturalizzazione e il mascheramento delle sponde in cls esistenti;
- **Intervento 2** – formazione di un restringimento in massi ciclopici a monte della soglia "S1";
- **Intervento 3** - pulizia e adeguamento del sentiero esistente in destra idraulica.

In particolar modo l'**Intervento 1** è stato suddiviso nei seguenti sotto-interventi:

- **Intervento 1.A** - Rinaturazione di sponda con grata viva e palizzata di sostegno per mascheramento muri in cls esistenti, lunghezza di circa 30 m;
- **Intervento 1.B** - Rinaturazione di sponda con grata viva e palizzata di sostegno e rivestimento alveo in massi e/o materiale arido per mascheramento muri in cls esistenti, lunghezza di circa 25 m;
- **Intervento 1.C** - Rinaturazione di sponda con scogliera e rivestimento alveo in massi e/o materiale arido per mascheramento muri in cls esistenti, lunghezza di circa 125 m.

Per la realizzazione di ciascuno degli interventi in progetto, descritti in dettaglio nel seguito, sarà necessario innanzitutto rimuovere e ripulire il letto del corso d'acqua dal materiale arboreo schiantato.

Per ulteriori dettagli dell'intervento, si rimanda alle: Tav. 1 Corografia, Tav. 4.1 Planimetria di progetto, Tav. 4.2 Planimetria di progetto di dettaglio, Tav. 5 Sezioni di progetto, Tav. 6 Profilo longitudinale di progetto e Tav. 7 Particolari costruttivi.

### 2.1 INTERVENTO 1 - RINATURAZIONE E MASCHERAMENTO SPONDE ESISTENTI

Al fine di effettuare interventi di riqualificazione e rinaturazione della roggia sono state usate tecniche di Ingegneria Naturalistica per modificarne l'attuale conformazione, avendo cura di non aggravare, anzi di migliorare, il regime idraulico della stessa. Tali tecniche prevedono l'utilizzo di materiali naturali inerti (come legno, pietrame e terreno) da soli o in combinazione con specie vegetali, quali piante vive (talee), e presentano numerosi vantaggi:



- ecologici. Gli interventi di ingegneria naturalistica presentano una elevata compatibilità ambientale ed una discreta biodiversità, creano habitat paraturali per la fauna (luoghi di alimentazione, riproduzione, rifugio) e consentono un ridotto impatto ambientale nella fase di cantiere;
- economici. I costi di realizzazione sono concorrenziali rispetto alle analoghe opere di ingegneria classica ed i costi per il ripristino ambientale del cantiere sono ridotti;
- funzionali. Le piante svolgono un'elevata funzione antierosiva, riducono la forza battente delle piogge, con le radici trattengono le particelle di terreno impedendo un loro dilavamento e aumentano la resistenza al taglio dei terreni.

In considerazione delle capacità stabilizzanti e protettive che l'impiego di tali materiali può avere in un contesto di copertura spondale, si è deciso di dividere il tratto in oggetto in 3 "sottotratti", differenziati in base alle soluzioni progettuali individuate.

La soluzione (**intervento 1.C**) individuata per il **tratto di monte**, compreso tra la prima e la terza soglia partendo da monte, di lunghezza di circa 125 m, prevede la posa in opera di massi ciclopici utili alla formazione di una protezione spondale a scogliera, adatta a contrastare la spinta erosiva della corrente, tipica del carattere torrentizio che assume il corso d'acqua in questo primo tratto. In questo caso, come anche negli altri, non si prevede lo smantellamento dei muri di sponda: tale soluzione è infatti stata scartata in quanto la loro presenza risulta utile al mantenimento della stabilità delle sponde; ad ogni modo, dato l'imponente scalzamento del terreno al piede dei muri di sponda, verranno realizzati dei rincalzi di fondazione al di sotto del piede attraverso la posa di massi ciclopici.

Il fondo verrà rimodellato e riempito, nella parte sottostante, con materiale arido sovrastato successivamente da massi e pietrame con funzione di corazzamento (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico "C1"), oppure solo con materiale arido (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico "C2"). La presenza di materiale arido dovrà garantire l'impermeabilizzazione del fondo per consentire il mantenimento di pozze d'acqua costanti con battenti accettabili per il transito della fauna ittica. Per impedire che il materiale arido di riempimento venga dilavato dalla corrente, si è previsto di posizionare, lungo questo tratto, tre nuove soglie in massi, ammorsate ed ancorate sul fondo attuale della Roggia (vedi Tavv. 6 e 7 – particolare costruttivo "Z-Z"). Nei tratti tipologici "C1", per consentire il passaggio della specie ittica anche in condizioni di magra, si avrà cura di posizionare i massi in modo tale da formare una gaveta in asse all'alveo.

La soluzione (**intervento 1.A**) individuata per il **tratto di valle**, esteso per circa 30 m a monte dell'attraversamento stradale di via Cesare Battisti, presenta invece caratteristiche simili ai corsi d'acqua di pianura; qui la corrente è lenta e risente maggiormente delle condizioni imposte dai livelli nel Lambro. In questo tratto, a ridosso delle sponde artificiali presenti, verranno infissi dei pali pilota in legno di circa 3,00



– 5,00 m di lunghezza; questi permetteranno il mascheramento dei muri perimetrali esistenti con la conseguente posa in opera di una copertura spondale realizzata in grata viva (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico “A”). La grata viva consiste in una struttura di rivestimento addossata alla sponda ottenuta mediante la posa di tronchi verticali e orizzontali disposti perpendicolarmente tra loro. I tronchi orizzontali sono sovrapposti a quelli verticali e vengono chiodati ad essi in corrispondenza degli incroci. Questa disposizione di tronchi individua delle camere rettangolari all’interno delle quali vengono poste, in corso d’opera, talee di salice; il tutto viene poi ricoperto con inerte terroso. La presenza del tondame consente alla struttura di esercitare una protezione immediata nei confronti della sponda che si consoliderà nel tempo con lo sviluppo delle piante.

Per il **tratto intermedio**, compreso tra i due precedentemente descritti, di lunghezza di circa 25 m, è stata individuata una soluzione mista (**intervento 1.B**) tra quella del tratto di monte (**intervento 1.C**) e quella del tratto di valle (**intervento 1.A**).

In particolare il mascheramento dei muri perimetrali esistenti verrà realizzato, per tutto lo sviluppo del tratto, mediante l’infissione di pali pilota in legno di circa 3,00 – 5,00 m di lunghezza e la conseguente posa in opera di una copertura spondale realizzata in grata viva (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico “B1 e B2”). Il fondo verrà poi rimodellato e riempito, nella parte sottostante, con materiale arido sovrastato successivamente da massi e pietrame con funzione di corazzamento (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico “B1”), oppure solo con materiale arido (vedi Tavv. 5, 6 e 7 – tratto tipologico “B2”). La presenza di materiale arido dovrà garantire l’impermeabilizzazione del fondo per consentire il mantenimento di pozze d’acqua costanti con battenti accettabili per il transito della fauna ittica. Per impedire che il materiale arido di riempimento venga dilavato dalla corrente si è previsto di posizionare, lungo questo tratto, una nuova soglia in massi, ammorsata ed ancorata sul fondo attuale della Roggia (vedi Tavv. 6 e 7 – particolare costruttivo “Z-Z”). Nel tratto tipologico “B1”, al fine poi di consentire il passaggio della specie ittica anche in condizioni di magra, si avrà cura di posizionare i massi in modo da formare una gaveta in asse all’alveo.

Sempre con la finalità di rinaturalizzare l’intera asta della Roggia si è scelto di mascherare le attuali soglie in cls con dei massi ciclopici, di volume non inferiore a 1 m<sup>3</sup>, ancorati sul ciglio delle soglie, avendo cura di lasciare una gaveta in asse all’alveo per garantire anche in condizioni di magra il passaggio della fauna ittica (vedi Tavv. 5 e 7 – particolare costruttivo “Y-Y”).

Infine è prevista, lungo la fascia perifluviale della Roggia, la piantumazione di nuove specie arboree e arbustive con lo scopo di ripristinare e valorizzare la vegetazione ripariale oggi assente o ammalorata. L’area boscata presente lungo la Roggia verrà riqualificata tramite la piantumazione di specie arboree autoctone; in particolare:

- *Alnus glutinosa* (ontano nero) – specie dominante



- Salix alba (salice bianco)
- Ulmus minor (olmo)
- Fraxinus (Frassino).

Si prevede inoltre di migliorare la vegetazione ripariale attraverso la messa a dimora di specie arbustive quali il Corylus avellana (nocciolo), il Cornus sanguinea (sanguinello), il Sambucus (sambuco) il Salix caprea (salicone) e il Salix viminalis (salice viminale).

L'intervento di piantumazione, nel complesso, ha come effetto il recupero della naturalità della fascia perifluviale, che si traduce in un impatto positivo ed un migliore utilizzo da parte della fauna presente, in particolar modo anfibi e piccoli mammiferi. Inoltre, l'ombreggiamento fornito dalla vegetazione spondale, determinerà un effetto positivo anche per la fauna ittica.

L'intervento 1 ha così il duplice obiettivo di rinaturalizzare e mascherare le attuali sponde della roggia Cavolto, mediante utilizzo di tecniche di ingegneria naturalistica, oltre che di garantire il superamento delle attuali soglie in cls da parte della fauna ittica. Il riempimento dell'alveo mediante massi e materiale arido, permette infatti di superare tutti i dislivelli presenti a valle delle tre soglie esistenti.

## 2.2 INTERVENTO 2 - FORMAZIONE DI UN RESTRINGIMENTO A MONTE DELLA SOGLIA ESISTENTE "S1"

La soluzione individuata per il **tratto a monte della prima soglia (soglia "S1")** prevede la posa in opera di massi ciclopici per la formazione di un restringimento parziale della sezione d'alveo. Tale soluzione permetterà l'innalzamento locale del livello dei laghi, con la conseguente riduzione delle portate transitanti a valle lungo la roggia. Tale restringimento, di altezza di circa 1 m, sarà schematizzato nel modello idrologico come una semplice traslazione dell'attuale sezione di uscita dei laghi; per maggiori chiarimenti si rimanda al paragrafo 4.1.2 della presente relazione.

## 2.3 INTERVENTO 3 - PULIZIA E ADEGUAMENTO SENTIERO ESISTENTE

il sentiero che corre adiacente al corso d'acqua lungo la sponda destra della roggia verrà ripulito dalle ramaglie e dai tronchi schiantati per uno sviluppo complessivo di circa 172 m.

Il tracciato, riportato in Figura 1, seguirà il profilo del rilevato arginale esistente; sarà necessario, soprattutto nelle vicinanze del tratto di monte, ripulire e liberare l'area in oggetto dalla presenza di rovi, ramaglie e tronchi caduti che ad oggi impediscono il passaggio.



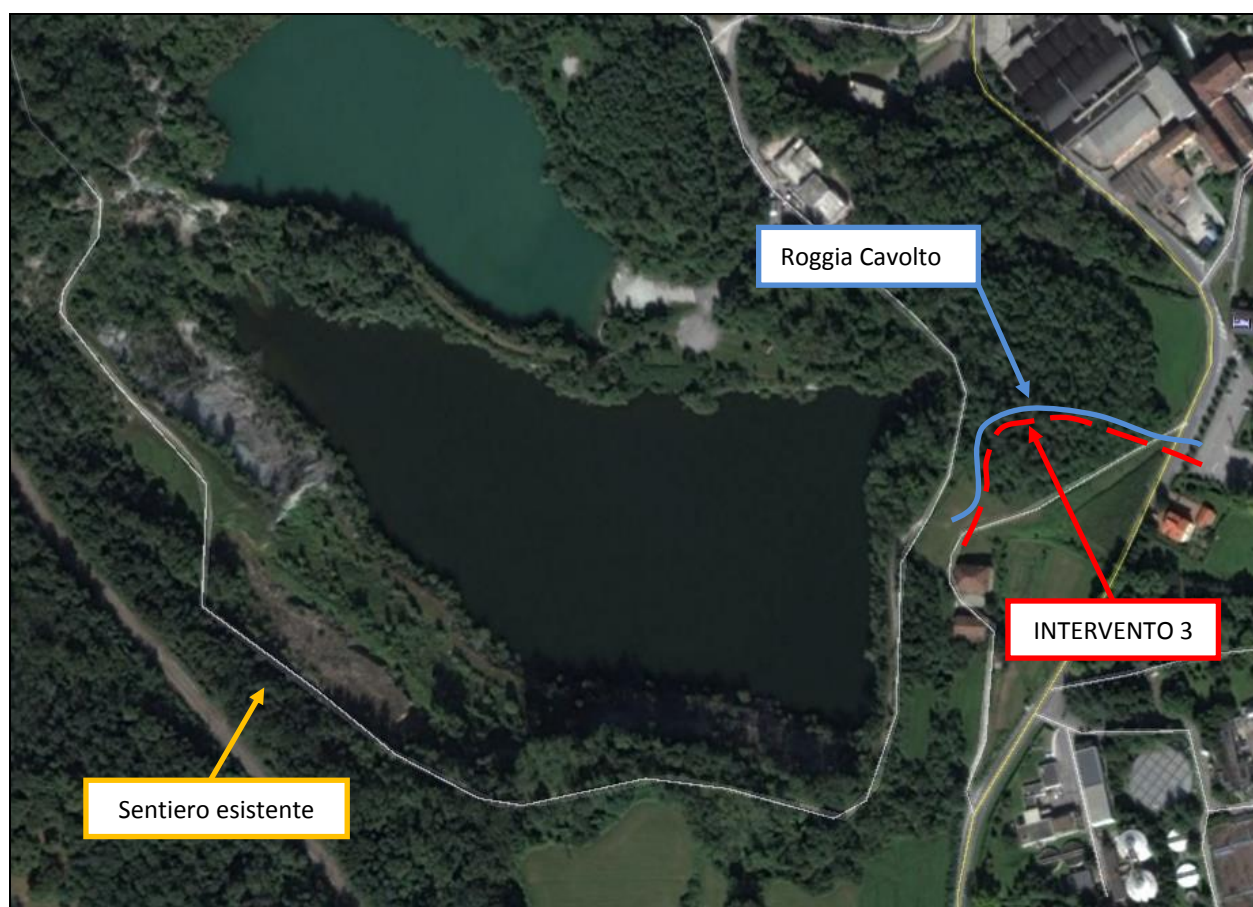


Figura 1 – Tracciato dell'intervento 3

### 3. DIMENSIONAMENTO RAMPE DI RISALITA

L'importanza di ripristinare la percorribilità fluviale deriva dal ruolo determinante che la continuità dei corsi d'acqua riveste nella conservazione del patrimonio ittico. Tale percorribilità permette ai pesci di spostarsi, colonizzare tratti fluviali più ospitali, mantenere il contatto con specie diverse in modo tale da "rinnovare" il proprio patrimonio genetico così da assicurare un processo adattativo.

Attualmente la presenza di tre soglie costituisce un ostacolo invalicabile per l'eventuale risalita della fauna ittica dal Lambro fino ai laghi di Baggero, rendendo così fortemente compromessa la percorribilità fluviale della Roggia.

#### 3.1 OBIETTIVI E CRITERI DI PROGETTAZIONE

Allo scopo di ripristinare la percorribilità fluviale per le specie ittiche presenti in questa zona si è deciso di realizzare tre rampe in pietrame a valle delle tre soglie esistenti. Le rampe in pietrame sono l'esempio più diffuso di passaggio simil-naturali per pesci, in quanto riproducono le rapide o i torrenti esistenti in natura. La funzionalità delle rampe dipende fortemente dalla profondità dell'acqua nella rampa, dalla velocità di corrente e dunque dalla pendenza, oltre che dalla lunghezza della rampa stessa, che deve essere



determinata tenendo conto della capacità di nuoto e di resistenza delle specie ittiche presenti. Ulteriore elemento fondamentale nella progettazione di rampe per la risalita dei pesci risulta essere il profilo della sezione trasversale: questo deve essere più profondo al centro, configurando di fatto un alveo di magra che, mantenendo un opportuno battente idrico, possa assicurare il funzionamento della rampa come passaggio per i pesci anche in periodi idrologici particolarmente sfavorevoli. Nel caso in esame il battente minimo è garantito dal rivestimento del fondo delle rampe con materiale arido impermeabile che favorisce la formazione di pozze d'acqua e limita l'infiltrazione in falda. Tale soluzione, oltre a svolgere l'importante funzione di passaggio biologico, risulta essere ottimale dal punto di vista dell'inserimento paesaggistico grazie all'utilizzo di materiali naturali quali i massi.

### 3.2 ITTIOFAUNA

Per la progettazione di questo tipo di rampe risulta necessario conoscere la composizione specifica della comunità ittica presente, poiché non solo le diverse specie ittiche possono essere più o meno interessate agli spostamenti in dipendenza del proprio ciclo vitale, ma la capacità natatoria e la capacità di salto è diversa e caratteristica delle singole specie. Sulla base di dati sperimentali è stata proposta un'equazione che restituisce la massima velocità (m/s) in relazione alla lunghezza del pesce (Videler, 1993):

$$V_{max}=0,4+7,4 \cdot L \text{ [m/s]}$$

Le specie ittiche censite da alcuni studi sulla roggia Cavolto scendono in maggior parte dai laghi di Baggero con le piene. In Tabella 1 sono riportate le specie autoctone e alloctone ritrovate nei laghi di Baggero e le massime velocità di nuoto ricavate dalla formula di Videler. Si tratta essenzialmente di specie appartenenti alle famiglie dei ciprinidi e dei centrarchidi, caratteristici di acque meso-eutrofiche.

	Lunghezza [cm]	Velocità massima [m/s]
<b><i>Specie autoctone</i></b>		
cavedano	40	3.4
scardola	40	3.4
persico reale	20-60	1.9 - 4.8
tinca	25-60	2.3 - 4.8
alborella	10-12	1.1 - 1.3
<b><i>Specie alloctone</i></b>		
persico trota	40-60	3.4 - 4.8
persico sole	8-15	1 - 1.5
carpa	30-60	2.6 - 4.8
carassio	45	3.7

Tabella 1 – Specie ittiche autoctone e alloctone ritrovate nei laghi di Baggero

### 3.3 PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO

Per garantire quindi la funzionalità della rampa e permettere la risalita delle specie ittiche con capacità natatorie ridotte, la pendenza deve essere contenuta, non superiore a 1:10 – 1:15, equivalenti a pendenze, espresse in percentuale, del 10% e 6,7%.

Per dare uniformità all'intervento di rinaturazione spondale e riprofilatura del fondo alveo, migliorando così l'inserimento paesaggistico di queste opere, si è preferita una soluzione che prevedesse un addolcimento delle massime pendenze ammissibili, attraverso un riempimento del fondo alveo in massi e materiale arido per un tratto di estensione delle rampe, maggiore rispetto a quello necessario (vedi Tav. 6 allegata al presente progetto).

In Tabella 2 sono quindi riportate le pendenze impiegate per la realizzazione delle tre rampe in progetto.

	Lunghezza L [m]	Dislivello $\Delta h$ [m]	pendenza i [%]
Rampa a valle della soglia "S1"	25.0	1.00	4.00%
Rampa a valle della soglia "S2"	11.0	0.57	5.18%
Rampa a valle della soglia "S3"	9.1	0.25	2.75%

Tabella 2 – caratteristiche geometriche delle rampe in progetto

La funzionalità di una rampa non può però prescindere dalla sua resistenza strutturale e dalla sua capacità di resistere alle sollecitazioni. La scelta delle caratteristiche dei massi deve quindi rispondere a determinate esigenze di stabilità nelle condizioni più sfavorevoli.

Ricorrendo alla formula di *Stevens et al.* (1976) di seguito riportata, solitamente impiegata per il dimensionamento di scogliere e massicciate su sponda inclinata e basata sull'analisi delle forze agenti sull'elemento solido in condizioni di equilibrio limite, è possibile verificare la stabilità dei massi scelti nelle condizioni più sfavorevoli:

$$\sigma = \frac{0.30V^2}{(\gamma_s / \gamma - 1)gd_m} \quad (3.1)$$

$$\alpha = tg^{-1} \left( \frac{\cos \lambda}{\frac{2sen \vartheta}{\sigma tg \varphi} + sen \lambda} \right) \quad (3.2)$$

$$\frac{\sigma'}{\sigma} = \frac{1 + sen(\alpha + \lambda)}{2} \quad (3.3)$$

$$C_s = \frac{\cos \vartheta tg \varphi}{\sigma' tg \varphi + sen \vartheta \cos \alpha} \quad (3.4)$$

nelle quali:

$d_m$  = diametro medio del masso [m];

$C_s$  = coefficiente di sicurezza al ribaltamento del masso rispetto al punto di rotazione (rapporto tra il momento della risultante delle forze stabilizzanti ed il momento della risultante delle forze ribaltanti);

$\vartheta$  = pendenza della scarpata;

$\varphi$  = angolo di riposo in acqua dei massi;

$\alpha$  = angolo che la direzione di caduta del masso forma con la linea di massima pendenza della scarpata;

$\lambda$  = angolo diedro tra il piano orizzontale ed il piano inclinato del fondo alveo ( $\tan \lambda = i$  = pendenza del fondo);

$\sigma$  = numero di stabilità del masso su sponda inclinata;

$\sigma'$  = numero di stabilità del masso sul fondo;

$\gamma_s$  = peso specifico del masso [ $N/m^3$ ];

$\gamma$  = peso specifico dell'acqua [ $N/m^3$ ];

$V$  = velocità della corrente agente sul masso [m/s];

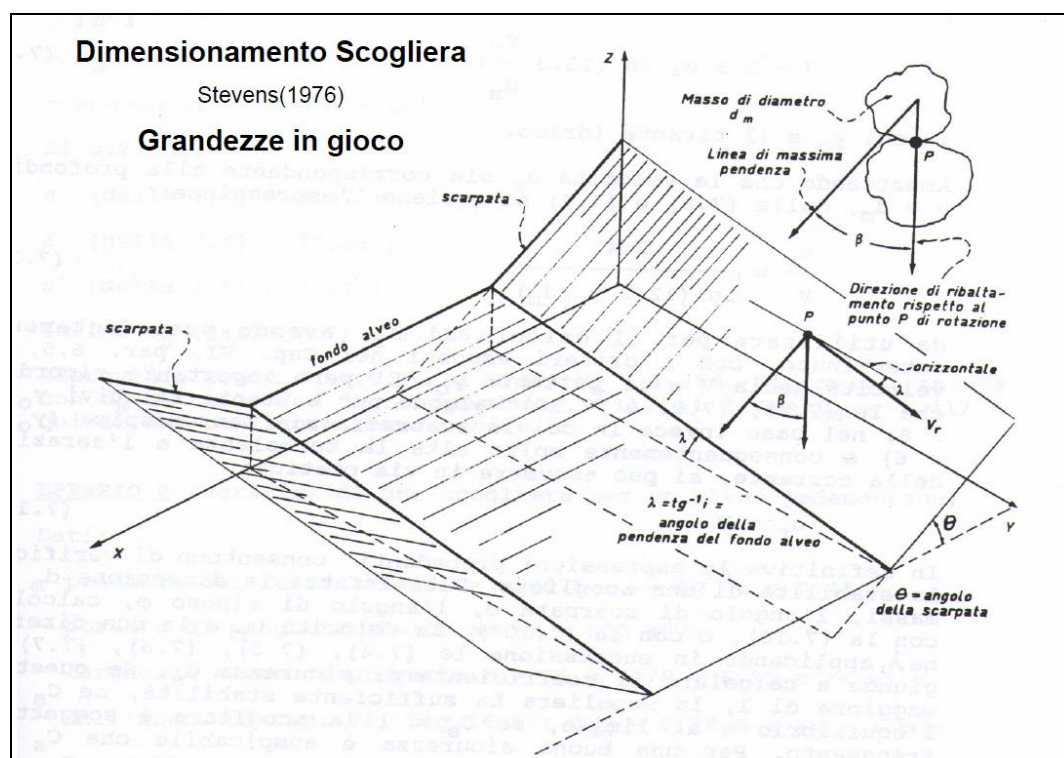


Figura 2 – Grandezze in gioco equazioni di Stevens (1976)



Per una buona sicurezza è auspicabile che  $C_s$  sia almeno pari a 1,3.

Considerando, cautelativamente, la rampa presente a valle della soglia "S2" (caso più sfavorevole data la maggiore pendenza), e riportando di seguito i dati relativi alla sezione di progetto n° 7 (vedi Tav. 5 allegata al presente progetto):

$$i = 0,0518;$$

$$\vartheta = 10^\circ \text{ (a favore di sicurezza, trattandosi di posizionamento di massi sul fondo alveo piano);}$$

$$V = 3,08 \text{ m/s (calcolata al passaggio di una portata duecentennale di } 31,2 \text{ m}^3/\text{s attraverso un'area bagnata di } 10,13 \text{ m}^2\text{);}$$

$$\varphi = 45^\circ;$$

$$\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3;$$

$$\gamma = 10 \text{ kN/m}^3;$$

Applicando in successione le espressioni dalla (1) alla (4) si può vedere come la scelta di massi del valore medio di diametro di 1,15 m (corrispondenti a massi del volume di  $0,8 \text{ m}^3$  e del peso di 2400 Kg/cad) garantiscano sufficiente margine di sicurezza ai fini della sua stabilità poiché il coefficiente di sicurezza  $C_s$  risulta pari a 3,7.



#### 4. RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Come già anticipato nella relazione generale, la Roggia Durini - Cavolto è un corso d'acqua che si origina dai rilievi di Fabbica Durini, lungo lo spartiacque occidentale del bacino del Lambro, e corre in direzione Ovest-Est nella piana tra Lurago d'Erba, Anzano del Parco e Monguzzo fino alla confluenza in Lambro in comune di Merone.

È costituita da due principali rami di alimentazione: il primo viene alla luce proprio ai piedi dell'abitato di Fabbica Durini in comune di Alzate Brianza, il secondo nasce presso l'abitato del Cavognetto in comune di Anzano del Parco. In totale il reticolo costituente il corso d'acqua ha una lunghezza di circa 4400 metri, affronta un dislivello complessivo di circa 67 metri (da 312 a 245 m s.l.m.) con una pendenza media di circa 1,5%.

Nel 1980 la roggia è stata deviata nel suo tratto terminale per riempire i due bacini di cava che oggi costituiscono l'habitat principale dell'Oasi di Baggero. Il Cavolto entra nell'Oasi attraverso una cascata, l'acqua riempie direttamente il bacino di valle e filtra attraverso un setto di terra in quello più a monte che, grazie a questa dinamica, risulta più limpido. Uscendo infine dai laghi, il Cavolto percorre il tratto oggetto di questo progetto fino ad arrivare alla sua confluenza con il Lambro.

Nel seguito del presente capitolo vengono riportati gli studi idrologici-idraulici effettuati allo scopo di indagare il comportamento idraulico del Cavolto lungo il tratto di interesse ed osservare come le opere in progetto lo influenzino.

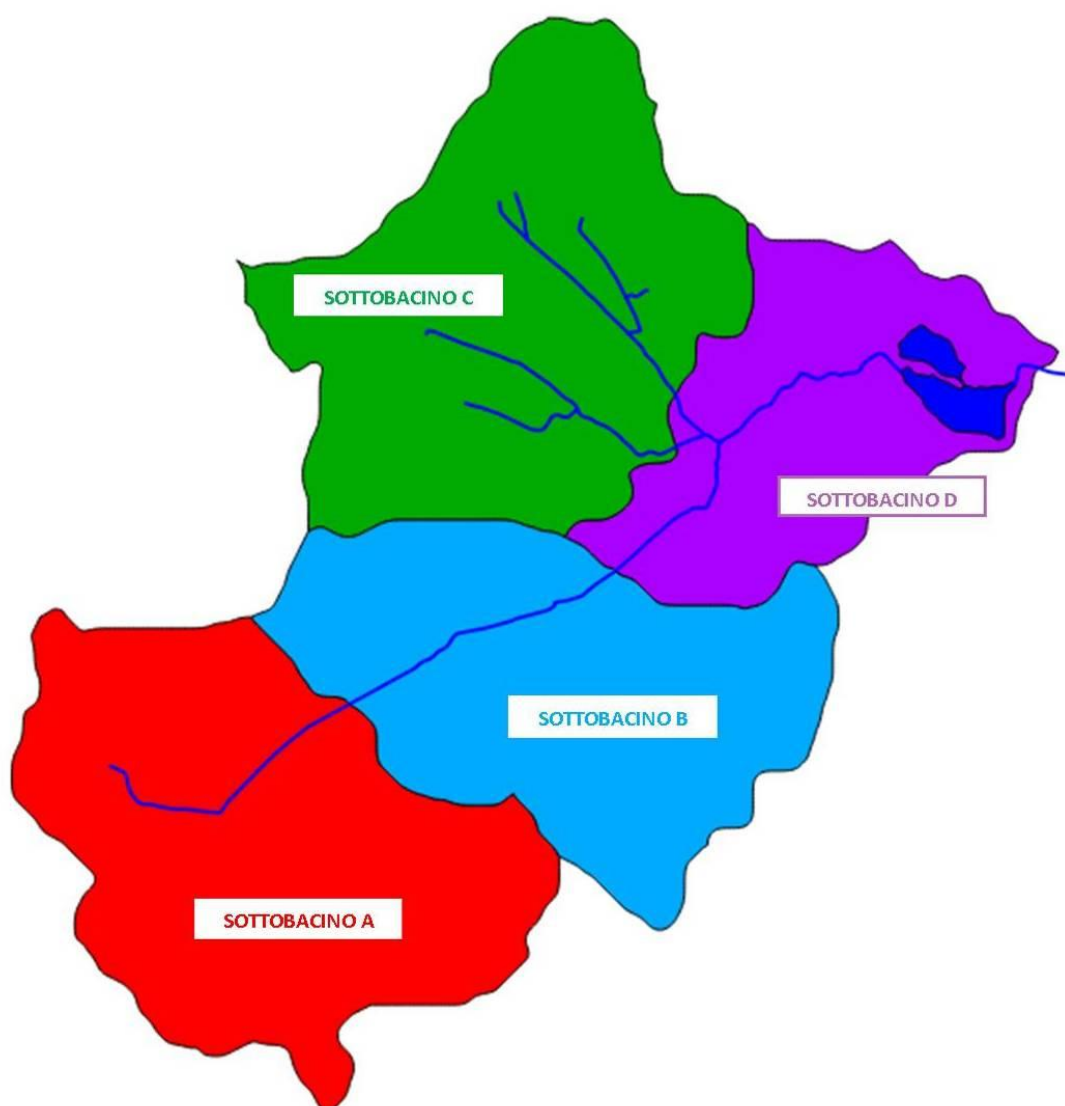
A tale scopo è stato primariamente creato un modello idrologico utile ad individuare valori di portata di piena transitabili sul Cavolto a partire dall'uscita dei laghi di Baggero.

Successivamente si è proceduto alla creazione di un modello idraulico per confrontare più in dettaglio le dinamiche di piena che si determinano nell'attuale assetto morfologico del corso d'acqua e quelle che si verificherebbero successivamente alla realizzazione delle opere in progetto.

##### 4.1 IDROLOGIA

Il bacino imbrifero della roggia Durini-Cavolto è costituito in gran parte da superficie coltivata (77,15% della superficie totale), mentre la restante parte viene ripartita equamente tra superficie urbanizzata (10,18%), nella quale vengono considerate sia le aree residenziali che quelle produttive, e superficie boschiva (10,89%); una piccola percentuale di superficie (1,79%) è adibita a cava, oggi quasi interamente riempita per formare i laghi di Baggero.

Tale bacino può essere ulteriormente suddiviso in quattro sottobacini come raffigurati in Figura 3.



**Figura 3 – Suddivisione in sottobacini del bacino imbrifero del Cavolto**

Come già anticipato, allo scopo di indagare i meccanismi e le dinamiche idrologiche utili ad ottenere un quadro rappresentativo del comportamento idraulico del Cavolto, in particolare nel suo tratto terminale, è stato elaborato un modello idrologico attraverso l'utilizzo del software di calcolo HEC-HMS, fornito dal U.S. Army Corps of Engineers. Tale software, rappresentativo dei meccanismi di formazione della piena conseguente al verificarsi di eventi meteorologici intensi, necessita di una serie di dati in ingresso che verranno dettagliatamente esposti nel seguito di questo capitolo.

#### **4.1.1. Pluviometria**

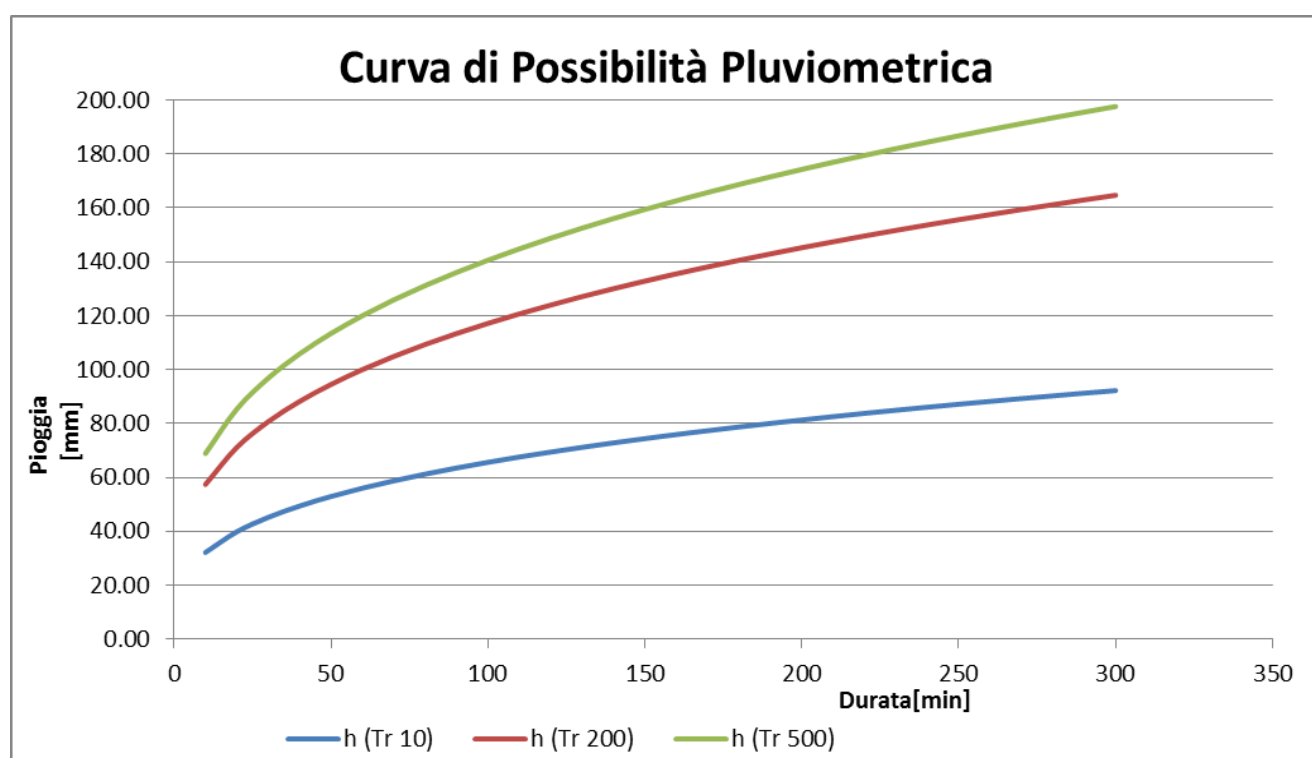
La modellazione afflussi – deflussi richiede input pluviometrici idonei alla previsione di onde di piena di assegnato tempo di ritorno. A tale scopo sono state considerate le curve di possibilità pluviometrica disponibili nello “Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d’acqua naturali e artificiali all’interno dell’ambito idrografico di pianura Lambro – Olona” del 2003 effettuato dall’Autorità di Bacino di



cui si riportano nel seguito i parametri per eventi meteorici compresi nelle 24 ore, utilizzati nella modellazione.

- $n = 0,31$ ;
- $a (Tr=10 \text{ anni}) = 56 \text{ mm/ora}^n$ ;
- $a (Tr=200 \text{ anni}) = 100 \text{ mm/ora}^n$ ;
- $a (Tr=500 \text{ anni}) = 120 \text{ mm/ora}^n$ .

Sulla base di tali informazioni è stato possibile tracciare (Figura 4) le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno:



**Figura 4 – Curve di Possibilità Pluviometrica**

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, è stato qui utilizzato lo ietogramma Chicago, le cui caratteristiche principali sono: andamento temporale non costante dell'intensità di precipitazione (caratterizzato in particolare dalla presenza di un picco d'intensità posto all'interno della durata complessiva dell'evento e che separa due rami, rispettivamente: crescente, prima del picco e decrescente, dopo il picco, aventi andamento esponenziale) e congruità tra le intensità medie dello ietogramma e quelle definite dalla curva di possibilità pluviometrica, per qualsiasi durata parziale attorno al picco, minore o uguale a quella dello ietogramma complessivo. Sulla base quindi delle CPP sopra riportate sono stati calcolati gli ietogrammi per tempi di ritorno decennali e duecentennali. L'istante di

tempo in cui si verifica il picco è  $t_r = k \cdot \Theta$ , dove  $\Theta$  è la durata complessiva dell'evento e  $k$  è stato assunto pari a 0,4.

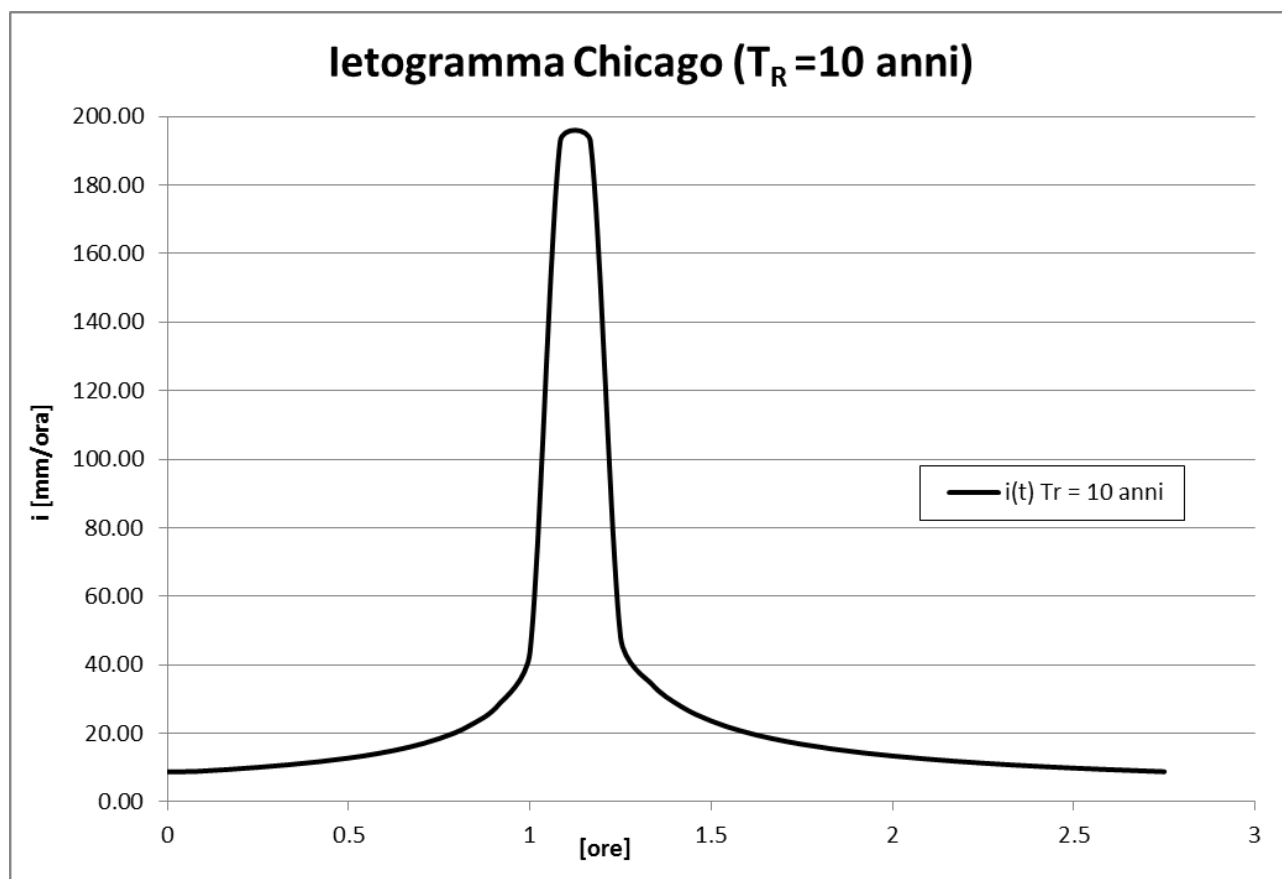


Figura 5 – Ietogramma Chicago relativo ad un tempo di ritorno di 10 anni

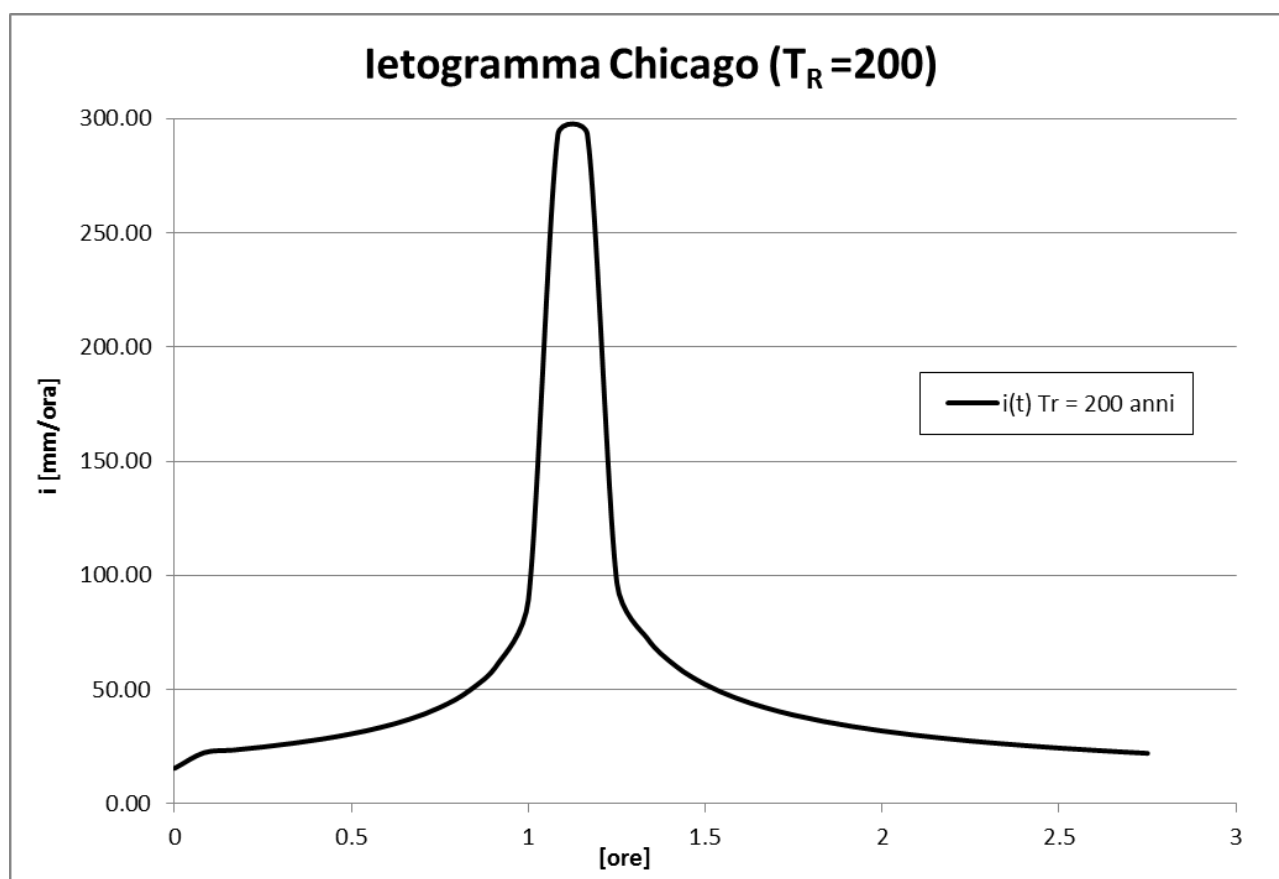


Figura 6 - Ietogramma Chicago relativo ad un tempo di ritorno di 200 anni

La durata complessiva dell'evento di pioggia è stata assunta pari al tempo di corrivazione dell'intero bacino, calcolato secondo la formula di Pasini sotto riportata:

$$T_c = \frac{0,108}{\sqrt{i_m}} (A_b \cdot L_a)^{1/3}$$

$i_m$	0.015	[-]
$A_b$	6.82	[km <sup>2</sup> ]
$L_a$	4.4	[km]
<b><math>T_c</math></b>	<b>2.74</b>	<b>[ore]</b>

Dove

- $i_m$  è la pendenza media dell'asta principale;
- $A_b$  è l'area del bacino espressa in km<sup>2</sup>;
- $L_a$  è la lunghezza dell'asta principale espressa in km.

#### 4.1.2. Predisposizione del modello numerico in HEC-HMS

Il programma di calcolo HEC-HMS permette l'esecuzione di una simulazione idrologica attraverso la specificazione di tre insiemi di dati (componenti idrologici):



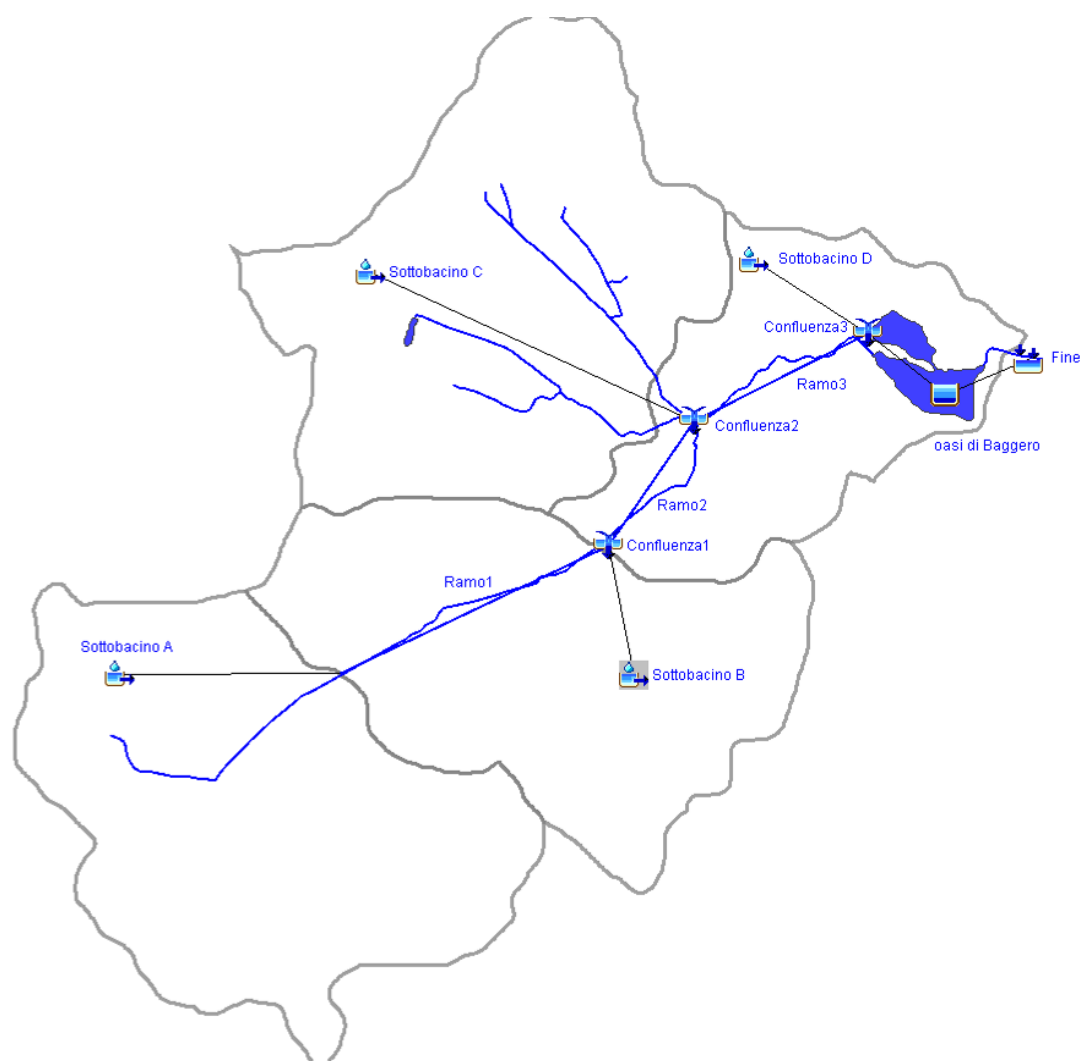
1. Basin Model: rappresentazione fisica delle caratteristiche del bacino idrografico;
2. Meteorologic Model: dati meteorologici relativi alle precipitazioni;
3. Control specifications: informazione temporali necessarie per la simulazione (finestra temporale, intervallo di calcolo, ecc.)

Il componente *Basin Model* permette di specificare:

- *Elementi idrologici*: sottobacini, invasi, confluenze, ecc.
- *Metodi di calcolo delle perdite* di bacino;
- *Metodi di calcolo di trasformazione afflussi-deflussi*;
- *Metodo di calcolo del deflusso a pelo libero* nei corsi d'acqua.

Riassumendo, il bacino del Cavolto è stato schematizzato attraverso l'impiego di 4 sottobacini, 3 confluenze che collegano altrettanti tratti del torrente e un serbatoio per la modellazione del volume di invaso dato dai laghi di Baggero (Figura 7). Come metodo di calcolo per le perdite è stato scelto il metodo SCS-CN, il modello dell'idrogramma unitario di Clark è stato utilizzato per il calcolo della trasformazione afflussi-deflussi e infine, per il calcolo del deflusso nella rete idrografica, è stato impiegato il metodo Muskingum.

- Il *metodo SCS Curve Number* è stato sviluppato dal "Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture". Il deflusso superficiale viene calcolato in base alla differenza tra precipitazioni e perdite, inglobando però in un unico termine di perdita anche fattori diversi dall'infiltrazione come intercettazione vegetale, evapotraspirazione, ecc. I parametri in ingresso, richiesti dal programma, per descrivere le perdite sono due: CN (parametro che dipende da tipo, copertura e tasso di umidità del suolo) e la percentuale di superficie urbanizzata. I valori di CN inseriti nel modello e riportati nella seguente tabella risultano essere comprensivi delle aree urbanizzate, non è stato quindi necessario indicare la percentuale di superficie impermeabile. Essi sono stati ricavati dalla consultazione delle carte pedologiche e di uso del suolo delle aree comprese nel bacino di alimentazione della roggia.



**Figura 7 - Schematizzazione del bacino della Roggia Durini-Cavolto (modello HEC-HMS)**

- Per quanto riguarda invece il *metodo dell'idrogramma unitario di Clark*, esso tiene conto dell'effetto di propagazione e di laminazione a cui è sottoposto il deflusso superficiale quando si sposta attraverso il bacino per arrivare alla sezione di chiusura. E' un modello lineare e integrato. Si basa su due parametri: Time of Concentration  $T_c$ , (espresso in ore) tempo impiegato dalla particella più lontana dalla sezione di chiusura per raggiungere la stessa e Storage Coefficient  $n$ , (sempre espresso in ore, variabile tra 1 e 3 in base all'estensione e alla pendenza media del sottobacino) che tiene conto dell'effetto di immagazzinamento temporaneo del sottobacino, schematizzandolo come un serbatoio lineare. Nella tabella seguente sono riportati i valori dei parametri in ingresso utili alla definizione dei modelli afflussi-deflussi e di perdita idrologica:

	<i>Parametro di definizione del bacino</i>	<i>Parametri modello afflussi-deflussi</i>		<i>Parametri modello perdite idrologiche</i>	
Sottobacino	Area [km <sup>2</sup> ]	T <sub>c</sub> [ore]	n	CN	% imp
A	1.96	1.70	2	72	0
B	1.68	1.77	2	74	0
C	1.97	1.55	2	75	0
D	1.20	0.69	1	72	0

Tabella 3 - Parametri in ingresso per le simulazioni idrologiche dei sottobacini

Ad ogni sottobacino è stata inoltre imposta una **portata di base** pari a **15 l/s** in modo tale da ottenere in tempi di asciutta, alla sezione di chiusura del bacino, una portata transitante pari a 60 l/s, portata che, secondo le osservazioni effettuate lungo il tratto in esame, non avendo a disposizione dati storici di portata, si ipotizza essere la portata di magra transitante lungo il tratto terminale della Roggia.

- Il *metodo di Muskingum*, scelto per la simulazione del deflusso lungo la rete idrografica, si basa sul semplice approccio di conservazione della massa per la propagazione dell'onda lungo il corso d'acqua, in questo modo il programma è in grado di calcolare il deflusso dell'onda nella rete attraverso la definizione di due parametri: K, corrispondente al tempo di traslazione (espresso in ore e calcolato ipotizzando una velocità di propagazione dell'onda di piena di 2 m/s), e X, che tiene in considerazione il fenomeno di attenuazione dell'onda (adimensionale, compreso tra 0 = non attenuazione e 0,5 = massima attenuazione), assunto, a favore di sicurezza, pari a 0. In Tabella 4 sono riportati i parametri in ingresso per il metodo di Muskingum:

Nome tratto	Lunghezza tratto [km]	K [ore]	X
Ramo 1	1.08	<b>0.15</b>	<b>0</b>
Ramo 2	0.66	<b>0.09</b>	<b>0</b>
Ramo 3	0.93	<b>0.13</b>	<b>0</b>

Tabella 4 - Parametri in ingresso nel modello di Muskingum

Infine, per la modellazione dei laghi di Baggero, è stato inserito un bacino di invaso per il quale si è definito:

- una relazione Area – Altezza di invaso: **A(h)**, assunta per semplicità costante pari al valore dell'area complessiva dei laghi = **75.000 m<sup>2</sup>**;
- una legge di uscita della portata dal "serbatoio" in funzione del battente idrico presente **Q(h)**, sia nella configurazione attuale della sezione di uscita dei laghi che nella configurazione di progetto, riportata in Figura 8.



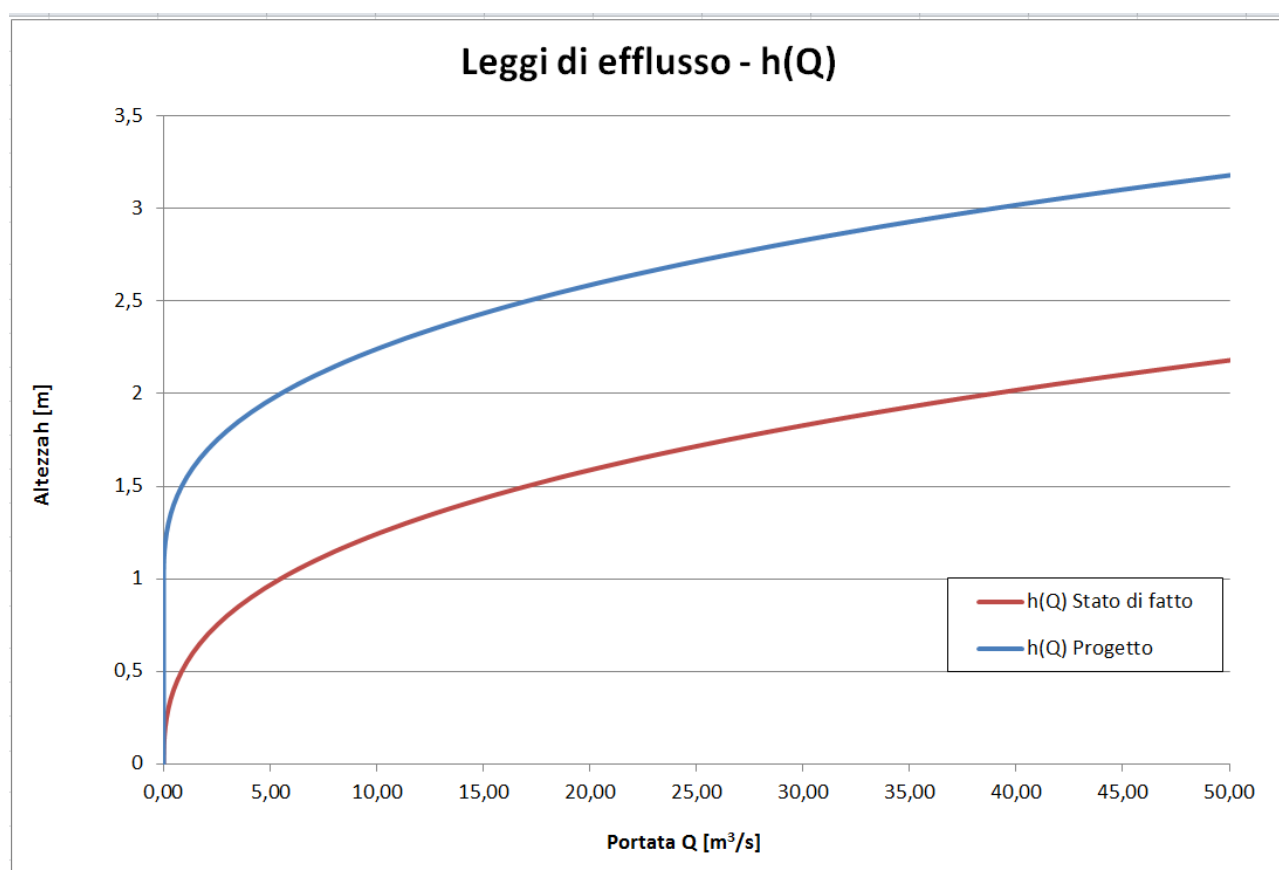
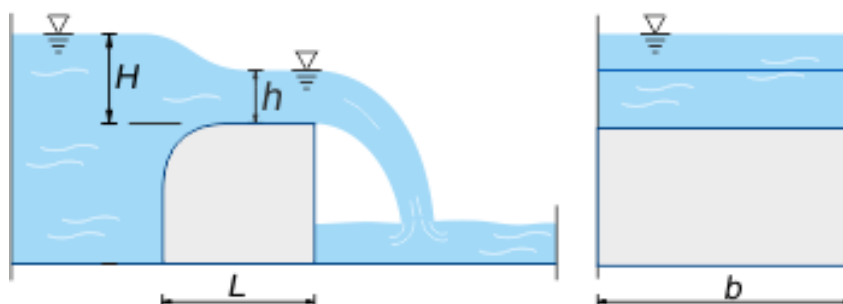


Figura 8 – Legge di efflusso dai laghi di Baggero nella configurazione attuale e in quella di progetto

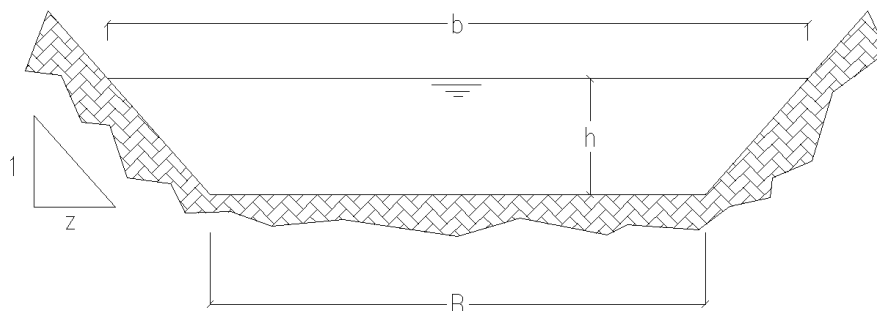
L'ipotesi progettuale prevede la realizzazione di un'ostruzione parziale in massi dell'attuale sezione di deflusso, da posizionare a monte della soglia esistente "S1"; tale manufatto va a modificare la legge di uscita della portata dai laghi permettendo l'invaso temporaneo della portata in arrivo dal bacino di monte.

Nella configurazione attuale il passaggio della portata avviene, in corrispondenza della soglia "S1", a stramazzo, attraverso una sezione trapezia (vedi Tav. 3 del presente progetto, Sezione 1 e Sezione 2). Partendo dalla legge dello stramazzo libero in parete grossa per sezione rettangolare, equazione (4.1), integrando la suddetta in funzione del tirante idrico (che inevitabilmente modifica il valore del parametro  $b$ ), e sulla base della conformazione geometria della soglia (pendenza delle sponde), è stata individuata l'equazione di deflusso nella configurazione attuale, equazione (4.5). Nel seguito vengono riportati i vari passaggi:



$$Q = 0,385 \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot H^{\frac{3}{2}} \quad (4.1)$$

Per sezione trapezia i parametri geometrici in gioco cambiano e si procede per integrazione:



$$Q = \int_0^h 0,385 \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}} dh \quad (4.2)$$

In questo caso  $b$  cambia in funzione di  $h$ :

$$b = B + 2 \cdot z \cdot h \quad (4.3)$$

Dove, secondo l'attuale conformazione della soglia, i parametri assumono i seguenti valori:

$z = 1,43$ ;

$B$  = larghezza della soglia, pari a 6 m;

$h$  = tirante idrico [m];

$g$  = accelerazione di gravità pari  $9,81 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Raggruppando in un unico termine  $K$  il prodotto di:

$$K = 0,385 \cdot \sqrt{2g} \quad (4.4)$$

Si arriva a definire la seguente legge:

$$Q(h) \text{ Stato di Fatto} = K \cdot \left( B \cdot \frac{2}{5} \cdot h^{\frac{5}{2}} + \frac{4}{7} \cdot z \cdot h^{\frac{7}{2}} \right) \quad (4.5)$$

Nella configurazione progettuale la legge di uscita risulta essere la stessa utilizzata per lo Stato di Fatto traslata di 1 m, equazione (4.6): considerando cioè un'altezza di attivazione dello sfioro pari a 1 m sopra il ciglio di sfioro considerato nel caso precedente. L'ostruzione sarà realizzata con una gaveta centrale per il transito della portata di magra, portata che però risulta essere trascurabile rispetto alla portata di piena duecentennale (per altezze d'acqua  $h$  inferiori a 1 m la portata  $Q$  è stata quindi assunta pari a 0). Per questo motivo e per semplificare il più possibile la definizione della legge di uscita si è deciso quindi di trascurare, nell'analisi dell'evento duecentennale, il contributo di portata transitante attraverso la gaveta centrale e



considerare, anche in questo caso, una conformazione geometrica della sezione di tipo trapezio, con le medesime caratteristiche del caso precedentemente analizzato (stessi valori dei parametri  $z$  e  $B$ ).

$$Q(h)_{Progetto} = K \cdot \left[ B \cdot \frac{2}{5} \cdot (h - 1 \text{ m})^{\frac{5}{2}} + \frac{4}{7} \cdot z \cdot (h - 1 \text{ m})^{\frac{7}{2}} \right] \quad (4.6)$$

Infine, come **condizione iniziale**, è stata imposta l'**altezza d'acqua** inizialmente presente nei laghi, definita rispetto al ciglio di sfioro, **pari a 0**: ciò corrisponde ad una condizione iniziale di cautelativo totale riempimento dei laghi, in cui tutta la portata in arrivo da monte, secondo la relativa legge di efflusso, si riversa nel tratto a valle.

#### 4.1.3. Simulazioni effettuate e risultati

In seguito alla definizione di tutti i componenti necessari alla creazione del modello, sono state effettuate quattro simulazioni, ciascuna della durata complessiva di 12 ore:

- Simulazione 1: modello rappresentativo dello stato di fatto con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno  $T_R=10$  anni (denominato SdF10);
- Simulazione 2: modello rappresentativo dell'assetto di progetto con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno  $T_R=10$  anni (denominato Prog10);
- Simulazione 3: modello rappresentativo dello stato di fatto con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno  $T_R=200$  anni (denominato SdF200);
- Simulazione 4: modello rappresentativo dell'assetto di progetto con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno  $T_R=200$  anni (denominato Prog200);

Di seguito sono riportati gli idrogrammi risultanti dalle quattro simulazioni, mentre in Tabella 5 sono riportati valori di picco degli idrogrammi e le massime altezze raggiunte in corrispondenza della sezione di uscita dei laghi (coincidente con l'altezza del tirante idrico rispetto alla quota del ciglio di sfioro definito per lo stato di fatto pari a 246,38 m s.l.m.).

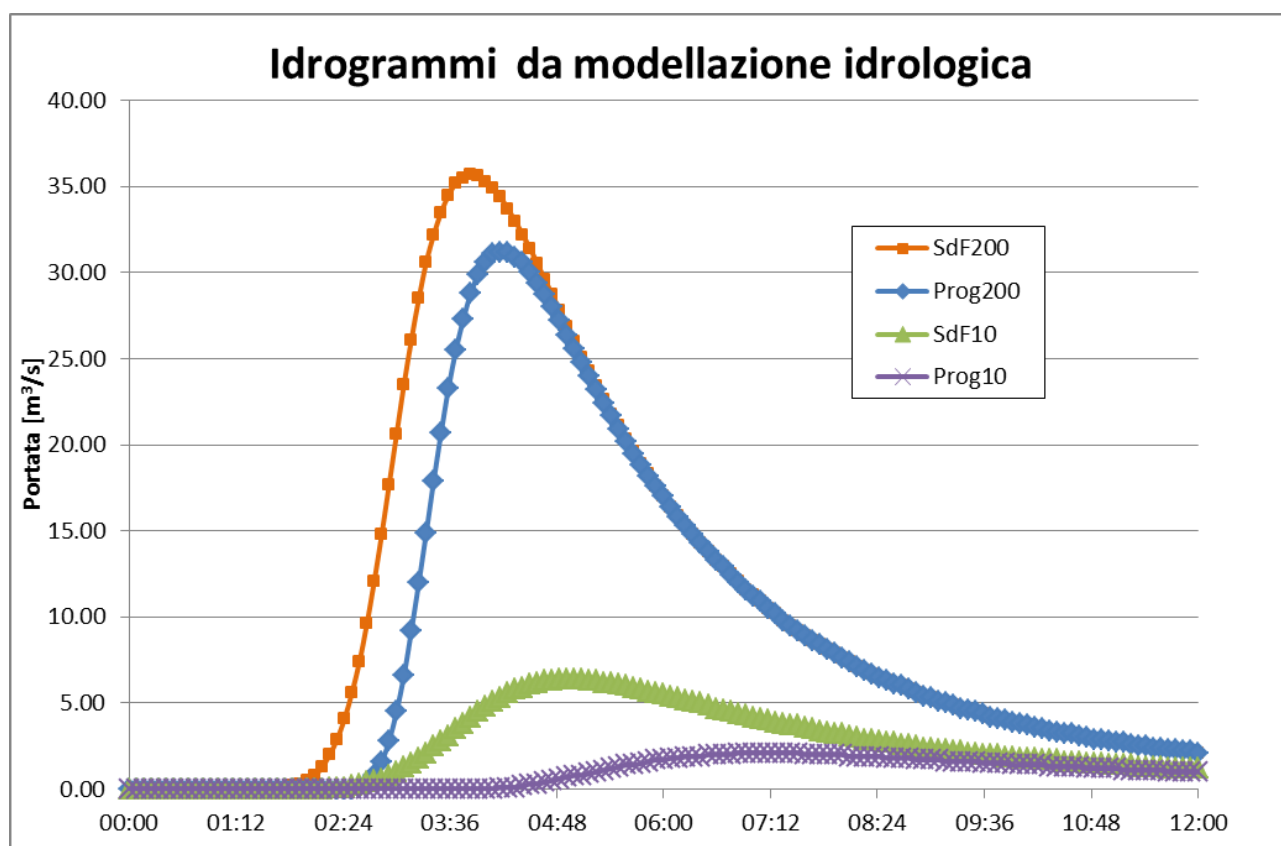


Figura 9 – Idrogrammi risultanti dalle quattro simulazioni

	<i>Picco di portata [<math>m^3/s</math>]</i>	<i>altezza massima raggiunta H [m]</i>
<b>Simulazione 1 (SdF10)</b>	<b>6,40</b>	<b>1.1</b>
<b>Simulazione 2 (Prog10)</b>	<b>2,10</b>	<b>1.7</b>
<b>Simulazione 3 (Sdf200)</b>	<b>35,70</b>	<b>1.9</b>
<b>Simulazione 4 (Prog200)</b>	<b>31,20</b>	<b>2.9</b>

Tabella 5 – Valori di picco degli idrogrammi risultanti dalle quattro simulazioni

Tali valori, come verrà esaurientemente esposto nel seguito di questo capitolo, sono stati successivamente posti come condizioni al contorno di monte delle modellazioni idrauliche. Caso particolare è quello relativo alla modellazione di un evento di piena decennale nella configurazione geometrica di progetto (Simulazione2 Prog10). Se, considerando il passaggio di una piena duecentennale, può considerarsi accettabile trascurare il contributo di portata transitante attraverso la gaveta centrale prevista per il restringimento in progetto a monte della soglia esistente “S1”, tale considerazione non è altrettanto vera considerando il passaggio di una piena decennale. Si è deciso quindi di considerare, cautelativamente, un valore di portata, per la simulazione del modello rappresentativo del Cavolto nella configurazione di progetto con piena decennale, pari a quello che si verifica alla stato di fatto: di  $6,40 m^3/s$ .



## 4.2 IDRAULICA

Come per il modello idrologico, anche per quello idraulico sono state condotte quattro simulazioni idrauliche rappresentative del tratto terminale del Cavolto nella configurazione di stato di fatto e nella configurazione di progetto, considerando il passaggio di piene con tempi di ritorno di 10 e 200 anni. Quindi, conseguentemente alla modellazione idrologica, utile all'individuazione dei valori di portata di piena, è stata inizialmente definita la geometria del modello raffigurante la configurazione morfologica attuale; sulla base di questa sono state poi apportate le modifiche necessarie alla corretta rappresentazione della configurazione di progetto (innalzamenti locali del fondo e variazioni di scabrezza di fondo alveo e sponde lungo le sezioni). Si ricorda, a tal proposito, che le modificazioni alle dinamiche idrauliche del Cavolto dovute all'intervento 2, che prevede la formazione di un restringimento a monte della soglia esistente "S1", (considerata nel modello idrologico andando a modificare la legge di uscita della portata dall'Oasi di Baggero), vengono considerate, nel modello idraulico, attraverso la definizione di diverse condizioni al contorno.

### 4.2.1. Modellazione numerica idraulica: codice di calcolo e creazione del modello

Per la modellazione idraulica del tratto in esame, compreso quindi tra l'uscita dal lago di Baggero e la confluenza a Lambro, è stato utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS 4.1 fornito dal US Army Corps of Engineers. HEC-RAS adotta una schematizzazione monodimensionale (variazioni graduali della sezione dell'alveo, limitata curvatura dei filetti liquidi, distribuzione di velocità pressoché uniforme nelle sezioni trasversali) su alveo assunto a fondo fisso sia per il moto permanente che per quello vario, con l'integrazione di profili di corrente lenta, veloce o di tipo "misto". I fondamenti teorici su cui si basa la modellazione numerica del codice di calcolo HEC-RAS sono riportati in Appendice.

Sulla base del rilievo topografico di dettaglio a disposizione, l'asta del torrente è stata rappresentata attraverso l'adozione di 20 sezioni, ortogonali alla direzione della corrente, comprese tra:

- una sezione di monte (Sezione "1" delle tavole allegate): sezione subito a monte della soglia esistente "S1";
- una sezione di valle (Sezione "15" delle tavole allegate): situata circa 250 metri più a valle, in corrispondenza della sua confluenza a Lambro.

All'interno di ogni sezione è possibile tenere conto di ogni variazione della scabrezza, sulle sponde o lungo l'alveo, attraverso l'utilizzo di diversi coefficienti di Manning. Nella tabella seguente sono riportati i valori

dei coefficienti di Manning  $n$  adottati per le diverse tipologie di superficie su sponde e fondo alveo presenti nello stato di fatto e nella configurazione di progetto:

	Tipo di superficie	$n [s/m^{1/3}]$
<b>Fondo</b>	ciottoli e grandi massi	<b>0.05</b>
	ghiaia, ciottoli e massi radi	<b>0.04</b>
	limo argilloso	<b>0.02</b>
<b>Sponde/ golene</b>	calcestruzzo	<b>0.02</b>
	prato senza cespugli, erba bassa	<b>0.03</b>
	aree con cespugli bassi e alberi	<b>0.06</b>
	grandi massi	<b>0.05</b>
	grata viva	<b>0.035</b>

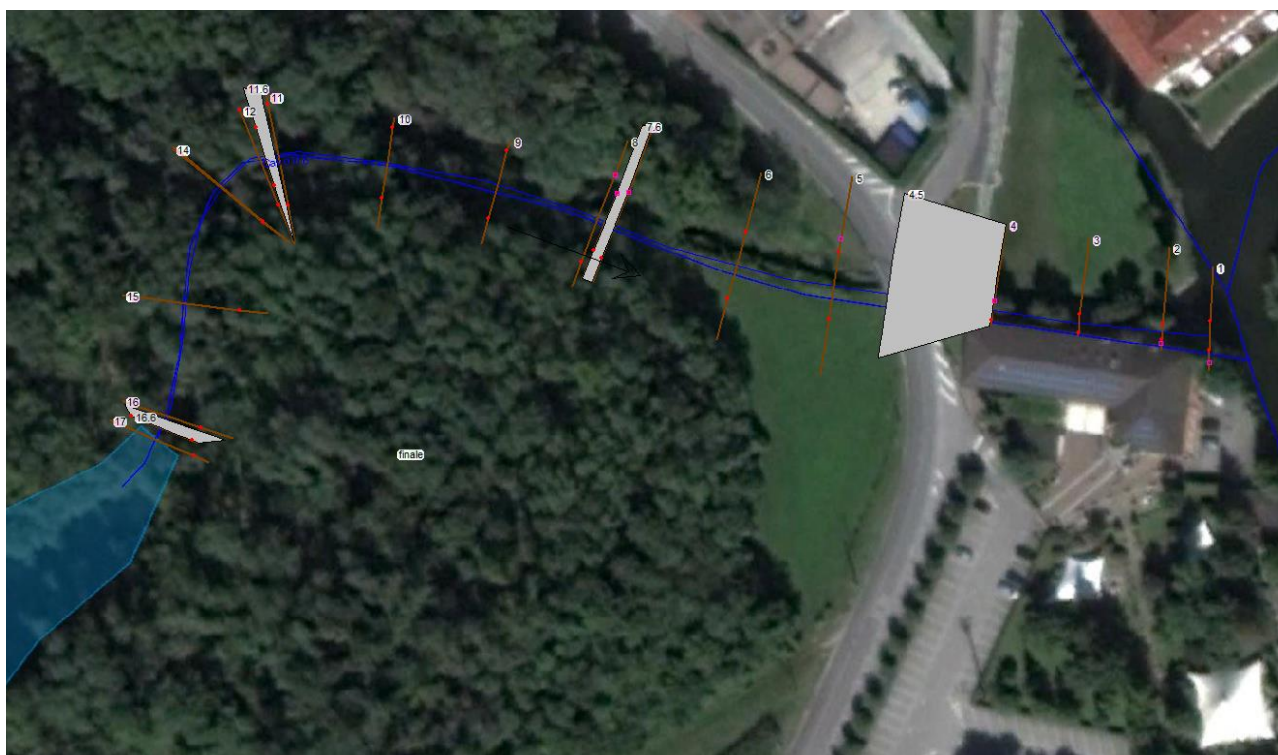
**Tabella 6 – Valori del coefficiente di resistenza di Manning:  $n$**

Dove necessario sono state poi introdotte le *levees*: questa opzione permette di definire, attraverso quota e progressiva, un punto di “argine” destro o sinistro, oltre il quale l’acqua può andare solo nel caso in cui il livello idrico superi tale quota. Questo è necessario poiché diversamente il programma considererebbe l’intera sezione quale alveo potenzialmente e uniformemente allagabile.

Una volta inserite tutte le sezioni si è potuto procedere all’inserimento del manufatto di attraversamento carrabile di via Cesare Battisti. Probabilmente soggetto a modifiche strutturali nell’arco della sua vita utile dovute ad eventuali necessità di allargamenti della carreggiata, il ponte di via Cesare Battisti, nella sua parte di monte, è caratterizzato da un impalcato in calcestruzzo armato semplicemente appoggiato di luce di circa 5 m, mentre nella sua parte di valle è caratterizzato da una struttura ad arco. L’inserimento di un elemento ponte (*Bridge*) nel modello necessita la presenza di due sezioni: una sezione di monte ed una di valle (sezione “12” e “13” delle tavole allegate) utili a determinare il profilo del terreno sul quale poi vengono definiti i vari punti che costituiscono l’intradosso e l’estradosso del manufatto.

Infine, nella definizione della geometria del modello del Cavolto, sono state inserite tre *Inline Structures* per la simulazione idraulica delle tre soglie esistenti. Queste risultano strutturalmente molto semplici: realizzate in cls, di spessore di circa 2 m, si presentano tutte quasi completamente interrato; esse sono schematizzabili attraverso semplici salti di fondo che, in base alle condizioni al contorno imposte, possono provocare il passaggio del profilo idrico attraverso lo stato critico.





**Figura 10 – Modello idraulico del tratto terminale del Cavolto**

#### **4.2.2. Condizioni al contorno del modello**

Nel presente paragrafo si riportano le condizioni al contorno assunte nel modello idraulico sia nella configurazione attuale che in quella progettuale. Per tutte le simulazioni effettuate è stato necessario definire:

- 1) un valore di portata, definita in corrispondenza della sezione di monte, ricavata dalla simulazione idrologica;
- 2) un valore della quota di altezza d'acqua in corrispondenza della sezione di monte del modello, ottenuta sommando alla quota di ciglio della soglia esistente "S1" pari a 246,38 m s.l.m., la massima altezza di riempimento dell'Oasi ricavata dal modello idrologico;
- 3) un valore della quota di altezza d'acqua in corrispondenza della sezione di valle del modello, corrispondente al valore di altezza d'acqua presente nel fiume Lambro per tempi di ritorno di 10 e 200 anni. Tali valori sono stati estrapolati dallo "Studio di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua naturali e artificiali all'interno dell'ambito idrografico di pianura Lambro – Olona" del 2003, effettuato dall'Autorità di Bacino. Si sono presi in particolare i valori di altezza d'acqua ottenuti dalla modellazione idraulica di piena in corrispondenza della sezione LA129.1, situata circa 30 m a valle della confluenza del Cavolto nel Lambro. A causa di una probabile discrepanza tra il sistema di riferimento adottato dallo Studio dell'Autorità di Bacino

e quello adottato nel rilievo topografico di dettaglio del presente progetto definitivo-esecutivo, i valori di altezza d'acqua  $h_{Tr10}$  e  $h_{Tr200}$  del modello AdB (rispettivamente di 243,04 m s.l.m. e 243,94 m s.l.m.), sono stati traslati di 61 cm verso l'alto (risultando pari a 243,65 m s.l.m. e 244,55 m s.l.m.).

Tutte le simulazioni sono state effettuate considerando le condizioni più sfavorevoli:

- esse sono state tutte condotte in moto permanente assumendo, come valore di portata, i valori di picco riportati in Tabella 5;
- imponendo un'altezza d'acqua di valle costante nel tempo, pari alla massima altezza d'acqua verificatasi nel Lambro al passaggio della piena, si è andato a considerare il caso più sfavorevole in cui la piena del Cavolto si verifichi proprio contemporaneamente al passaggio dell'onda di piena nel Lambro;
- la contemporanea presenza, per i due sistemi fluviali (Lambro e Cavolto), di fenomeni di piena con medesimo tempo di ritorno, va in realtà a simulare eventi con tempo di ritorno ben maggiori. Questo perché le caratteristiche idro-morfologiche dei due bacini sono diverse: essendo il bacino del Cavolto di limitate dimensioni, con caratteristiche idrauliche di carattere più torrentizio, i fenomeni che maggiormente ne mettono in crisi il sistema risultano essere di natura temporalesca; viceversa, per il Lambro, i fenomeni capaci di mettere in crisi il suo sistema idrografico, notevolmente più esteso, sono rappresentati da eventi di minore intensità, ma di maggiore durata;
- la "traslazione" dei valori di altezza d'acqua del Lambro, costituenti le condizioni al contorno di valle del modello, rispetto ai valori indicati dallo studio AdB, consiste sicuramente in una scelta cautelativa della modellazione idraulica.

### **Stato di fatto**

In Tabella 7 si riportano i valori delle c.c. imposte nel modello HEC-RAS per le simulazioni rappresentative dello stato di fatto.

		SdF $T_R=10$ anni	SdF $T_R=200$ anni
c.c. di monte	Q [m <sup>3</sup> /s]	<b>6.40</b>	<b>35.70</b>
	h [m s.l.m.]	<b>247.48</b>	<b>248.28</b>
c.c. di valle	h [m s.l.m.]	<b>243.65</b>	<b>244.55</b>

**Tabella 7 – Condizioni al contorno imposte nelle simulazioni di stato di fatto**



Per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza di Manning sono stati assunti valori pari a:

- 0,06 lungo le sponde vegetate;
- 0,02 lungo i muri di sponda in cls;
- 0,05 lungo il fondo alveo del tratto più a monte, poiché caratterizzato dalla presenza di pietrame, ghiaia e grossi massi;
- 0,04 lungo il fondo alveo del tratto vallivo poiché caratterizzato dalla presenza di materiale meno grossolano rispetto al tratto di monte;
- 0,03 lungo le aree erbose, presenti sia sinistra che in destra idrografica poco a monte del ponte di via Cesare Battisti e in sinistra idrografica nel tratto a valle.

### **Assetto di progetto**

Nella configurazione di progetto le sezioni sono state modificate in funzione del nuovo profilo del fondo alveo (Vedi Tav. 6 allegata al presente progetto), andando ovviamente anche a modificare i coefficienti di scabrezza di Manning lungo le aree interessate dagli interventi di rinaturazione del tratto; in particolare sono stati imposti valori pari a:

- 0,05, sia in alveo che sulle sponde, lungo i tratti interessati da interventi di rinaturazione di sponda con scogliera e rivestimento alveo in massi;
- 0,035, sulle sponde, lungo i tratti interessati da interventi di rinaturazione di sponda con grata viva e palizzata di sostegno;
- 0,02, in alveo, lungo i tratti interessati da interventi di rivestimento alveo in materiale arido.

Le soglie, in questa configurazione progettuale, si presentano completamente interrato sia a monte che a valle, andando di fatto ad eliminare quei salti di fondo che rendono impossibile la percorribilità fluviale da parte della fauna ittica.

In Tabella 8 si riportano i valori delle c.c. imposte nel modello HEC-RAS per le simulazioni rappresentative della configurazione di progetto.

			Prog $T_R=10$ anni	Prog $T_R=200$ anni
c.c. di monte	Q	[m <sup>3</sup> /s]	<b>6.40</b>	<b>31.20</b>
	h	[m s.l.m.]	<b>248.08</b>	<b>249.28</b>
c.c. di valle	h	[m s.l.m.]	<b>243.65</b>	<b>244.55</b>

**Tabella 8 – Condizioni al contorno imposte nelle simulazioni di progetto**



#### 4.2.3. Risultati

I risultati delle quattro simulazioni sono riportati nel profilo idraulico (allegato alla presente relazione) e mostrano i livelli idrici verificatisi lungo il tratto in esame.

Dal confronto dei profili relativi al passaggio della portata di piena decennale allo stato di fatto e nella configurazione di progetto, risulta evidente come gli interventi di rinaturazione del tratto abbiano influenze solo locali sul profilo. Il tratto di monte, maggiormente soggetto a puntuali innalzamenti del pelo libero, dovuti principalmente al rinterro dei salti di fondo a valle delle soglie, presenta una conformazione dell'alveo incavata tra sponde di notevole altezza che permette il transito dell'onda di piena decennale in totale sicurezza. Il tratto di valle, invece, risulta influenzato dalla sola condizione imposta alla sua sezione di chiusura; è quindi il Lambro ed il suo rigurgito a determinarne i livelli.

Considerando ora il passaggio della portata di piena di tempo di ritorno di 200 anni è possibile notare come il profilo idraulico nella configurazione progettuale si abbassi rispetto a quello che si verificherebbe nella condizione attuale lungo tutto il tratto a monte dell'attraversamento carrabile di via Cesare Battisti. Il passaggio di una piena duecentennale risulta essere, ad ogni modo, un evento straordinario che, sia nelle condizioni attuali che in quelle di progetto, metterebbe in crisi il sistema; si verificherebbero infatti allagamenti diffusi lungo tutto il tratto di valle: a partire dal tratto a monte della soglia esistente "S3" (tra la sezione "8" e la sezione "9"), prima solo in sinistra idraulica, poi (tra la sezione "10" e la sezione "12") anche in destra, i livelli idrici supererebbero le quote dei cigli di sponda, il ponte di via Cesare Battisti vedrebbe il passaggio della portata di piena in pressione sotto il suo impalcato, allagando successivamente anche l'area di valle. Lungo il tratto terminale, infine, risulta essere sempre la condizione al contorno imposta dal livello nel Lambro a determinarne il profilo.

Ricordando gli obiettivi prettamente naturalistici posti alla base di questo progetto risulta quindi evidente come gli interventi previsti, guardati in un quadro di indagine prettamente idraulico, non vadano ad alterare in modo significativo le condizioni attuali del corso d'acqua, lasciando pressoché inalterata la sua dinamica fluviale.



## 5. RELAZIONE GEOLOGICA

*Il presente capitolo è stato redatto per sintesi dello studio geologico – idrogeologico – sismico elaborato da REA (Ricerche Ecologiche Applicate) a supporto del PGT di Merone.*

Il territorio brianzolo è compreso, dal punto di vista geografico, tra le Prealpi meridionali a Nord, il fiume Adda ad Est e grosso modo il corso del fiume Seveso ad Ovest. Il suo limite inferiore giace a circa 150 m sul livello del mare all'altezza di Monza mentre quello superiore supera di poco gli 800 m con il monte Crocione e il San Genesio sopra Colle Brianza. I principali elementi geografici di questo territorio sono i quattro laghi rispettivamente di Annone, di Pusiano, di Alserio e di Montorfano, l'asse vallivo del fiume Lambro con le piccole valli laterali di alcuni suoi affluenti di sinistra e i due rilievi principali di Montevecchia e del S. Genesio oltre alle modeste colline glaciali che sfumano via via verso la pianura monzese. I centri abitati più importanti sono Monza, Cantù ed Erba ed essi racchiudono una delle aree più popolate e industrializzate d'Italia e forse d'Europa.

### 5.1 INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA BRIANZA

Fino a 250 milioni di anni fa (quindi nel Permiano) l'area corrispondente alla zona brianzola era emersa, come oggi, ma con un clima molto caldo ed umido. Con il Triassico (tra i 250 e i 200 milioni di anni fa) tutta l'area delle Alpi meridionali fu invasa dal mare. Si formarono così scogliere e piattaforme carbonatiche tra loro separate da piccoli bacini marini. Le rocce Triassiche delle Prealpi lombarde costituenti gruppi montuosi (come le Grigne, l'Arera, la Presolana, il Resegone e l'Aben) si sono formate in gran parte in zone tropicali e in ambienti di questo tipo: sono quindi piattaforme carbonatiche e scogliere coralline fossili.

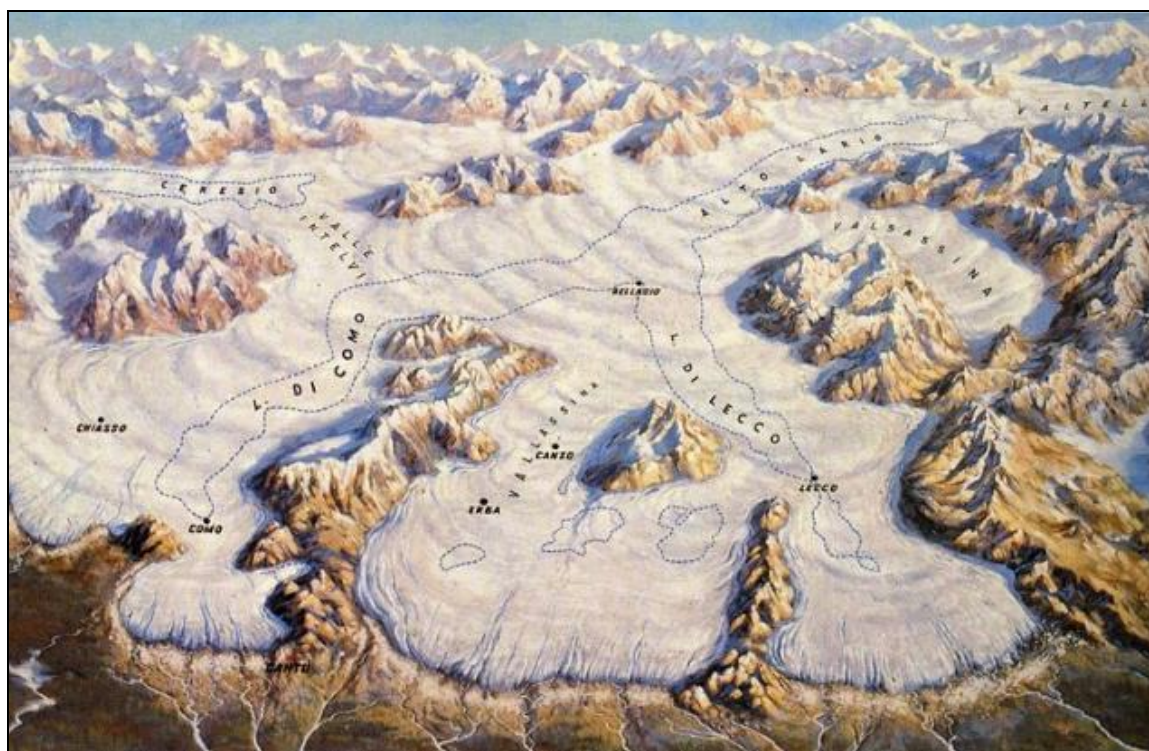
Con l'inizio del Giurassico (circa 150 milioni di anni fa) si ebbe un drastico cambiamento, sia in termini fisiografici sia climatici, pertanto sedimentologici, in connessione con l'apertura dell'Oceano Atlantico che portò alla separazione tra Europa e Americhe e con l'allargamento del mar della Tetide posizionato tra Africa ed Eurasia.

Nel Cretaceo Superiore-Terziario (da 95 a 1,8 milioni di anni fa) sia il tipo di sedimentazione sia il contesto tettonico (cioè l'assetto strutturale a grande scala) mutarono nuovamente a causa dell'avvicinamento dell'Africa all'Europa, con movimenti compressivi che portarono alla nascita delle Alpi e degli Appennini. Così, mentre a nord si ebbe la formazione embrionale dell'arco alpino, l'area corrispondente alla Brianza e alla pianura padana si delineò come fossa che sprofondò per migliaia di metri e venne colmata dai prodotti di erosione delle terre circostanti appena emerse. È specialmente verso i 35 milioni di anni fa e poi nel Miocene superiore (tra gli 11 e i 5 milioni di anni fa) che l'area delle Alpi Meridionali lombarde e quelle limitrofe furono massicciamente coinvolte nel corrugamento.



Alla fine del Miocene nel Mediterraneo si giunse a una situazione idrologica chiusa (interruzione delle comunicazioni con l'Atlantico) a cui seguì un forte abbassamento del livello marino. Nel Pliocene (meno di 5 milioni di anni fa), una volta ristabilitesi condizioni normali del livello marino, il mare padano fu riempito da sedimenti detritici tipo sabbie, argille, conglomerati provenienti da terre emerse in erosione.

Con il Quaternario ( da 1,8 milioni di anni fa ad oggi ) continuò la deposizione di sedimenti in mare e il Golfo Padano venne completamente colmato lasciando il posto alle terre emerse. Nel Quaternario, a causa di forti ciclici deterioramenti climatici a scala mondiale, dai rilievi alpini scesero grandiose lingue glaciali.



**Figura 11: Rappresentazione grafica delle lingue glaciali del lago di Como, che nella parte meridionale hanno coinvolto e modellato anche la Brianza (Giorgio Acherman, Gruppo Naturalistico della Brianza)**

Vi furono ripetute avanzate e ritiri dei ghiacciai e oggi nel territorio brianzolo si possono osservare le tracce di tre importanti glaciazioni:

- fase glaciale Mindelliana (da 800.000 a 500.000 anni fa) ;
- fase glaciale Rissiana (da 500.000 a 127.000 anni fa);
- fase glaciale Wurmiana ( da 75.000 a 10.000 anni fa).

Testimonianze di queste invasioni glaciali sono i caratteristici depositi e i numerosi cordoni morenici a morfologia collinare sparsi per tutta la Brianza.





Nessun lobo glaciale arrivò però fino al luogo su cui sorge Monza; il lobo che più si approssimò fu quello che depose alla sua fronte quel cordone morenico i cui resti sono ancora ben evidenti a Camparada di Lesmo (attribuibile alla glaciazione Mindelliana), cioè a una distanza di circa 3,5 km dai punti più settentrionali del comune di Monza.

Contemporaneamente e successivamente a ciascuna delle grandi invasioni glaciali, corsi d'acqua che scendevano impetuosi dalle Alpi e dalle Prealpi depositarono le loro ghiaie e sabbie. Si formò in tal modo un materasso di sedimenti alluvionali che costituisce la parte più superficiale della pianura della bassa Brianza.

Gli unici territori a non essere interessati dal glacialismo furono la parte alta della collina di Montevecchia e il rilievo del San Genesio sopra l'abitato di Colle Brianza costituiti da rocce dure e preesistenti all'arrivo dei ghiacciai.

Gli anfiteatri morenici della Brianza. I depositi più antichi riconoscibili, attribuiti tradizionalmente alla glaciazione "Mindel", sono anche quelli più vicini a Monza: il lobo glaciale che più si è avvicinato all'area monzese è quello che ha deposto la cerchia morenica di Camparada. Contemporaneamente alle espansioni glaciali i sedimenti portati dai numerosi corsi d'acqua costruivano le pianure fluvioglaciali.

Oltre ai depositi glaciali superficiali e quindi ai depositi incoerenti o sciolti, in Brianza si rinvenivano anche alcune formazioni rocciose. In particolare abbiamo:

la formazione del "Ceppo" o conglomerato della valle del Lambro;

le formazioni arenacee e marnose rientranti nel gruppo della Gonfolite.

le formazioni marnoso-argillose e carbonatiche, tipo la Scaglia Lombarda e la Maiolica.

Il Ceppo del Lambro è un classico conglomerato costituito da clasti prevalentemente di origine sedimentaria a cui si associano graniti e gneiss e che ne costituiscono l'ossatura, e da matrice che fa da legante tra i vari elementi litoidi.

Questa formazione affiora lungo tutto il corso del fiume Lambro ed in particolare a Realdino nei pressi di Carate Brianza, dove ha dato luogo alle grotte omonime.

Le formazioni arenacee, invece, non sono altro che il prodotto della cementazione e della litificazione delle sabbie marine e dal punto di vista geologico sono quindi la prova che una volta la Brianza era occupata da un braccio del mare Adriatico; questa roccia indica infatti un ambiente sedimentario dato da un bacino marino abbastanza profondo (dai 500 ai 1000 m di profondità).

Oltre al Ceppo ed alle formazioni arenacee bisogna ricordare anche la Scaglia Lombarda. Quest'ultima è una tipica roccia sedimentaria marnoso-carbonatica e cioè costituita da argille e carbonato di calcio e la sua formazione deve essere avvenuta in ambiente di mare aperto abbastanza profondo. In Brianza essa affiora intorno al lago di Pusiano, sulla collina di Montevecchia e lungo la superstrada Milano-Lecco e viene spesso utilizzata per la produzione di cemento.

## 5.2 GEOLOGIA E MORFOLOGIA

### 5.2.1. Geologia dei substrati

Di seguito è rappresentata la distribuzione degli affioramenti come risulta dai rilievi CARG. Ad ogni affioramento è stata attribuita una formazione geologica sulla base soprattutto dei rilievi AGIP e delle interpretazioni di campagna, confermate peraltro, dalla comunicazione diretta dei rilevatori CARG.

Gli affioramenti di Scaglia, in facies calcareo marnosa, ma con strati talvolta più decisamente marnosi o leggermente siltitici giallastri, grigia, biancastra o decisamente rossastra (Cavolto), sono visibili tipicamente ed ampiamente esposti alle cave di Baggero, attorno ai laghi di Cavolto, in giaciture ondulate e anche molto inclinate e contorte con fenomeni di collasso gravitativo di grossi pacchi rocciosi.

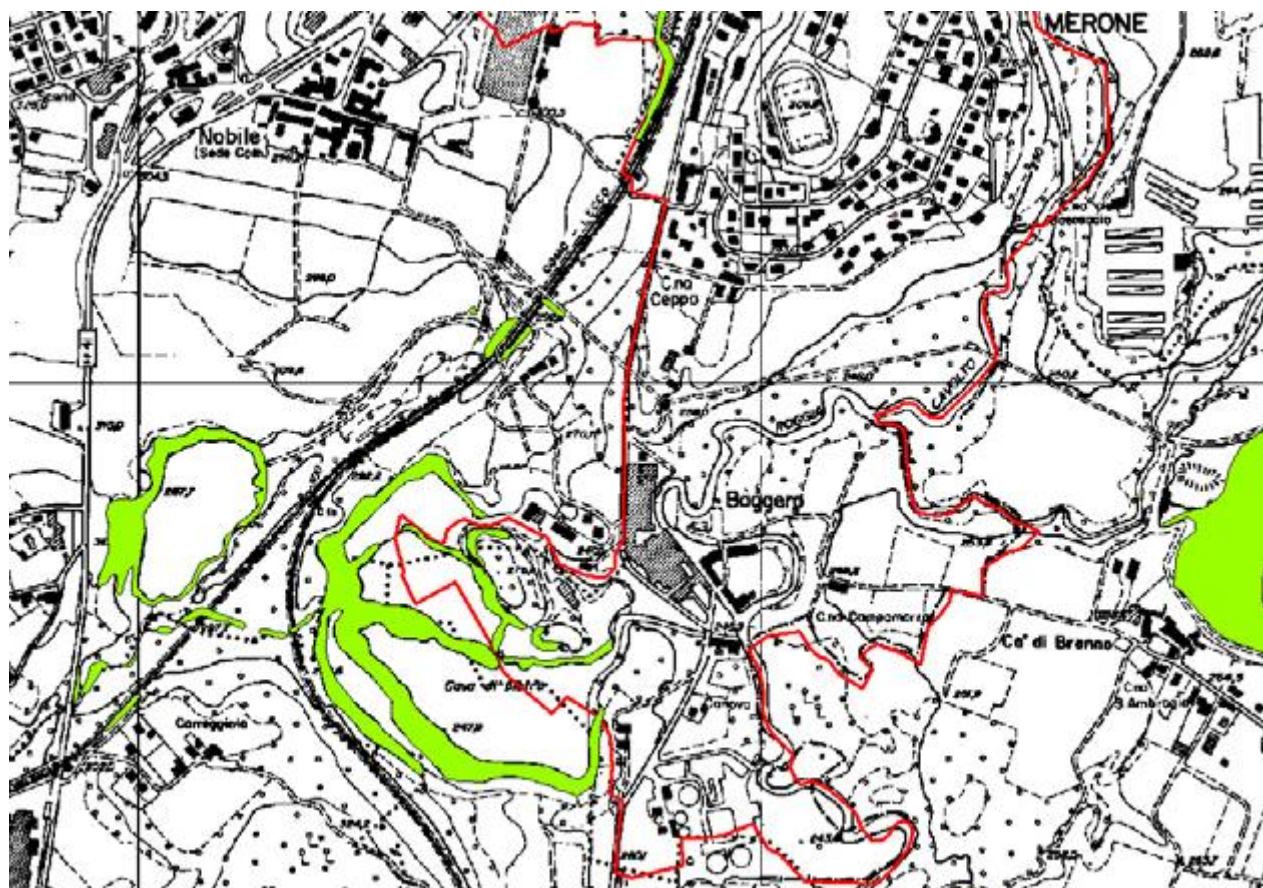


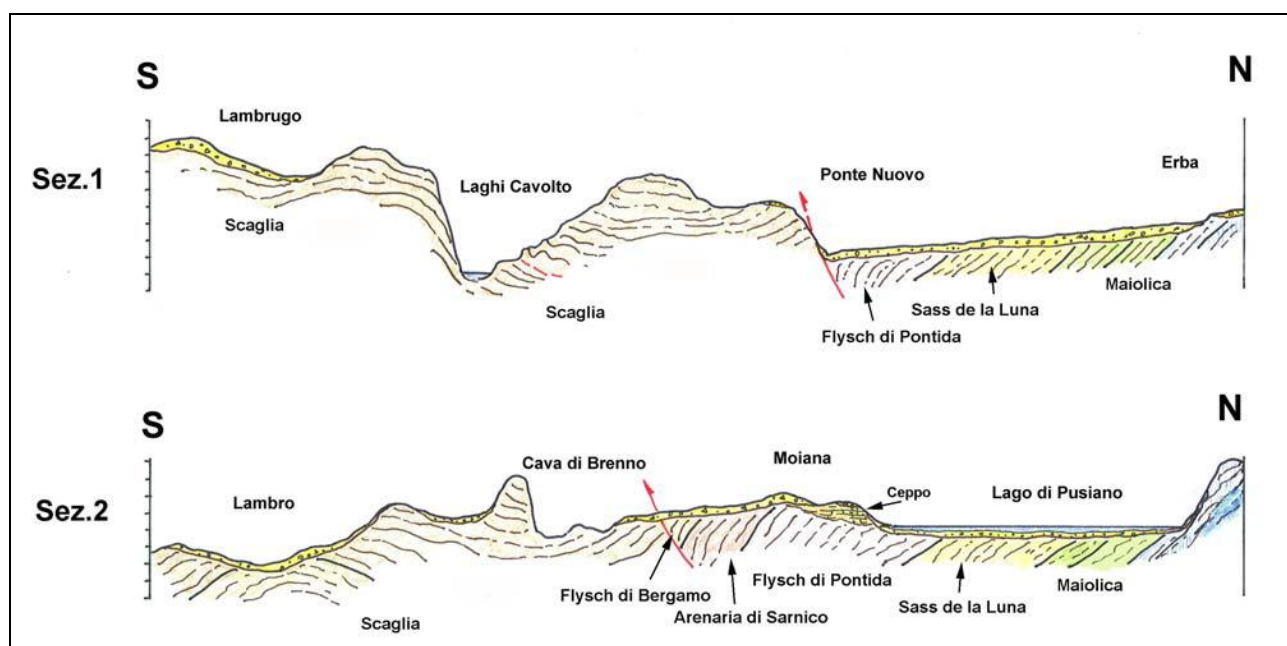
Figura 12 - Affioramenti litoidi secondo CARG – (verde: Scaglia, rosso: Fm. Pontida)

Gli altri affioramenti rinvenibili si trovano subito a fianco della sede ferroviaria lungo la scarpata incisa del colle del cementificio a sud della stazione ferroviaria e in Valle del Lambro a monte e a valle del ponte de "Il Maglio", lungo la scarpata di valle su una altezza di diversi metri e per una lunghezza di circa 350 m. A fianco della scarpata, la roccia è ben visibile sul fondo del fiume, per un tratto che va dalla traversa del Maglio a dove la valle si allarga leggermente. Gli strati sono molto inclinati, diretti E-O o ENE-OSO, quasi perpendicolari al flusso della corrente, così da dare origine a evidenti ondulazioni del flusso idrico e a rapide

che, con portate consistenti, producono un effetto spettacolare e insolito per il Lambro. Altri piccoli affioramenti di calcare marnoso sono in realtà rinvenibili lungo il fiume, alla base del versante sinistro, dove la scarpata principale della valle si avvicina al corso d'acqua ed è leggermente incisa da questo, più o meno all'altezza di C.na Boscaccio.

Potrebbero essere attribuiti ancora alla Scaglia oppure potrebbe trattarsi di Flysch di Bergamo, qui rappresentato da strati marnoso-siltosi o leggermente sabbiosi. Ad est del Lambro, dunque, come si vede nelle carte precedenti, i limitati affioramenti rocciosi dovrebbero essere preferibilmente attribuiti al Flysch di Bergamo, come sopra descritto, stratigraficamente sottoposto alla Scaglia e riferibile al Cretaceo Superiore (Campaniano-Santoniano). La sua alterazione è più accentuata che nel caso della Scaglia e il suo aspetto più giallastro. Secondo i rilievi del CARG si tratta di una facies peculiare del Flysch di Bergamo collocata in posizione sommitale rispetto alla formazione, "tanto da rappresentare una sorta di unità di transizione al soprastante Piano di Brenno (o Formazione di Brenno in Tremolada et. Al., 2008 – Riv.It.Pal. Strat.) che a sua volta rappresenta l'unità basale della "Scaglia Lombarda" Auct." (comunicazione diretta D.Sciunnach, Regione Lombardia).

Le sezioni riportate di seguito, adattate da rilievi inediti AGIP, possono dare una idea della struttura geologica del substrato roccioso, sostanzialmente rappresentata da una monoclinale immersa a sud, con una superficie di discontinuità che mette in contatto unità cretacee della serie con gli ampi affioramenti di Scaglia cretaceo-eocenica più recente. La Scaglia di Cavoito, Brenno e delle aree più a sud presenta comunque giaciture molto più varie, ondulate, piegate e disturbate. Una prima struttura sinclinale compare all'altezza di Brenno della Torre e una ad anticlinale evidente più a sud, all'altezza di Tabiago.



**Figura 13 - Sezioni geologiche N-S**



### 5.2.2. Natura e forma dei depositi quaternari

La natura dei materiali quaternari che rappresentano le coperture detritiche dell'area sono ascrivibili in generale ad una genesi di ambiente glaciale, fluvioglaciale ed eventualmente glaciolacustre nelle aree intracollinari. Nelle aree piane si riconoscono invece sedimenti di genesi alluvionale e propriamente lacustre.

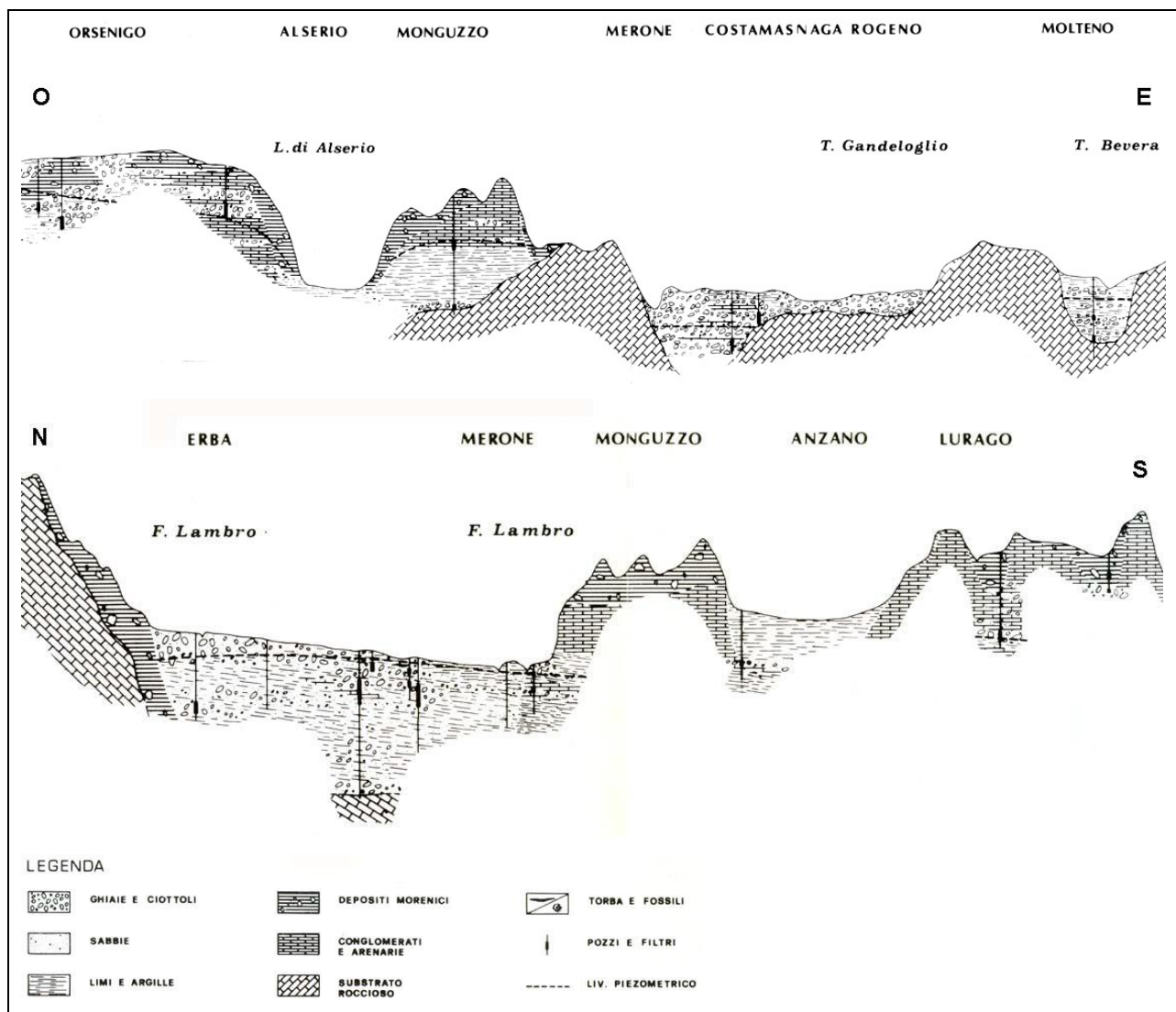
I materiali glaciali più tipici sono rappresentati da depositi molto eterogenei, piuttosto limosi con trovanti di dimensioni significative ( $>1/2 \text{ m}^3$ ), non sempre associati a forme di deposito caratteristiche o ben conservate.

Nell'area di Baggero, dove la piana valliva si amplia notevolmente, si dispone di alcune informazioni sul sottosuolo ricavate da sondaggi e prove geotecniche. Da esse si deduce che i materiali alluvionali sono fini per qualche metro e poi, oltre 5-7 m più grossolani, mentre la falda idrica è molto prossima alla superficie. Di deposizione alluvionale è anche il grande delta-conoide di deiezione di Erba che vede la sua parte distale prolungarsi verso sud fin quasi al percorso della Roggia Gallarana. I materiali del conoide sono decisamente più grossolani di quelli circostanti, sostanzialmente ghiaioso-sabbiosi, di potenza pari a circa 40 m inizialmente, poi sempre più sottili al margine sud, anch'essi caratterizzabili nel sottosuolo grazie ad alcune prove esplorative. Infine, una gran parte del territorio comunale è costituito da sedimenti lacustri o fluvio-lacustri, corrispondenti alle aree piane prelacuali a nord dell'abitato e a Ponte Nuovo.

A Merone sono segnalati depositi sabbiosi, limo-argillosi e torbosi sia, più estesamente, nell'area tra i laghi di Alserio e Pusiano, sia nella piana di Baggero e aree più a sud. I materiali della Valle della Bevera, nella figura associati a quelli della piana, sono invece rappresentati da granulometrie più grossolane. Questi sedimenti sono dunque prevalentemente argilloso-limosi o limo-sabbiosi, talvolta varvati, legati a sedimentazione in bacini lacustri sin e post-glaciali, di cui oggi rimane memoria nei laghi briantei di Alserio e Pusiano-Annone. In queste zone pianeggianti l'acqua è comunque abbondante, sia perché in connessione con quella dei laghi e proveniente dal Piano d'Erba e dai suoi fontanili, sia per il drenaggio operato a spese dei colli circostanti e l'accumulo in bacini in grado di sostenere falde idriche locali. La falda freatica è infatti sempre prossima al piano campagna, sia nella zona dei laghi a nord dell'abitato, sia nella piana di Baggero (1-2 metri di soggiacenza). Naturalmente si tratta di una falda locale, dovuta, come detto alla scarsa permeabilità dei depositi fluvio-lacustri, soggetta facilmente ad alterazione e non in grado di fornire portate idriche utili. Questo fatto, unito alla presenza, nelle parti collinari del Comune, di coperture detritiche non particolarmente potenti e substrati anch'essi poco permeabili, rende il territorio di Merone poco ricco di acque dolci sotterranee che, infatti, vengono reperite con pozzi esterni al confine comunale e ubicati sostanzialmente nell'area a monte di Pontenuovo e nel conoide di Erba, quest'ultimo, invece, molto ricco d'acqua e molto produttivo.



Questa situazione appare abbastanza evidente dalla analisi delle due sezioni idrogeologiche riprodotte di seguito e che tagliano il territorio comunale da nord a sud, all'altezza di Pontenuovo, e da est ad ovest, poco a monte della frazione di Baggero.



**Figura 14 - Sezioni idrogeologiche E-O e N-S**

Le sezioni (da G.P.Beretta, E.Denti, V.Francani, P.Sala, 1984) attraversano e rappresentano prevalentemente i terreni quaternari ed evidenziano, senza differenziarne la natura, la presenza del substrato litoide prequaternario a profondità molto variabili e talvolta affiorante. Nella prima sezione è evidente il grande delta-conoide di Erba, costituito da sabbie e ghiaie, con alcuni pozzi anche nella zona di Ponte Nuovo, dove peraltro lo spessore dei sedimenti grossolani si riduce di molto. A Monguzzo, invece, alle sabbie e limi di facies Villafranchiana (cd "argille sotto il Ceppo") e al conglomerato del Ceppo, seguono i depositi glaciali sommitali. Nella sezione E-O, ad est di Monguzzo emerge il substrato (Scaglia Lombarda ai laghi di Cavolto) e le piane alluvionali terrazzate del Lambro e della Bevera con pozzi idrici ubicati sul territorio di Costamasnaga. Come già ricordato l'acqua di falda è molto prossima alla superficie a Ponte



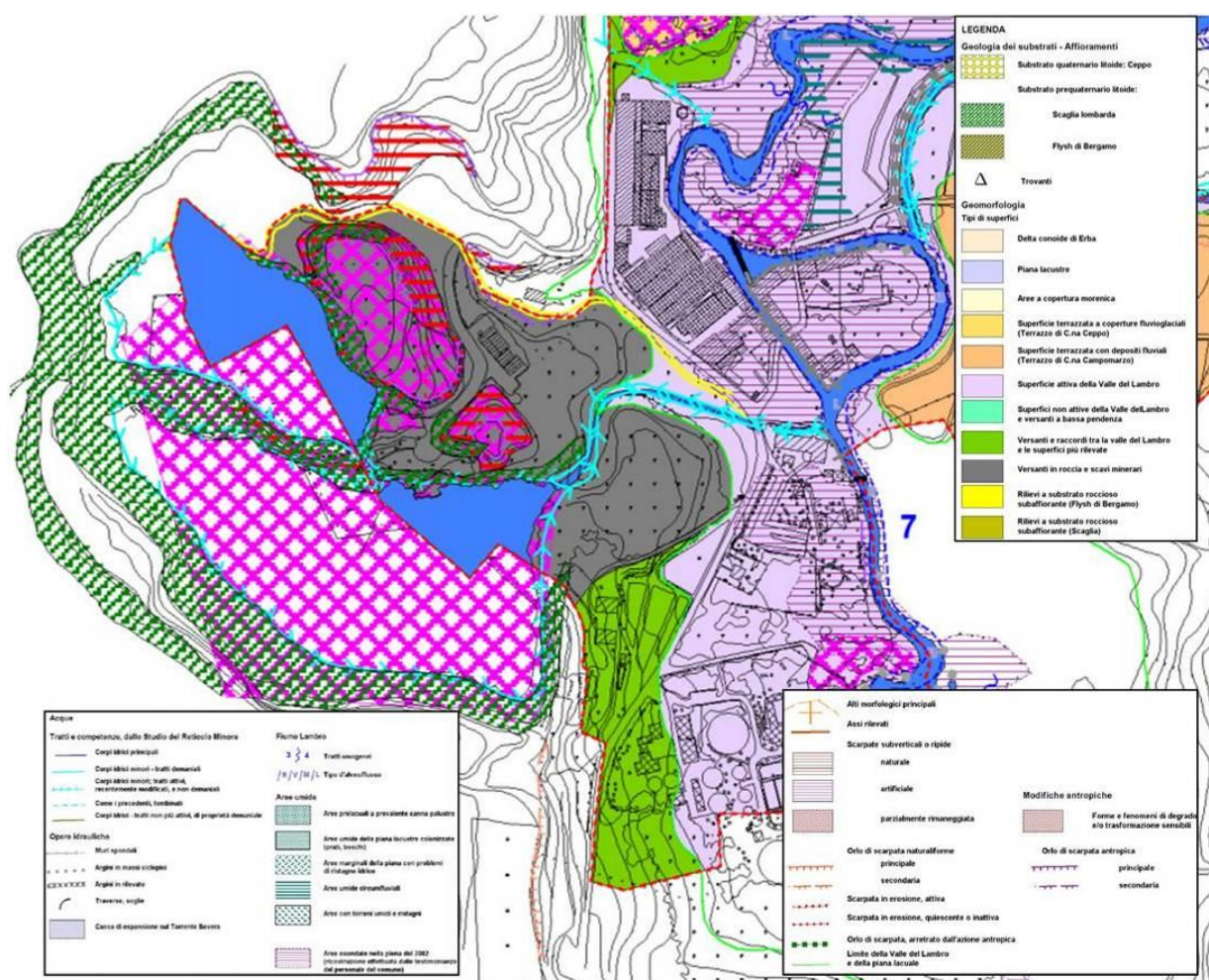
Nuovo, ma anche a sud di Baggero, dove invece apparirebbe, nella sezione, ad oltre 10-15 metri di profondità. In questa complessa situazione idrogeologica, dove le aree produttive sono limitate agli alvei sepolti dei fiumi e/o ai depositi sciolti, alluvionali e glaciali, superficiali, lo studio dell'andamento spaziale della falda è complesso e circoscritto a poche aree. Nel caso in oggetto, l'assenza di pozzi attualmente misurabili, collocati nel territorio di Merone, rende impossibile una aggiornata ricostruzione della superficie piezometrica. Del resto, anche in precedenti studi, compreso lo studio geologico 2001 per il PRG, non è stato possibile effettuare misure e valutazioni arealmente significative.

### **5.2.3. Elementi geomorfologici principali**

Gli aspetti geomorfologici di maggiore rilevanza ed evidenza sono connessi con la conservazione dei bacini lacustri a nord dell'abitato e con le peculiari e varie caratteristiche della Valle del Lambro. Altrove, i fenomeni sono meno marcati e caratteristici (area est), oppure decisamente obliterati e alterati da un pesante intervento antropico.

Il rilevamento degli aspetti geomorfologici, come delle unità di paesaggio, è stato condotto tramite fotointerpretazione stereoscopica delle immagini colore scala 1:5000 circa – 2005, messe a disposizione del Comune di Merone, integrate dall'analisi di diverse altre immagini aeree, in genere di minor dettaglio (TEM1 Lombardia 1980, Lombardia b/n 1994, volo GAI 1954) e da carte storiche (serie storica Tavolette IGMI, tavoletta Brenna 1846,...).

Nella Tav. 1 allegata allo Studio del PGT di Merone sono rappresentati, con opportuna simbologia riportata, forme, fenomeni e processi geomorfologici riconosciuti, compresi aspetti di dinamica idrologica, come più oltre descritti, e elementi più propriamente geologici (tipi di rocce affioranti e subaffioranti). Viene riportata di seguito la situazione particolare per l'area di interesse.



**Figura 15 - Elementi geomorfologici principali nell'area di interesse**

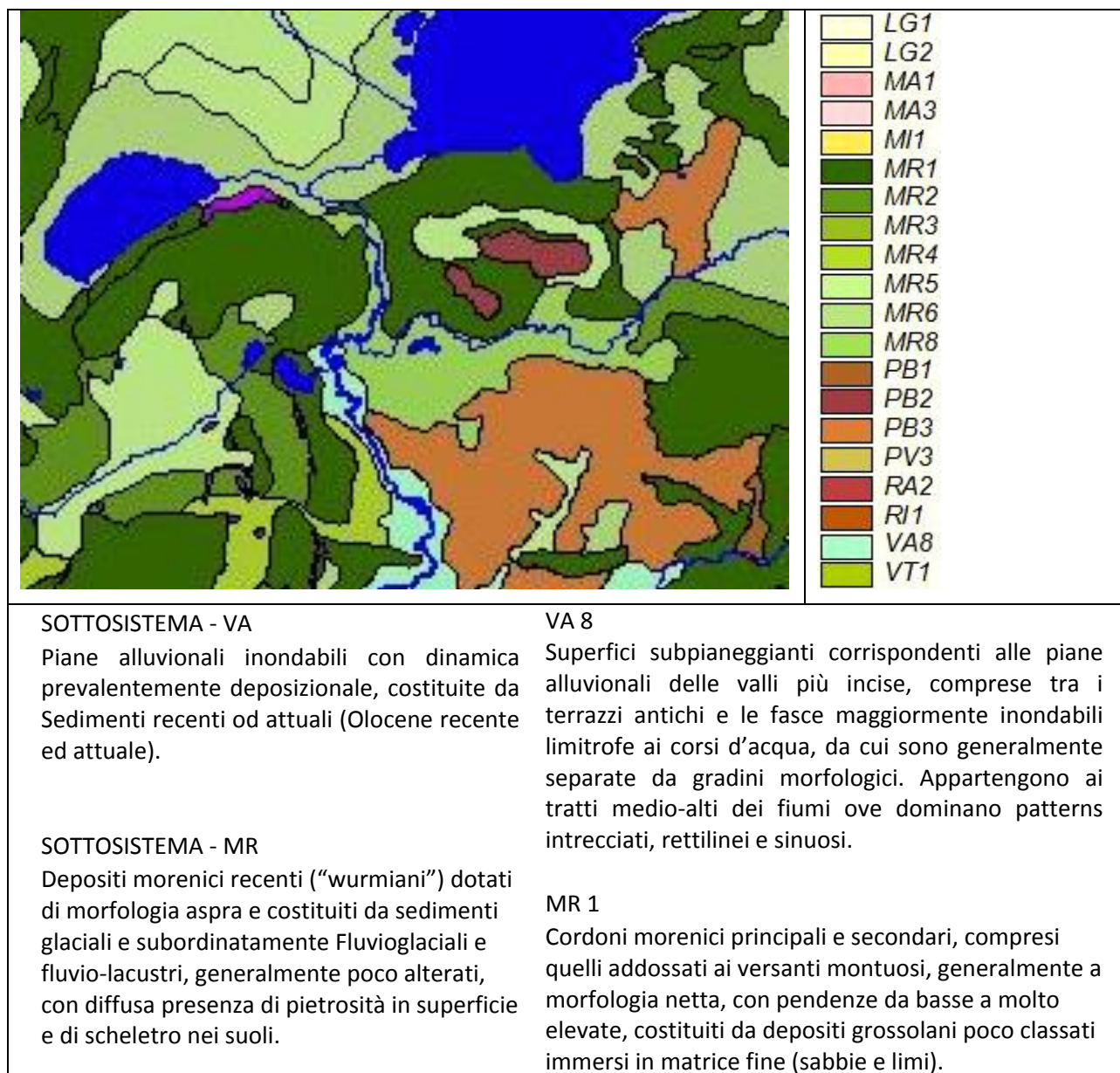
## 5.3 PEDOLOGIA

L'interpretazione pedologica si basa sulla lettura della distribuzione dei caratteri dell'ambiente che hanno significato pedogenetico e sulla definizione di unità sintetiche di pedopaesaggio. Questa operazione ha lo scopo di indirizzare il rilevamento dei suoli e di riuscire ad assegnare ad ogni ambiente pedogeneticamente omogeneo uno o più suoli caratteristici.

Con questa metodologia l'ERSAL, poi ERSAF, ha realizzato alla fine degli anni '90, nell'ambito del Progetto Carta Pedologica della Pianura, il rilevamento e la cartografia pedologica alla scala 1:50.000 della Alta Pianura e delle aree collinari della parte non montana delle Province di Varese e Como-Lecco. In questa area la delimitazione delle unità cartografiche e il contenuto pedologico sono rimasti abbastanza stabili, anche se hanno subito aggiornamenti in due successive fasi, l'ultima delle quali non è ancora disponibile. Lo stesso dicasi per il numero e la definizione del sistema dei pedopaesaggi che sono stati recentemente semplificati.



In ogni caso, rimane valida, per la sua ampia base di rilevamento in campo, la prima interpretazione di cui si riporta prima lo stralcio dei pedopaesaggi, con la legenda delle sole unità che interessano Merone, e poi la carta dei suoli con una sintesi della descrizione dei suoli presenti.



**Figura 16 - Paesaggi e Unità di Paesaggio secondo ERSAF**

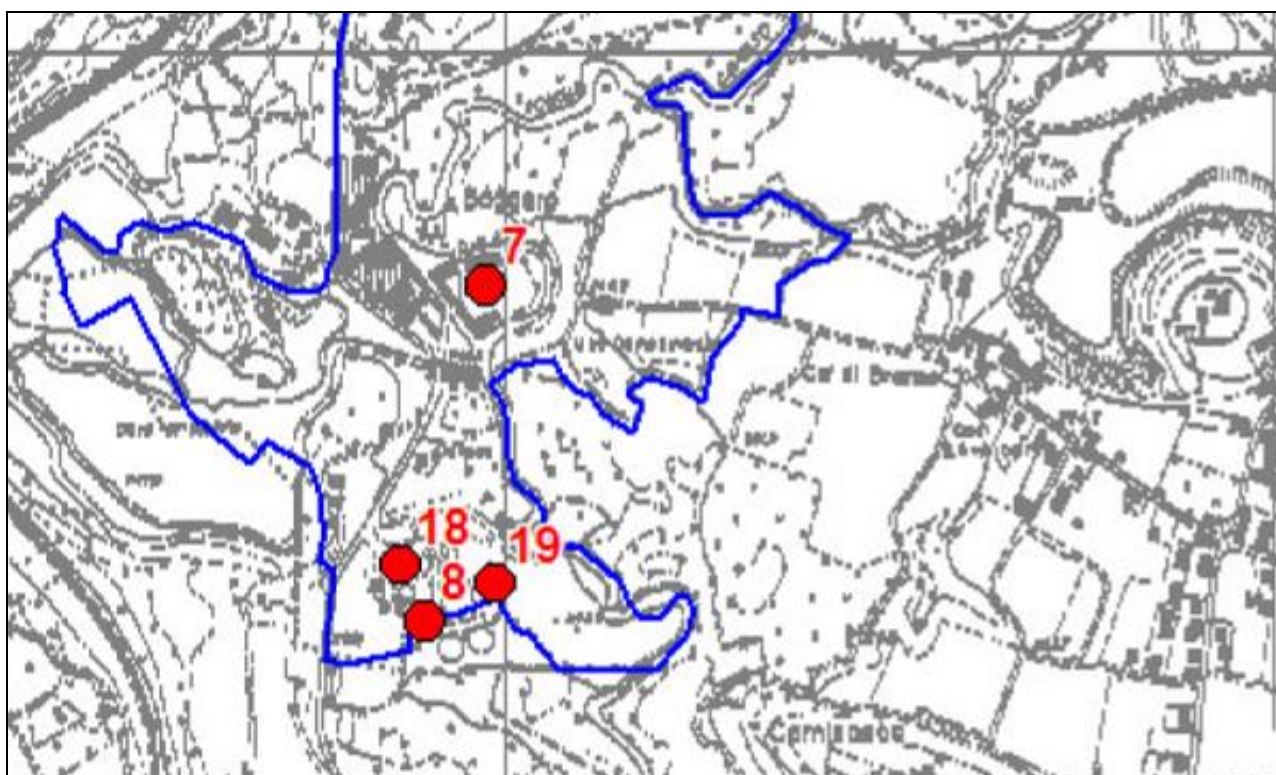
## 5.4 I CARATTERI DEL SOTTOSUOLO E LA ZONAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

Per la definizione dei caratteri tecnici del suolo e sottosuolo sono state consultate alcune relazioni geologiche effettuate nell'area di Merone per nuove edificazioni, ampliamenti e/o modifiche dell'esistente, nonché alcune perizie e pareri di natura geologica. Si è tenuto conto inoltre della caratterizzazione geologico tecnica proposta dai geologi Cortiana e Valentini nella Relazione Geologica di supporto al Piano Regolatore Generale (giugno 2001) e dello studio di D.Battaglia (2/2006) per interventi di salvaguardia



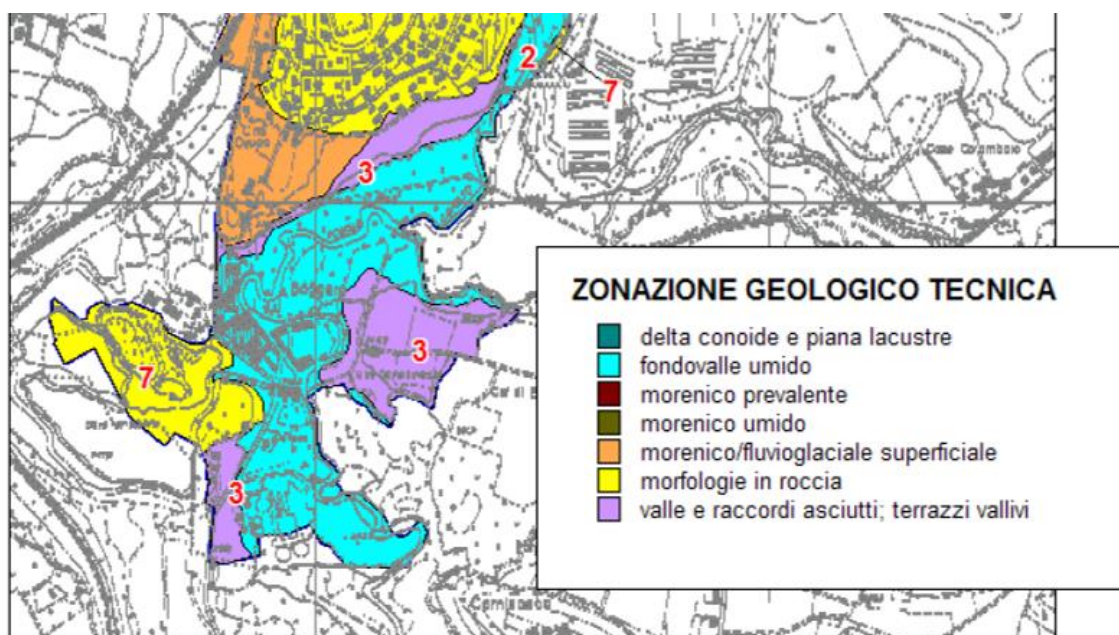
idrogeologica a Pontenuovo e all'incastro del Cavo Diotti. In particolare sono stati analizzati i dati contenuti in 21 relazioni geologiche e geotecniche, con una buona distribuzione sul territorio comunale; ciò nonostante alcune aree rimangono prive di dati di indagine diretta del sottosuolo. Tali aree sono state interpretate a partire dalle conoscenze geologiche indirette. I dati utilizzati sono stati forniti dall'Ufficio Tecnico Comunale e riguardano sia opere di interesse pubblico (scuola, residenza anziani, depuratore, ecc.) che interventi privati.

Le prove analizzate constano di 56 prove penetrometriche dinamiche pesanti tipo SCPT, 6 prove penetrometriche dinamiche leggere, 25 sondaggi geognostici. Nell'area di interesse sono state eseguite complessivamente 6 penetrometriche di tipo dinamico (SCPT) e 2 sondaggi SPT.



**Figura 17 - Prove geotecniche nell'area di interesse**

Nell'area di interesse sono state eseguite complessivamente 6 penetrometriche di tipo dinamico (SCPT) e 2 sondaggi SPT. Non sono stati rinvenuti substrati rocciosi ed è invece stata rinvenuta falda affiorante (al punto 19 subito al di sotto del piano campagna), a testimonianza del fatto che l'impianto ha occupato una parte di area umida che veniva drenata in direzione N-S per confluire in Lambro prima della sua curva a 90°.



**Figura 18 - suddivisione del territorio in aree con simili caratteri litologico tecnici del substrato**

Sulla base dei dati raccolti, delle conoscenze maturate sul territorio e dei risultati della campagna di indagine, l'area indagata è stata classificata come tipologia:

- A est da “fondovalle umido” caratterizzato da deposito alluvionali misti e livello falda entro 3 m dal piano campagna;
- A nord da “morfologie in roccia”;
- A sud da “valle e raccordi asciutti e terrazzi vallivi” caratterizzati da depositi alluvionali misti, colluvio e morenico misto.

Lungo il tratto terminale, nell'area classificata come “fondovalle umido” si trovano depositi alluvionali, generalmente grossolani, ma possono essere presenti lenti o livelli a granulometria fine o con depositi organici. Si riconoscono tracce di attività fluviale (meandri attivi, divagazioni recenti del fiume, aree con evidenze di umidità, ecc.). I caratteri geologico tecnici sono da mediocri a buoni, e dipendono fortemente dalla tipologia del materiale presente localmente.

Le prove effettuate per il ristorante “il Corazziere” e per il depuratore indicano la presenza di un livello superficiale di spessore variabile tra 2 e 5 m costituito da materiale fine (argilla, limi, localmente torbe) e con resistenza alla penetrazione molto bassa, al di sotto del quale compaiono livelli più grossolani a caratteri geotecnici in miglioramento con la profondità.

I sondaggi effettuati per il depuratore confermano la ricostruzione stratigrafica; il confronto tra le ricostruzioni effettuate nei due siti citati ha permesso di elaborare il seguente schema:



Livello	Profondità in m da p.c	Nspt (N° di colpi per avanzamento di 30 cm in prova SPT)	Ø Angolo di attrito interno in gradi	$\gamma$ (Peso di volume asciutto in t/mc)
1	0-4	Da 1 a 4	23-24	1,6
2	4-7 (localmente da 3 a 4)	Da 9 a 15	28-30	1,8
3	> 7	Da 10 a 30	28-30	1,8

Tabella 9 - Caratteristiche geotecniche del terreno nell'area di interesse

Litologia e granulometria: argille e limi soprastanti materiale più grossolano, con ciottoli anche di grosse dimensioni.

Problemi: falda idrica prossima a piano campagna. Disomogeneità laterali e verticali

Caratteri geologico tecnici: le prove evidenziano un generale aumento con la profondità della resistenza alla penetrazione dei terreni.



I progettisti

Ing. Stefano Minà

Ing. Maria Teresa Olmeo

Triuggio, Marzo 2015





**PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO**  
DIPARTIMENTO DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE



**fondazione**  
**cariplo**

**ALLEGATI**



## **ALLEGATO 1 – Descrizione del codice di calcolo HEC-RAS**



### **DESCRIZIONE DEL CODICE DI CALCOLO HEC-RAS**

I calcoli idraulici sono stati svolti mediante l'utilizzo del codice HEC-RAS (v. 4.1 sviluppato da U.S. Army Corps of Engineers), per il calcolo dei profili delle correnti a pelo libero. Il suddetto programma di calcolo esegue le verifiche idrauliche elaborando i dati in input quali:

- geometria delle sezioni considerate;
- caratteristiche fisico-morfologiche del corso d'acqua (coefficiente di scabrezza di Manning e pendenza media del fondo alveo) nonché eventuali condizioni idrometriche al contorno;
- portata effluente.

Le quote idrometriche di output vengono visualizzate sulle sezioni trasversali e longitudinali, e compendiate in apposite tabelle recanti tutti i parametri idraulici (altezza critica, velocità, numero di Froude, etc.) che regolano il deflusso della portata considerata.

### **METODOLOGIA DI CALCOLO**

Per le verifiche idrauliche si è utilizzata la teoria del moto permanente, che è caratterizzato da portate liquide costanti, mentre è consentita una variazione graduale della geometria lungo il tratto di corso d'acqua considerato.

Le equazioni che regolano il moto permanente sono l'equazione di continuità:

$$\partial(pQ)/\partial s = 0$$

che in caso di densità costante si riduce alla:

$$Q = \Omega \cdot U = \text{cost}$$

e l'equazione dinamica:

$$d/ds(z + p/\gamma + U^2/2g) = -j$$

dove:

Q = portata liquida

s = ascissa curvilinea

$\Omega$  = area di deflusso

U = velocità media

z = quota fondo alveo

$p/\gamma$  = pressione idrostatica

j = perdita di carico distribuita

La cadente j del carico effettivo si valuta con le espressioni consigliate per il calcolo della perdita di carico nel moto uniforme, assumendo che gli sforzi tangenziali sul contorno dipendano solo dalle condizioni alla parete, dalla forma della sezione e dalla velocità media.



In caso di corsi d'acqua naturali, o comunque per canali di sezioni complesse, il problema del tracciamento della superficie libera in moto permanente con una determinata portata  $Q$  si risolve con procedimenti di calcolo numerico, con i quali vengono discretizzate ad intervalli più o meno piccoli le grandezze infinitesimali di cui sopra.

Il corso d'acqua deve essere suddiviso in tronchi  $D_s$  più o meno brevi, ma tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo; occorre quindi un rilievo topografico dettagliato.

Successivamente si applica il metodo alle differenze finite nella variabile indipendente  $D_s$  e nella variabile dipendente  $DH$  (carico totale). Eventuali variazioni rapide di forma vanno valutate a parte in quanto le perdite devono tenere conto anche degli eventi vorticosi localizzati. Il procedimento di calcolo è inoltre valido solo nell'ambito di variazioni graduali della corrente, nelle quali cioè il comportamento nei confronti della situazione di criticità è univocamente definito alla sezione iniziale e non può più cambiare, a meno di spezzettare il calcolo in tratti omogenei.

Come detto, per il calcolo del profilo di corrente in moto stazionario si è utilizzato il codice HEC-RAS, che utilizza un procedimento iterativo passo a passo basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico tra sezioni successive.

$$WS_2 + (\alpha_1 \cdot V_2^2)/2g = WS_1 + (\alpha_2 \cdot V_1^2)/2g + h_e$$

dove:

$WS_1$  = livello idrico sezione di valle;

$WS_2$  = livello idrico sezione di monte;

$V_1$  = velocità media sezione di valle;

$V_2$  = velocità media sezione di monte;

$\alpha_1 \alpha_2$  = coefficienti numerici di velocità;

$g$  = accelerazione di gravità;

$h_e$  = perdita di carico;

La perdita di carico tra due sezioni comprende una quota dovuta alla scabrezza del fondo ed una dovuta alla variazione della sezione trasversale di deflusso (contrazione/espansione), l'espressione che ne consente il calcolo risulta:

$$h_e = LI_f + C \cdot [(\alpha_2 \cdot V_2^2)/2g - (\alpha_1 \cdot V_1^2)/2g]$$

dove:

$C$  = coefficiente di contrazione/espansione;

$I_f$  = gradiente idraulico tra le sezioni;

$I_f = (Q_1 + Q_2)/(K_1 + K_2)$ ;





$Q_1, Q_2$  portate;

$K_1, K_2$  conveyance totale;

$L$  = media pesata della distanza tra le sezioni;

$$L = (L_{lob} \cdot QM_{lob} + L_{ch} \cdot QM_{ch} + L_{rob} \cdot QM_{rob}) / (QM_{lob} + QM_{ch} + QM_{rob})$$

$L_{lob}, L_{ch}, L_{rob}$  distanza tra le due sezioni rispettivamente in golena sinistra, alveo e golena destra;

$QM_{lob}, QM_{ch}, QM_{rob}$  media aritmetica delle portate defluite nelle due sezioni in golena sinistra, alveo e golena destra.

Il coefficiente di velocità  $\alpha$  viene calcolato, sulla base del valore di conveyance relativo a ciascuna delle componenti di portata in cui è suddivisa una sezione (golena sinistra, alveo, golena destra), mediante la seguente equazione:

$$\alpha = \{ (A_t)^2 \cdot [(K_{lob})^3 / (A_{lob})^2 + (K_{ch})^3 / (A_{ch})^2 + (K_{rob})^3 / (A_{rob})^2] \} / (K_t)^3$$

dove:

$A_t$ : area di deflusso totale della sezione;

$A_{lob}, A_{ch}, A_{rob}$ : area di deflusso in golena sinistra, alveo e golena destra;

$K_t$ : conveyance totale della sezione;

$K_{lob}, K_{ch}, K_{rob}$ : componente di conveyance in golena sinistra, alveo e golena destra.

Perdite di carico dovute a contrazione/espansione della corrente

Le perdite di carico dovute alle variazioni di velocità della corrente, conseguenti a restringimenti o allargamenti delle sezioni trasversali lungo l'asta, vengono valutate secondo la formula:

$$h_0 = C \cdot [(\alpha_2 \cdot V_2^2) / 2g - (\alpha_1 \cdot V_1^2) / 2g]$$

dove:

$C$  = coefficiente di contrazione/espansione

Hec-Ras assume come  $C$  il coefficiente di contrazione quando il carico cinetico della sezione di valle è superiore a quello della sezione di monte, il coefficiente di espansione in caso opposto. Il coefficiente  $C$ , che rappresenta la quota di carico cinetico dissipata nel passaggio della corrente tra due sezioni, assume i seguenti valori:

	Contrazione	Espansione
Nessuna variazione di sezione	0.0	0.0
Variazioni graduali	0.1	0.3
Restringimento dovuto ad un ponte	0.3	0.5
Brusche variazioni di sezione	0.6	0.8





### **Procedura di calcolo**

Per il calcolo del profilo di piena in moto stazionario il codice Hec-Ras utilizza un procedimento di tipo iterativo che, nel caso di due generiche sezioni, può essere riassunto secondo i seguenti passi:

- 1) assunzione di un valore di altezza d'acqua nella sezione a monte o in quella a valle, a seconda che si tratti di un profilo di corrente lenta o veloce;
- 2) calcolo dei corrispondenti valori di carico cinematico e conveyance totale;
- 3) determinazione del gradiente idraulico  $I_f$  e delle perdite di carico totali tra le due sezioni;
- 4) risoluzione dell'equazione di bilancio energetico, calcolo del valore  $WS_2$ ;
- 5) confronto del valore  $WS_2$  calcolato con quello assunto al primo passo; ripetizione della sequenza di operazioni sino a quando l'errore rientra nel limite di tolleranza definito (0.003 m).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di un valore di altezza d'acqua di tentativo varia nelle successive iterazioni. Nella prima iterazione viene assunto il valore definito per la sezione precedente, nella seconda il valore calcolato, corretto in funzione dell'errore riscontrato:

$$WS_{\text{nuovo}} = WS_{\text{assunto}} + 0.70 \cdot (WS_{\text{calcolato}} - WS_{\text{assunto}})$$

Nelle successive iterazioni viene applicato il metodo della secante:

$$WS_I = WS_{I-2} - \text{Err}_{I-2} \cdot \text{Err}_{\text{ass}} / \text{Err}_{\text{diff}}$$

dove:

$WS_I$  nuovo valore del livello idrico;

$WS_{I-1}$  valore di livello idrico assunto nell'iterazione precedente;

$WS_{I-2}$  valore di livello idrico assunto nella penultima iterazione;

$\text{Err}_{I-2}$  differenza tra il livello idrico calcolato e quello assunto nell'iterazione I-2;

$\text{Err}_{\text{ass}}$  differenza tra i livelli idrici assunti nelle due iterazioni precedenti =  $WS_{I-2} - WS_{I-1}$ ;

$\text{Err}_{\text{diff}}$  differenza tra il livello idrico assunto e quello calcolato nell'iterazione precedente, più

l'errore definito nella penultima iterazione =  $WS_{I-1} - WS_{\text{CalcI-1}} + \text{Err}_{I-2}$

### **Equazione di conservazione della quantità di moto**

L'equazione di bilancio energetico vale soltanto quando si hanno variazioni graduali di corrente, in particolare, quando il profilo idraulico presenta una sezione caratterizzata da una profondità di corrente pari all'altezza critica, l'equazione di bilancio energetico non è più applicabile. La presenza di una sezione con altezza critica d'acqua evidenzia una variazione rapida del moto, con passaggio da corrente lenta a veloce viceversa. Ciò può verificarsi in numerose situazioni: a seguito di un cambiamento della pendenza di



fondo alveo, per la presenza di un restringimento in corrispondenza di un ponte, a causa della presenza di salti di fondo, o in corrispondenza di una confluenza tra due corsi d'acqua.

L'equazione di conservazione della quantità di moto ha la seguente espressione generale:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

P = forze dovute alla pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;

$W_x$  = forza peso nella direzione x

$F_f$  = forza di attrito tra le sezioni 1 e 2;

Q = portata;

$\rho$  = densità dell'acqua;

$\Delta V_x$  = variazione di velocità tra le sezioni 1 e 2, nella direzione x

essendo:

$$P = g A \hat{Y} \cos \theta$$

g = peso specifico dell'acqua;

A = area di deflusso;

$\hat{Y}$  = profondità della corrente.

$$W_x = g \cdot [(A_1 + A_2)/2] \cdot L \cdot \sin \theta$$

L = distanza tra le due sezioni successive;

$z_i$  = quota fondo della sezione i-esima

$$\sin \theta = (z_1 - z_2)/L$$

$$F_f = t \cdot P_m \cdot L$$

t =  $g \cdot R \cdot S_f$  tensione superficiale d'attrito;

$P_m$  = sviluppo medio del contorno bagnato nelle sezioni 1 e 2;

R = raggio idraulico;

$S_f$  = gradiente idraulico



## **ALLEGATO 2 – Profilo idraulico**

