



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 PRELIMINARE

RELAZIONE TECNICA

Il progettista
Ing. Daniele Giuffrè

Triuggio, Ottobre 2014





INDICE

1. PREMESSA	3
2. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO	4
2.1. INTERVENTI DI RINATURAZIONE E MASCHERAMENTO	4
2.2. SCALE DI RISALITA PER I PESCI	5
2.3. SENTIERO	7
3. DIMENSIONAMENTO SCALE DI RISALITA	9
3.1. OBIETTIVI E CRITERI DI PROGETTAZIONE	9
3.2. ITTIOFAUNA	9
3.3. PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO	10
4. RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA.....	13
4.1. IDROLOGIA.....	13
4.1.1. Pluviometria.....	14
4.1.2. Predisposizione del modello numerico in HEC-HMS	18
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.....	26
4.2.3. Risultati.....	29
5. RELAZIONE GEOLOGICA	33
5.1. INQUADRAMENTO GEOLOGICO DELLA BRIANZA	33
5.2. GEOLOGIA E MORFOLOGIA	36
5.2.1. Geologia dei substrati.....	36
5.2.2. Natura e forma dei depositi quaternari.....	38
5.2.3. Elementi geomorfologici principali.....	40
5.3. PEDOLOGIA.....	41
5.4. I CARATTERI DEL SOTTOSUOLO E LA ZONAZIONE GEOLOGICO-TECNICA.....	42



1. PREMESSA

La presente relazione tecnica è relativa alla progettazione preliminare di alcuni interventi previsti lungo la Roggia Cavolto, nel tratto interamente compreso in comune di Merone tra l'uscita dei laghi di Baggero, in corrispondenza del ponte pedonale e l'attraversamento stradale di via Cesare Battisti, finalizzati prevalentemente alla rinaturalizzazione del corso d'acqua oggi caratterizzato da impattanti artificializzazioni presenti lungo l'alveo e le sponde.

Nelle pagine che seguono sono descritte nel dettaglio le lavorazioni previste per le opere in progetto, il dimensionamento delle scale di risalita dei pesci, le analisi idrologico-idrauliche sviluppate per il tratto in esame e una relazione geologica della zona d'interesse.



2. DESCRIZIONE DELLE OPERE IN PROGETTO

Gli interventi in progetto sono:

- rinaturalizzazione e mascheramento delle sponde del canale attraverso l'impiego di due diverse soluzioni progettuali: copertura in massi a scogliera e grata viva;
- realizzazione di scale di risalita per i pesci attraverso la creazione di rampe in pietrame;
- realizzazione di un sentiero adiacente alla roggia per permettere l'accesso alle Oasi di Baggero anche da via Cesare Battisti.

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 dall'ingente presenza di materiale arboreo caduto.

2.1. INTERVENTI DI RINATURAZIONE E MASCHERAMENTO

Al fine di effettuare interventi di riqualificazione e rinaturazione della roggia sono state usate tecniche di Ingegneria Naturalistica per modificarne l'attuale conformazione senza intaccare in alcun modo il regime idraulico della stessa. Tali tecniche prevedono l'utilizzo di materiali particolari quali piante vive (talee), da sole o in combinazione con materiali naturali inerti (come legno, pietrame o terreno) e presentano numerosi vantaggi:

- funzionali. Le piante svolgono un'elevata funzione antiersiva, 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;
- 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.

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 individuata per il **tratto di monte**, compreso indicativamente tra la prima e la terza soglia partendo da monte, di lunghezza di circa 80 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 poi rimodellato e riempito, nella parte sottostante, con sedimento fine, sovrastato successivamente da massi e pietrame con funzione di corazzamento (vedi Sezione tipologica "C" di Tav. 2).

Il **tratto di valle**, esteso per circa 92 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 2,00 – 2,50 m di lunghezza; questi permetteranno il mascheramento dei muri perimetrali esistenti con la conseguente posa in opera di una copertura spondale realizzabile a grata (vedi Sezione tipologica "A" di Tav.2). 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 salici; 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.

Lungo il **tratto intermedio**, compreso tra i due precedentemente descritti, di lunghezza di circa 40 m, è stata prevista una soluzione mista: mentre la sponda sinistra, esterna rispetto al raggio di curvatura che presenta la roggia in questo tratto e per questo maggiormente soggetta al potere erosivo della corrente, verrà rimodellata proseguendo la soluzione adottata nel tratto di monte con protezione spondale a scogliera; sulla sponda destra verrà impiegata invece come struttura di sostegno la grata viva, che verrà poi proseguita nel tratto di valle (vedi Sezione tipologica "B" di Tav.2).

2.2. SCALE DI RISALITA PER I PESCI

Continuità e percorribilità fluviale sono caratteristiche naturali dei corsi d'acqua comprendenti ecosistemi diversi; tali ecosistemi dovrebbero quindi risultare interconnessi tra di loro e più o meno liberamente percorribili da parte delle specie ittiche vagili (che si spostano per diversi motivi legati alla loro biologia). Per alcune specie lo spostamento può costituire un elemento indispensabile allo svolgimento del loro intero ciclo biologico e dunque alla loro stessa sopravvivenza.



Come già descritto ai capitoli precedenti, lungo il Cavolto esistono opere di sbarramento artificiale invalicabili per la fauna ittica. Esclusa l'ipotesi di smantellamento di tali strutture poiché meno conveniente dal punto di vista economico ed ambientale, si è quindi deciso di realizzare mitigazioni in grado di ripristinare una condizione di "ittio-compatibilità". Tali opere di mitigazione consistono in passaggi artificiali per i pesci: scale di risalita realizzate in pietrame intasato in calcestruzzo e costruito in modo tale da creare piccoli bacini posizionati in cascata e raccordati, a monte e a valle, all'alveo fluviale.

Si dovranno quindi realizzare quattro scale di risalita, realizzate con una pendenza di circa il 7%, per il superamento delle quattro discontinuità esistenti: la larghezza delle opere sarà di circa 60 cm mentre l'ingombro risulterà essere variabile tra una lunghezza di 8 m ed una di 24 m, in funzione del dislivello da superare (vedi la Relazione Tecnica del presente progetto).

La scelta progettuale di utilizzare massi naturali non solo conferisce alla struttura un migliore inserimento paesaggistico, ma risulta essere una soluzione ottimale anche in considerazione del fatto che i massi sono più resistenti del calcestruzzo, sia ai colpi inferti dall'eventuale materiale sospeso fluitante, sia all'azione abrasiva dell'acqua.

Le principali caratteristiche costruttive sono le seguenti:

- I passaggi, a monte, si comporranno di un primo "canale di raccordo" che avrà lo scopo di indirizzare la portata, soprattutto in condizioni di magra, verso la scala.
- I bacini che compongono la scala avranno fessure collocate in modo tale da creare un'alternanza longitudinale; in questo modo si evita l'insorgere nei bacini di cortocircuiti idraulici, con velocità della corrente non compatibile alla risalita dei pesci; il fondo dei bacini sarà rivestito con materiale inerte grossolano (ghiaia e ciottoli), anche ricavato in loco dagli eventuali movimenti di terra, adatto alla fauna ittica e bentonica, avente la funzione di aumentare la rugosità e la resistenza ai flussi idraulici.
- Le fessure saranno larghe circa 30 cm, valore limite per consentire il transito anche dei pesci di taglia maggiore e, allo stesso tempo, assicurare un battente idrico maggiore di 20 cm.
- I passaggi verranno collocati lungo le sponde; tale collocazione è preferibile rispetto ad una collocazione centrale allo sbarramento in considerazione del fatto che i pesci si spostano maggiormente lungo le sponde. In questo modo è anche più immediata e semplice la manutenzione ordinaria della struttura.
- Le soglie di sfioro delle fessure che collegano il primo bacino al secondo (partendo da monte) dovranno essere collocate alle medesime quote di sommità dei manufatti esistenti; questo per assicurare un tirante idrico di almeno 20 cm al passaggio della portata di magra, con velocità,



soprattutto in corrispondenza delle briglie, relativamente inferiori rispetto a quelle che si realizzerebbero in corrispondenza delle fessure.

Per quanto riguarda invece la briglia di monte, per evitare che la portata di magra defluisca lungo tutta la larghezza della briglia rendendo quindi impossibile la formazione di un tirante idoneo al passaggio dei pesci, si è deciso di realizzare un'ostruzione attraverso il posizionamento di palancole in legno poste ortogonali alla sezione e regolabili grazie alla presenza di un argano. Si procederà quindi allo smantellamento delle travi attualmente esistenti e successivamente si inseriranno nuove travi metalliche a profilo IPE, utili al posizionamento delle palancole. Verrà lasciata una singola apertura laterale a cielo aperto, posizionata in sinistra idrografica, di circa 30 cm di larghezza. A monte dell'ostacolo il passaggio potrà essere eventualmente essere "protetto" attraverso il posizionamento di massi ciclopici disposti a pettine, in modo tale da evitarne il potenziale intasamento da parte di corpi flottanti.

2.3. SENTIERO

Infine, lungo la sponda destra della roggia, verrà realizzato un sentiero che correrà adiacente al corso d'acqua. Tale percorso permetterà l'accesso alle Oasi di Baggero all'utenza proveniente da via Cesare Battisti.

Il tracciato, riportato in Figura 1, seguirà il profilo del rilevato arginale esistente. Sarà però 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 ne impediscono il passaggio.



Figura 1 – Tracciato del sentiero



3. DIMENSIONAMENTO SCALE 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, di colonizzare tratti fluviali più ospitali, di mantenere il contatto con specie diverse in modo tale da "rinnovare" il proprio patrimonio genetico così da assicurare un processo adattativo.

Attualmente la Roggia Cavolto risulta fortemente impattata dal fenomeno dell'interruzione della percorribilità fluviale a danno dei pesci. La presenza di quattro soglie di notevole altezza costituisce un ostacolo invalicabile per l'eventuale risalita della fauna ittica dal Lambro ai laghi di Baggero.

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 quattro rampe in pietrame lungo le quattro soglie esistenti, posizionate marginalmente alla sezione di deflusso. Il principio guida nella progettazione di questa tipologia di passaggio per pesci deve soddisfare diverse condizioni: innanzitutto il passaggio deve attrarre i pesci in un punto determinato del corso d'acqua a valle dell'ostacolo, successivamente deve consentire loro la risalita e, conseguentemente, deve permettere loro il superamento dell'ostacolo.

Le rampe in progetto saranno realizzate in pietrame (in parte o interamente intasato in calcestruzzo) attraverso la creazione di piccoli bacini in successione posti ad un dislivello prefissato. Oltre a svolgere l'importante funzione di passaggio biologico, tale soluzione, attraverso l'utilizzo anche di pietrame, risulta essere ottimale dal punto di vista dell'inserimento paesaggistico.

3.2. ITTIOFAUNA

Per la progettazione di questo tipo di strutture 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 ritrovate nella roggia Cavolto, in maggior parte, scendono con le piene dai laghi di Baggero. In

	Lunghezza [cm]	Velocità massima [m/s]
<i>Specie autoctone</i>		

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
Specie alloctone		
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 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]
Specie autoctone		
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
Specie alloctone		
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

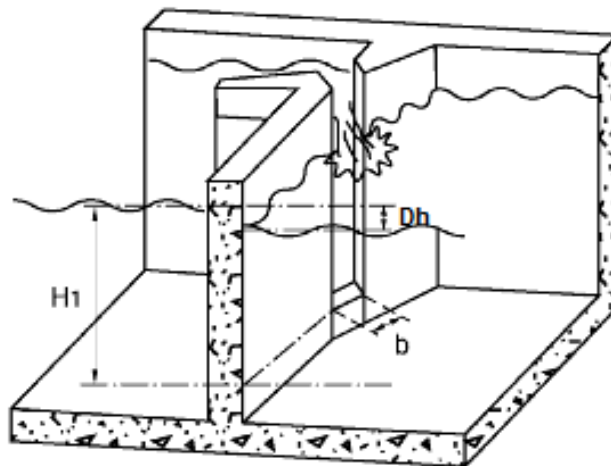
3.3. PARAMETRI DI DIMENSIONAMENTO

Il funzionamento idraulico della scala deve essere garantito anche con il passaggio di portate di magra. Per la roggia in esame non si hanno a disposizione dati idrometrici; sulla base però delle osservazioni ricavate da campagne speditive effettuate si può assumere una portata media di magra pari a 60 l/s.

Come già accennato, la scala sarà composta da una successione di bacini, collegati tra loro da fessure. La larghezza delle fessure deve consentire il transito anche dei pesci di taglia maggiore, il range geometrico maggiormente utilizzato è compreso in larghezze di 0,3 – 0,4 metri. La profondità minima dell'acqua non deve essere inferiore ai 20 cm, con profondità medie intorno ai 30 – 40 cm, per diversificare i livelli d'acqua e creare zone di riposo/rifugio.

Le tipologie di fessure utilizzabili lungo una scala di risalita per i pesci sono molteplici. La scelta e il relativo dimensionamento sarà effettuato in fase di progettazione definitiva, ad ogni modo, una possibile soluzione progettuale consiste nella realizzazione di fenditure verticali configurate in modo tale da creare uno stramazzo rigurgitato. In questo caso la portata transitante sarebbe pari a:

$$Q = C_d \cdot b \cdot H_1 \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$



in cui:

b = larghezza della fenditura [m];

C_d = coefficiente di deflusso = tra 0,65 (profilo non arrotondato) e 0,85 (se profilo arrotondato e liscio);

H_1 = carico totale a monte della fenditura [m];

ΔH = dislivello tra un bacino e il successivo, assunto pari a 0,05 m per i motivi esposti nel seguito.

Considerando quindi una portata transitante di 60 l/s e imponendo una larghezza della fenditura di 30 cm, si trova che H_1 , considerando il range di valori per C_d , è compreso tra 0,3 e 0,25 cm, valori accettabili poiché superiori al valore limite di 20 cm.

Il salto idraulico generato da una discontinuità, per poter essere superato dall'ittiofauna, deve essere compatibile con le capacità natatorie dei pesci presenti. A tale scopo è stato scelto un dislivello ΔH (salto tra un bacino e il successivo) pari a 5 cm; in questo modo la massima velocità determinata dallo scalino, ricavabile dalla relazione seguente, risulta essere pari a 0,99 m/s, valore compatibile con le massime velocità raggiungibili anche dalle specie di dimensioni minori.

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H}$$

Per il dimensionamento del volume minimo di ogni singolo bacino componente la scala si fa riferimento alla potenza specifica dissipata P_v . La difficoltà di risalita dei pesci aumenta con l'aumentare della turbolenza e dell'aerazione dei bacini; per questo motivo è stato adottato come indicatore per la progettazione la potenza dissipata per unità di volume, assunta pari a 150 W/m³ (valore limite per le specie ittiche rilevate), espressa dalla formula seguente:

$$P_v = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta H}{W}$$

Il volume minimo risulta quindi essere pari a 0,2 m³.

Nella tabella seguente sono quindi riportati i valori dei principali parametri di dimensionamento delle quattro scale di risalita, partendo da monte. Come si può notare, i valori di altezza delle soglie considerati nella progettazione sono inferiori rispetto ai dislivelli del fondo tra la sezione immediatamente a monte della soglia e quello della sezione immediatamente a valle. Questo perché allontanandosi dal salto, l'azione erosiva dell'acqua dovuta alla caduta diminuisce e il fondo subisce quindi un innalzamento relativo.

	Altezza [m]	Lunghezza [m]	Pendenza [%]
Scala 1	1.6	24	6.7
Scala 2 (tubi)	0.5	8	6.7
Scala 3	0.85	13	6.7
Scala 4	0.6	9	6.7

Tabella 2 – Dimensioni principali delle quattro scale di risalita

Per quanto riguarda la briglia di monte, per assicurare il transito dei pesci di taglia maggiore, la larghezza delle fessure non deve essere inferiore a 30 cm, valore prossimo al limite per assicurare, con una portata di 60 l/s, un tirante di almeno 20 cm. Tale valore di larghezza è stato quindi assunto anche per la realizzazione della luce di monte, in corrispondenza della prima soglia, che costituirà quindi l'ingresso (o l'uscita) alla scala dei pesci.

Tale luce verrà realizzata creando un'ostruzione all'attuale sezione di passaggio, attraverso la realizzazione di un'opera di regolazione con delle palancole in legno, per quasi tutta la lunghezza della sezione e per un'altezza di circa 40 cm, lasciando libero solo il passaggio per la creazione della suddetta luce collocata in sponda sinistra.

La soglia di sfioro del primo bacino componente la scala dovrà poi essere collocata alla medesima quota dell'attuale soglia di sfioro di monte (accorgimento analogo deve essere preso anche per le tre scale successive). Questo affinché venga sempre garantito un tirante idrico di almeno 20 cm al passaggio di una portata pari a 60 l/s. Infatti, sempre in riferimento alla formula relativa al valore di portata transitante attraverso fenditure verticali (con stramazzo rigurgitato), si può supporre che, in corrispondenza della fessura, si avrà un'altezza d'acqua H_1 nel bacino di monte pari a circa 25 – 30 cm, valore che, con sicura approssimazione, si verificherebbe poco a monte, in corrispondenza della briglia, se posizionata alla medesima quota di sfioro della fessura.



4. RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Come già anticipato nella relazione illustrativa, la Roggia Durini - Cavolto è un corso d'acqua che si origina dai rilievi di Fabbrica 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 Fabbrica 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, nel suo tratto terminale, è stata deviata 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 (considerando l'altezza delle sponde dei bacini), l'acqua riempie direttamente il bacino più di valle e filtra attraverso il setto di terra che li separa riempiendo anche quello più a monte che, grazie a questa dinamica, risulta più pulito. Uscendo infine dai laghi, il Cavolto entra nel tratto preso in esame in questo progetto fino ad arrivare alla sua confluenza con il Lambro.

Nel seguito di questo capitolo vengono riportati gli studi idrologici-idraulici effettuati allo scopo di indagare il comportamento idraulico del Cavolto in questo ultimo tratto ed osservare come le opere in progetto lo influenzino. E' stato quindi inizialmente creato un modello idrologico al fine di individuare valori di portata di piena transitabili sul Cavolto a partire dall'uscita dei laghi di Baggero. E' stato poi creato un modello idraulico per confrontare più in dettaglio le dinamiche di piena che si creano nell'attuale assetto morfologico del corso d'acqua e quelle che si creerebbero 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 2.

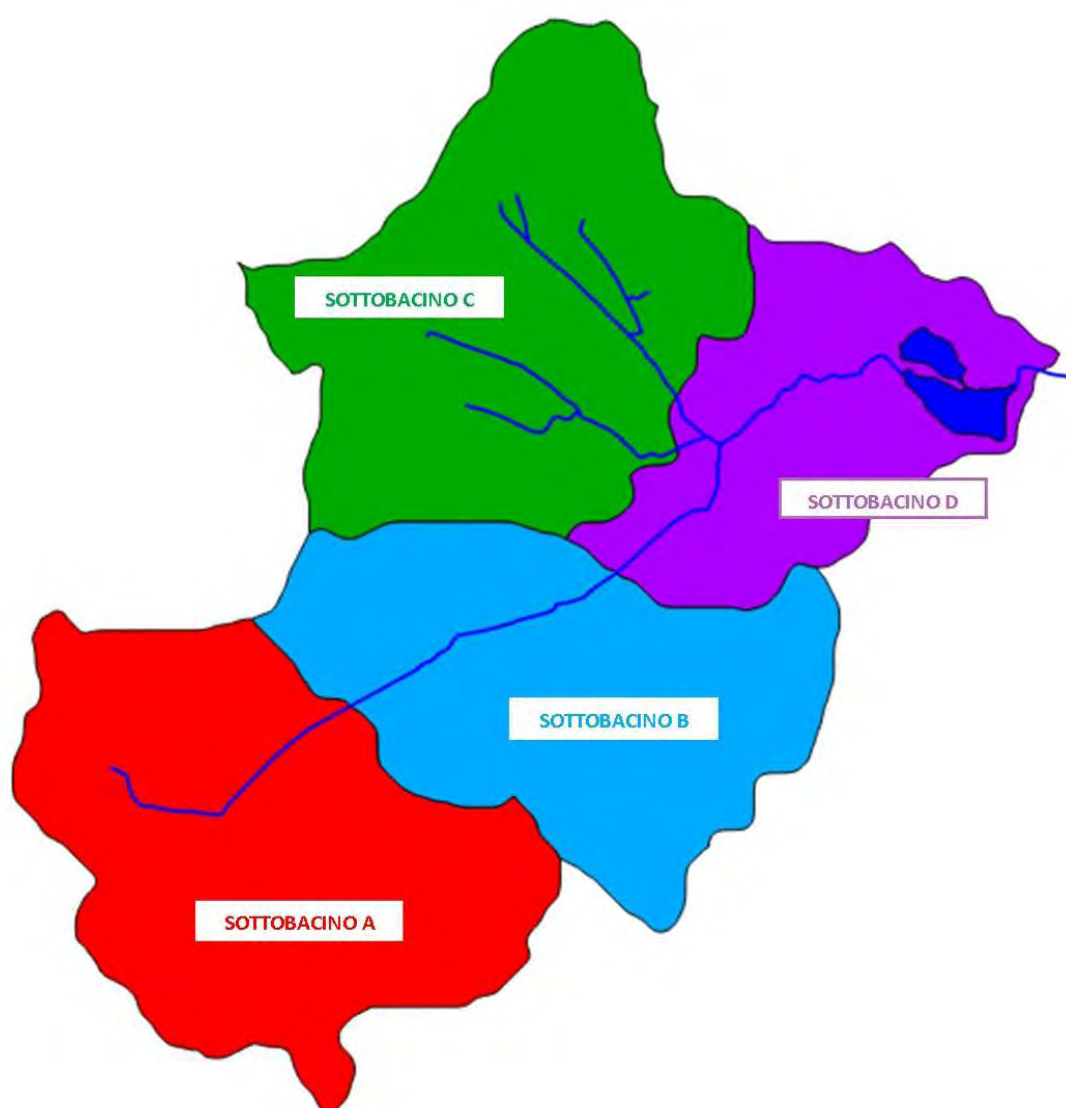


Figura 2 – Suddivisione in sottobacini del bacino imbrifero del Cavolto

Come già anticipato, allo scopo di indagare i meccanismi e le dinamiche idrologiche per poter avere un quadro rappresentativo del comportamento idraulico del Cavolto, in particolare nel suo tratto terminale, è stato elaborato un modello per la simulazione del comportamento idrologico del torrente attraverso l'utilizzo del software di calcolo HEC-HMS, fornito dal U.S. Army Corps of Engineers. Tale software, per l'elaborazione di un idrogramma di piena conseguente ad un evento meteorico, necessita di una serie di dati in ingresso 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, utilizzate per la zona da noi considerata.

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

Sulla base di tali informazioni è stato possibile tracciare (Figura 3) le curve di possibilità pluviometrica relative a diversi tempi di ritorno:

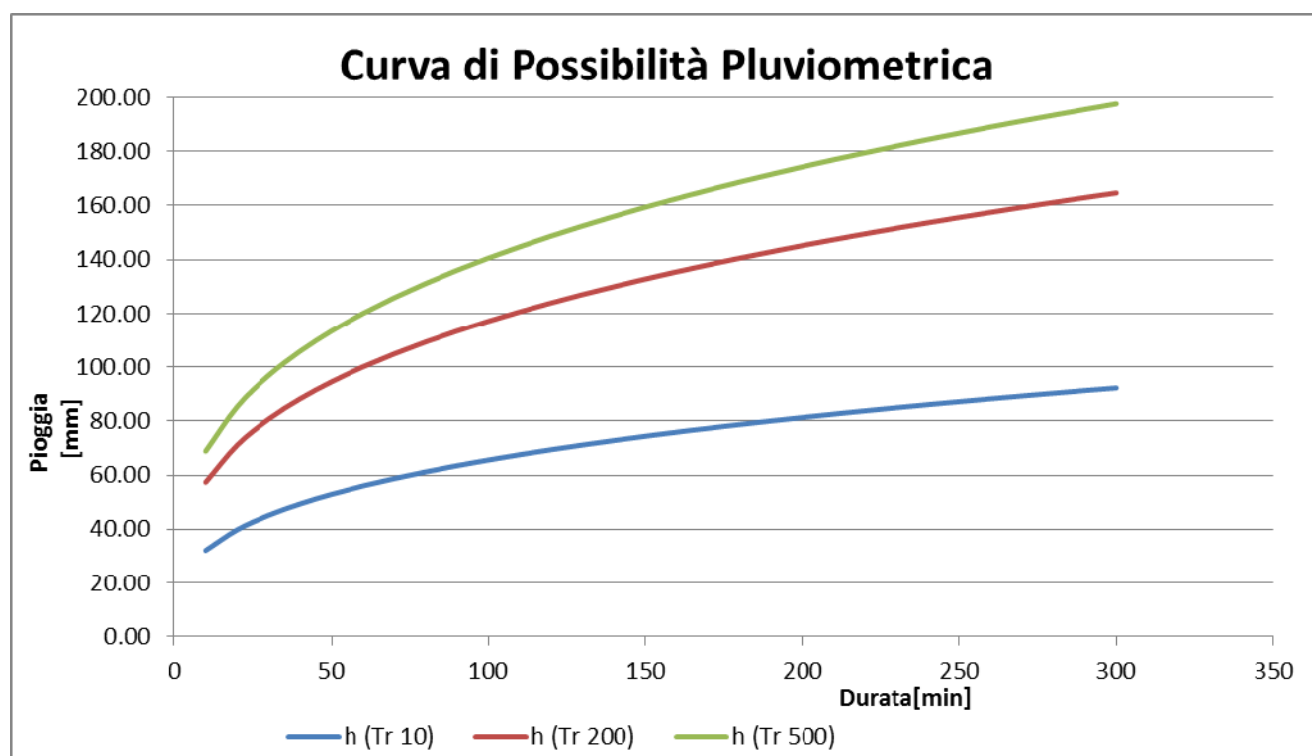


Figura 3 – Curve di Possibilità Pluviometrica

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; 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 $t_p = k \cdot \Theta$, dove Θ è la durata complessiva dell'evento e k è stato assunto pari a 0,4.

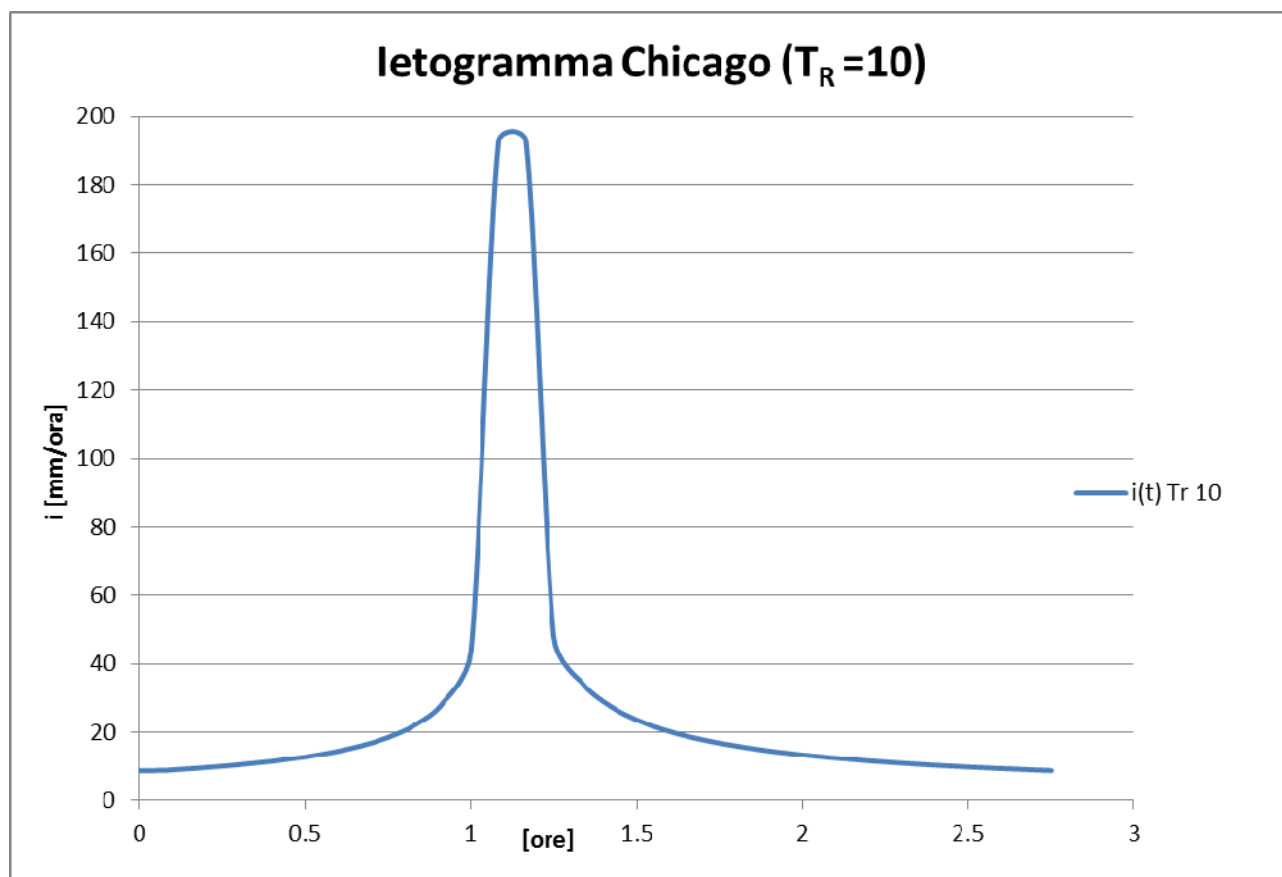


Figura 4 – Ietogramma Chicago relativo ad un tempo di ritorno di 10 anni

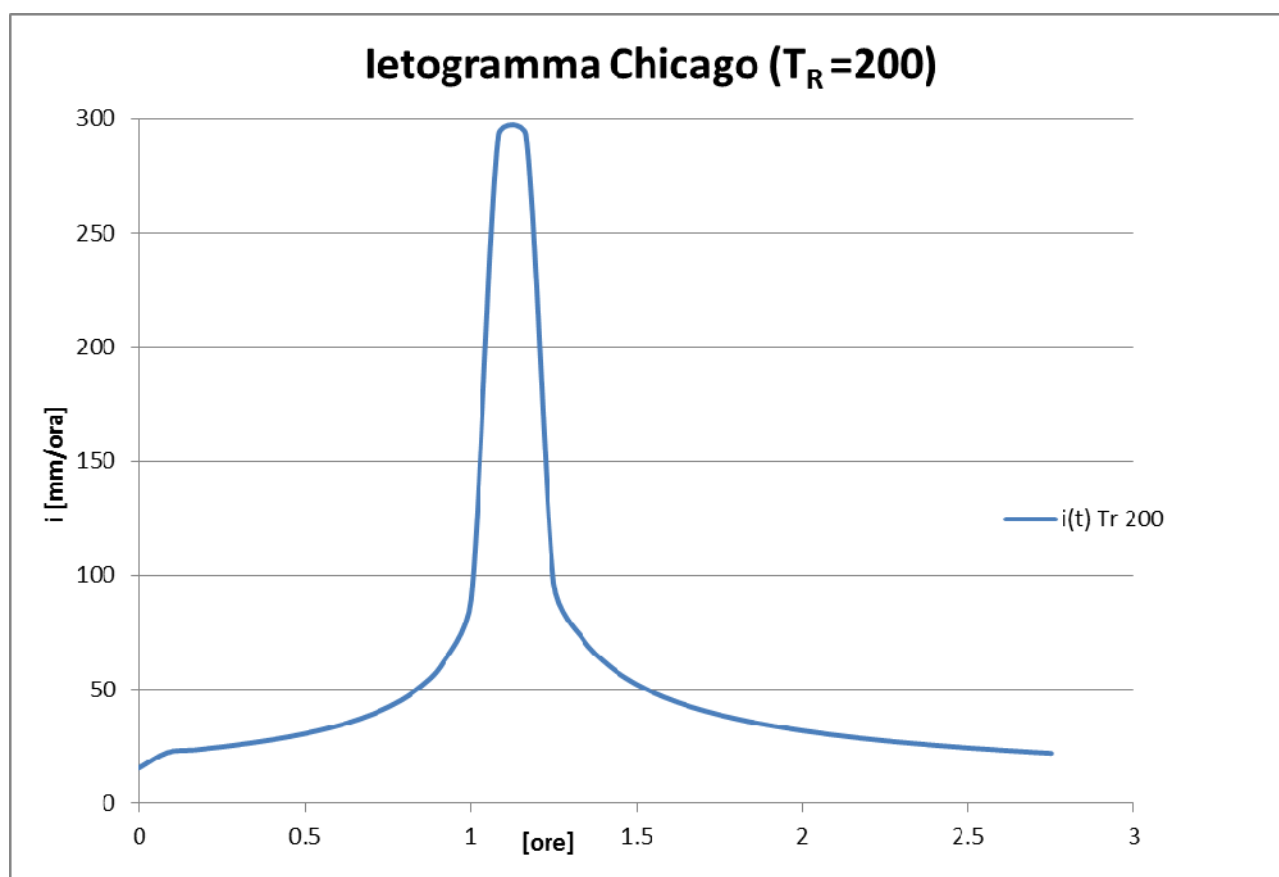


Figura 5 - Ietogramma Chicago relativo ad un tempo di ritorno di 200 anni

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:

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

i_m	0.015	[-]
A_b	6.82	[km ²]
L_a	4.4	[km]
T_c	2.74	[ore]

Dove

- i_m è la pendenza media dell'asta principale;
- A_b è l'area del bacino espressa in km²;
- 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 6). 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.

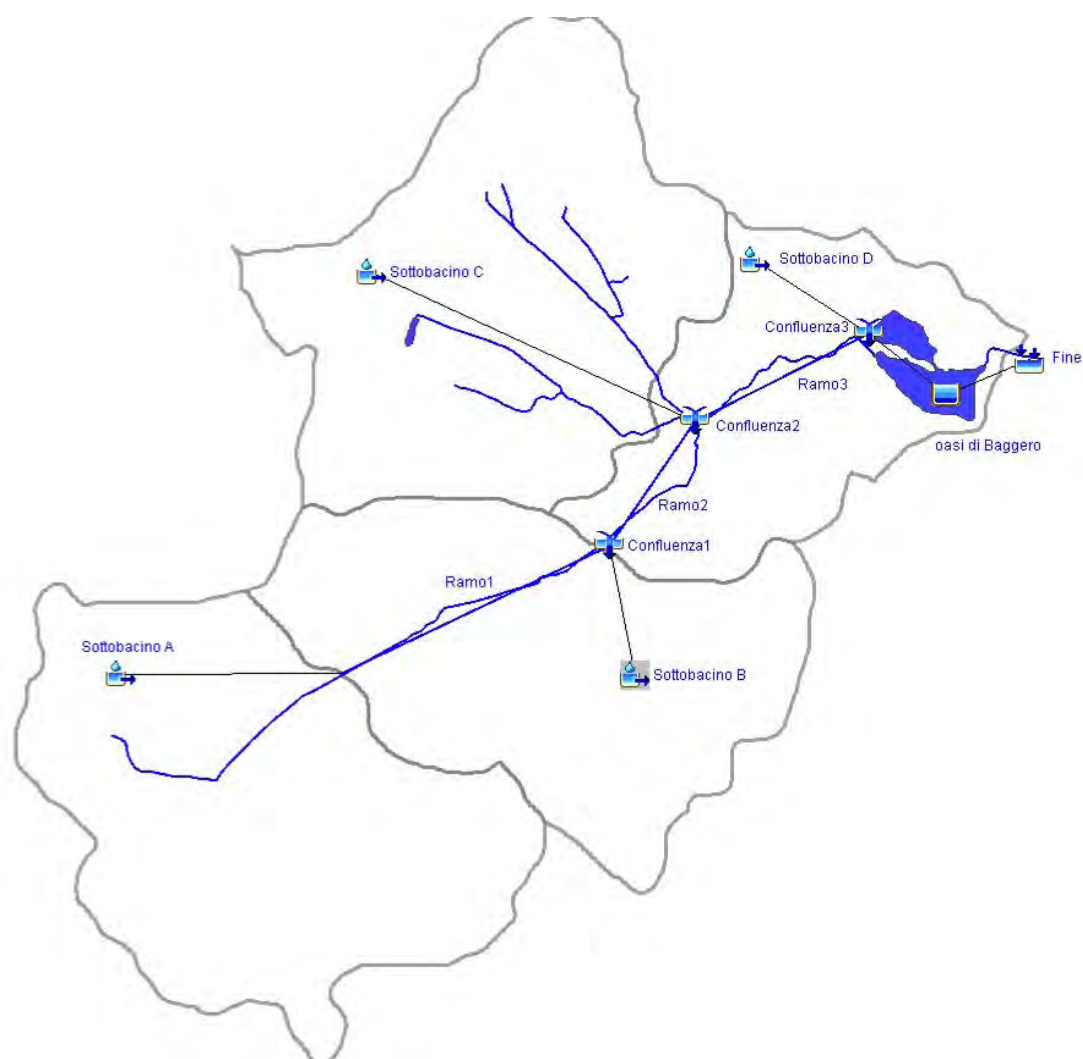


Figura 6 - Schematizzazione bacino della Roggia Durini-Cavolto (modello HEC-HMS)

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 ²]	T _c [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, risulta essere la portata media annuale.

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	0.15	0
Ramo 2	0.66	0.09	0
Ramo 3	0.93	0.13	0

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 m²;
- una legge di uscita della portata in funzione del battente idrico presente Q(h), sia nella configurazione attuale della sezione di uscita dei laghi che nella configurazione di progetto, riportati rispettivamente in Figura 7 e in Figura 8.

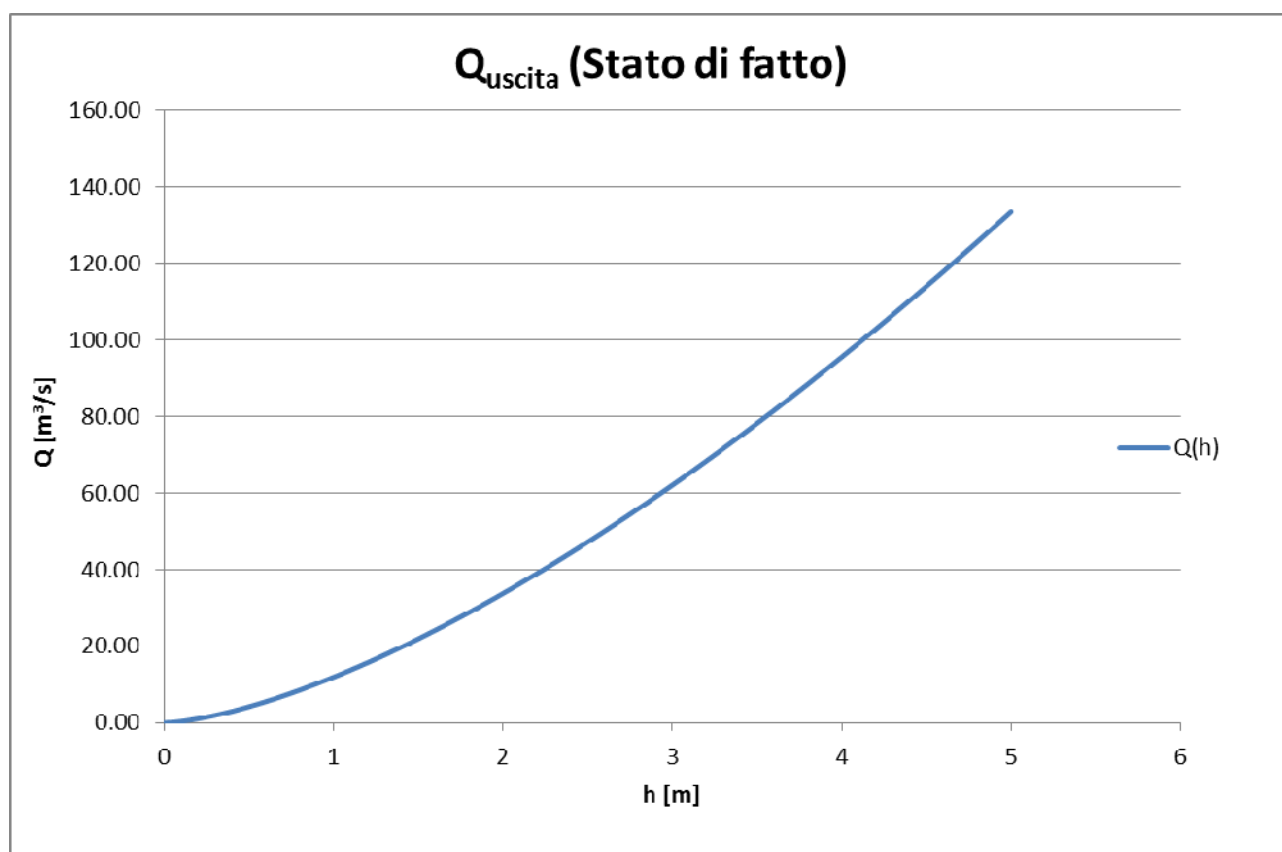


Figura 7 – Legge di efflusso dai laghi di Baggero nella configurazione attuale

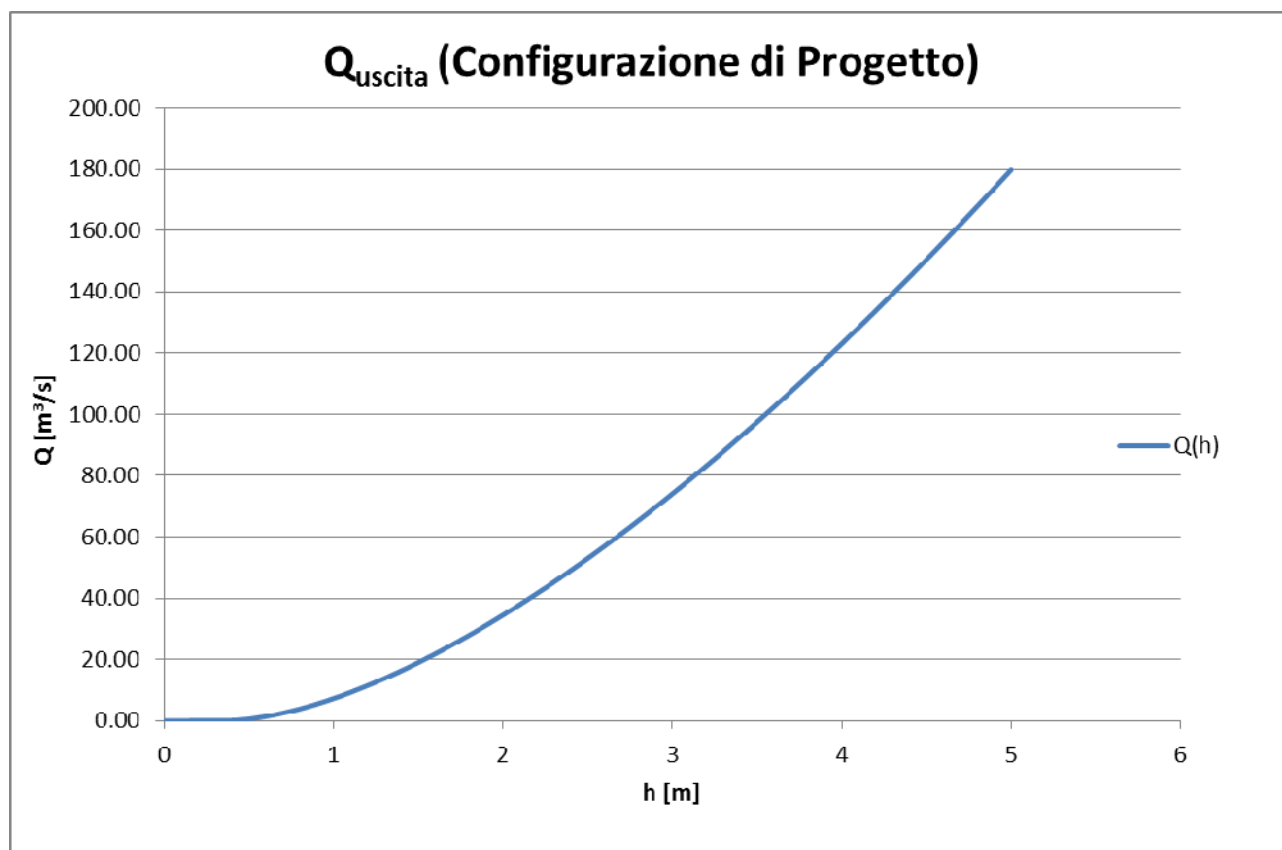
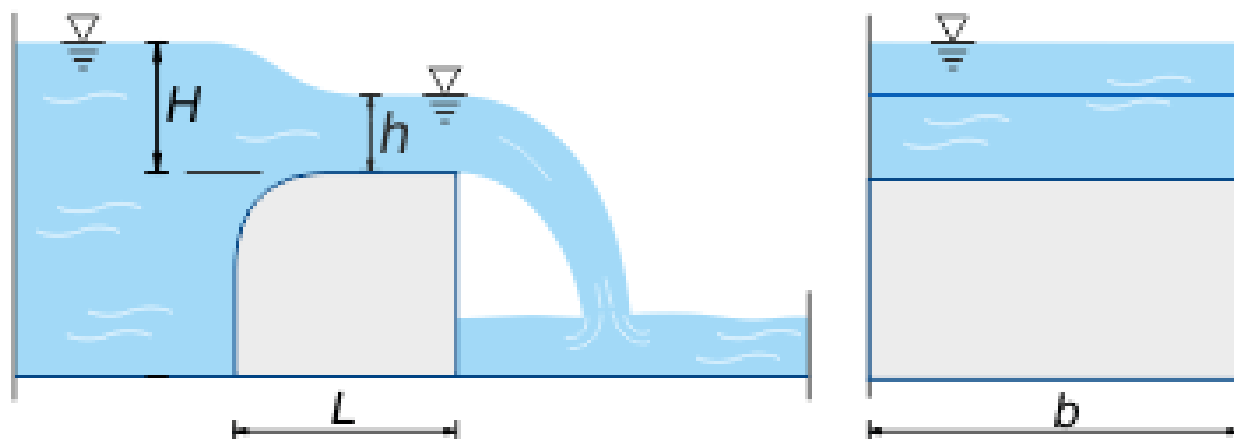


Figura 8 - Legge di efflusso dai laghi di Baggero nella configurazione di progetto

L'ipotesi progettuale prevede infatti l'ostruzione parziale dell'attuale sezione di deflusso in corrispondenza della briglia, tale configurazione modifica perciò la legge di uscita della portata in arrivo ai laghi. Nella configurazione attuale il passaggio della portata segue la legge dello stramazzo libero in parete grossa come riportato nell'equazione seguente:

$$Q = 0,385 \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}^{3/2} = 1,705 \cdot b \cdot H^{3/2}$$



Dove:

L = spessore della soglia pari a 2 m;

b = larghezza della soglia, in questo caso uguale a 7 m;

H = tirante idrico [m];

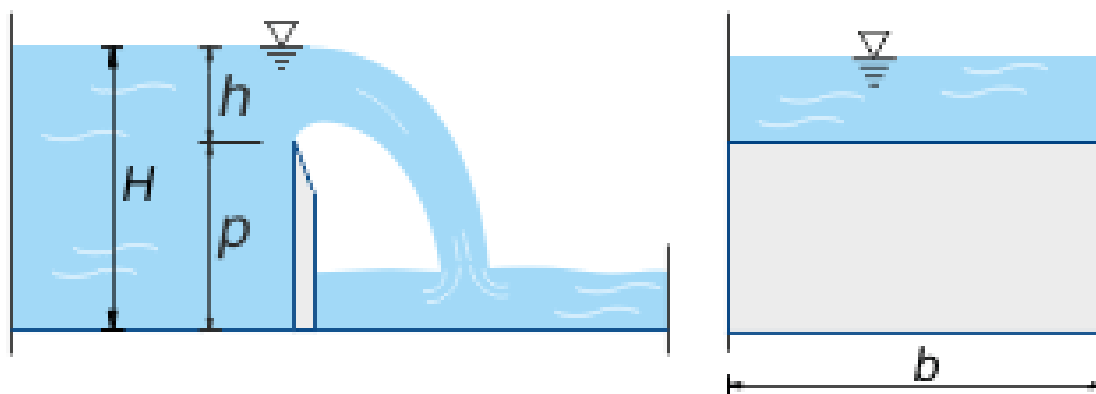
g = accelerazione di gravità.

Nella configurazione progettuale la legge di uscita seguirà quella dello stramazzo in parete grossa fino alla quota relativa di 0,4 m sopra la quota di sommità della soglia e per una larghezza della soglia L pari a 0,3 m, corrispondente all'apertura della bocca tarata per finalità ittiche, superata la quale si aggiungerà il contributo della portata sfiorante, secondo la legge di stramazzo in parete sottile (riportata di seguito):

$$Q = \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}^{3/2}$$

dove:

$$\mu = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \cdot \frac{h^2}{H^2} \right)$$



Infine come condizione iniziale è stata imposta l'equivalenza tra portata in ingresso e portata in uscita, nell'ipotesi cautelativa che, al momento dell'arrivo dell'onda di piena dal reticolo di monte, i laghi siano già completamente invasati.

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:

- Simulazione 1: modello rappresentativo dello stato di fatto (considerando quindi come curva di uscita dai laghi quella rappresentata in Figura 7) con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno $T_R=10$ anni;
- Simulazione 2: modello rappresentativo dell'assetto di progetto (considerando quindi come curva di uscita dai laghi quella rappresentata in Figura 8) con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno $T_R=10$ anni;
- Simulazione 3: modello rappresentativo dello stato di fatto (considerando quindi come curva di uscita dai laghi quella rappresentata in Figura 7) con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno $T_R=200$ anni;
- Simulazione 4: modello rappresentativo dell'assetto di progetto (considerando quindi come curva di uscita dai laghi quella rappresentata in Figura 8) con una pioggia relativa ad un tempo di ritorno $T_R=200$ anni;

Di seguito sono riportati gli idrogrammi risultanti dalle quattro simulazioni, mentre in Tabella 5 sono riportati i soli valori delle massime portate transitate nei quattro casi.

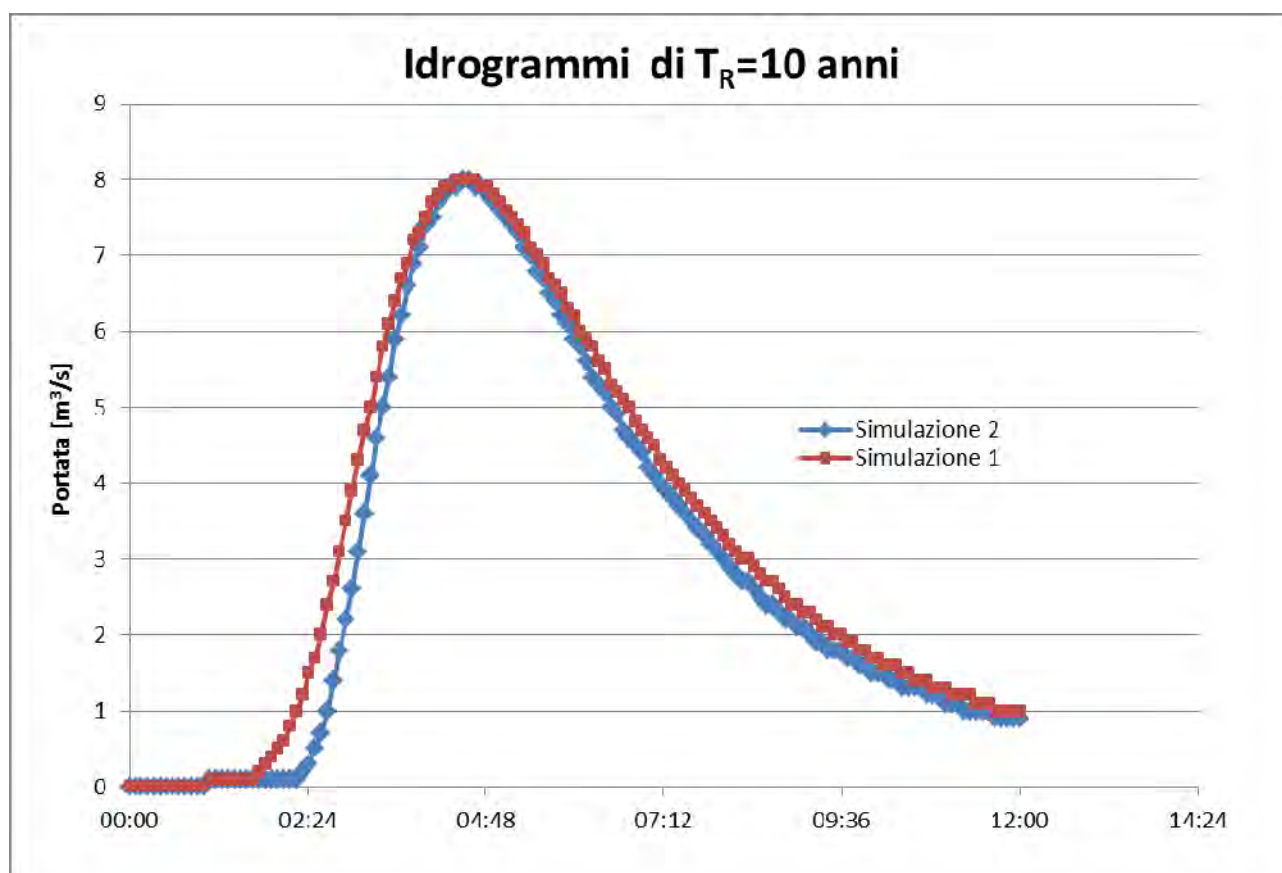


Figura 9 – Idrogrammi risultanti dalle simulazioni 1 e 2

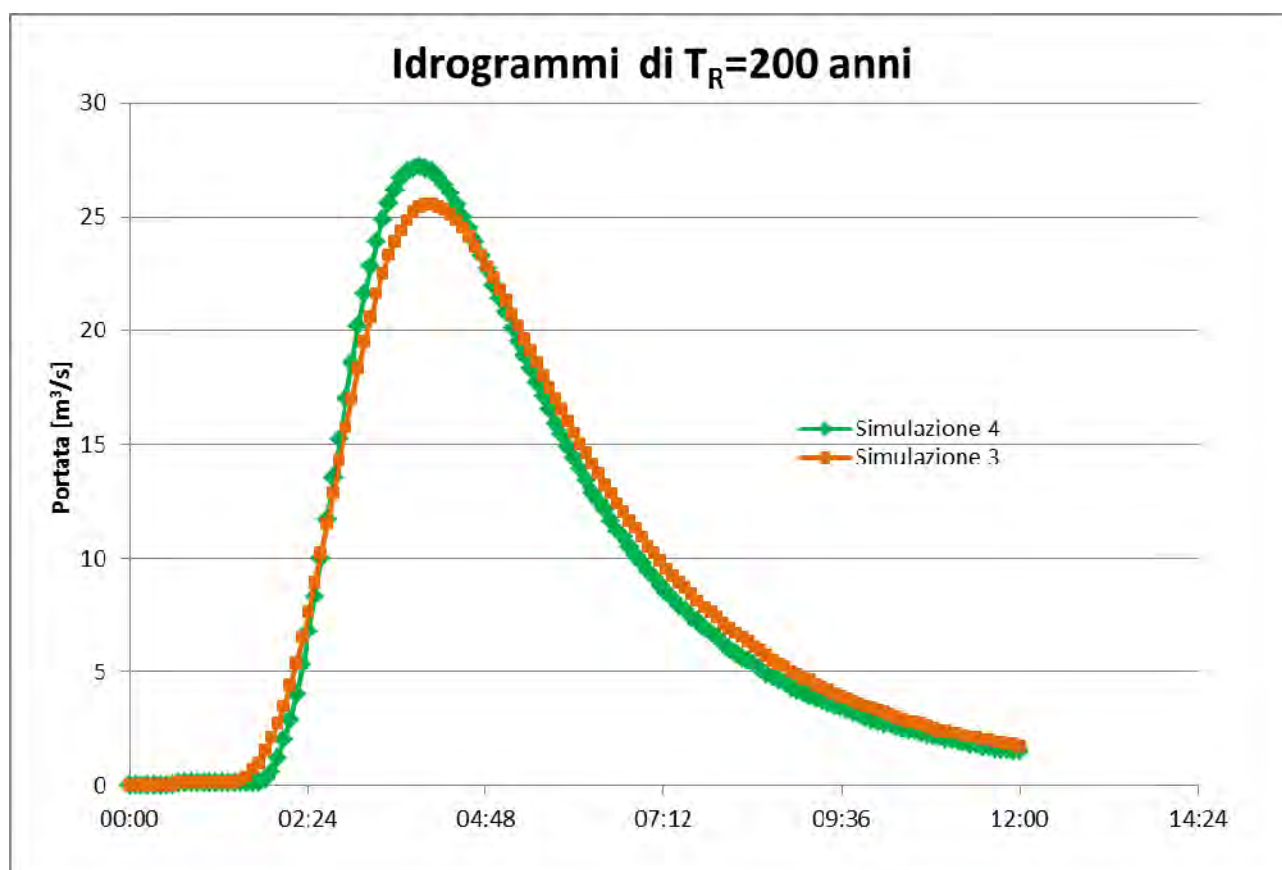


Figura 10 – Idrogrammi risultanti dalle simulazioni 3 e 4

	<i>Picco di portata [m³/s]</i>
Simulazione 1	8.00
Simulazione 2	8.00
Simulazione 3	25.50
Simulazione 4	27.20

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

4.2. IDRAULICA

Come già anticipato, allo scopo di indagare le dinamiche idrauliche che si potrebbero instaurare successivamente alla realizzazione degli interventi ipotizzati, sono stati creati 2 modelli idraulici rappresentativi della configurazione attuale del tratto terminale del Cavolto e della sua configurazione di progetto.

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 il ponte di via Cesare Battisti, 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.

L'asta del torrente è stata rappresentata attraverso l'adozione di 13 sezioni, assunte ortogonali alla direzione della corrente idrica, comprese tra:

- una sezione di monte (13): sezione subito a monte della prima soglia presente lungo il tratto;
- una sezione di valle (1): situata a circa 220 metri più a valle, subito a monte del ponte stradale di via Cesare Battisti.

Essendo a una fase preliminare della progettazione e non disponendo quindi di un rilievo topografico di dettaglio, le sezioni inserite, sono state semplificate assumendo, allo stato di fatto, una larghezza costante dell'alveo inciso pari a 7 metri (ad eccezione della sezione di valle, in corrispondenza dell'attraversamento stradale dove si restringe a 6 m), ed una pendenza delle sponde di 45° per un'altezza di circa 2 m. All'interno di ogni sezione è possibile poi tenere conto di ogni variazione della scabrezza, sulle sponde o lungo l'alveo, attraverso l'utilizzo di diversi coefficienti di Manning.

Successivamente sono state inserite quattro *Inline Structures* per la simulazione idraulica delle quattro soglie esistenti. Le tre briglie risultano strutturalmente molto semplici: realizzate in cls, di spessore di circa 2 m, si presentano tutte completamente interrato. Allo stesso modo, il passaggio dei due tubi lungo l'alveo,



sebbene di altezza ridotta, interrandosi a monte ha creato un salto di fondo non trascurabile. Tutti questi manufatti 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.

Per semplicità, per entrambe le configurazioni considerate, sono state simulate condizioni di moto permanente assumendo quale portata in ingresso da monte i massimi valori degli idrogrammi ottenuti dallo studio idrologico per tempi di ritorno decennale e duecentennale.

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.

Le condizioni generali, valide in entrambe le simulazioni sono:

- immissione di una portata $Q(T_R 10)$ pari a $8 \text{ m}^3/\text{s}$;
- condizione al contorno di monte: passaggio per lo stato critico;
- condizione al contorno di valle: pendenza media del tratto a valle;
- partendo da monte, soglie di altezza pari a:

	Altezza [cm]
Soglia 1	300
Soglia 2 (tubi)	63
Soglia 3	190
Soglia 4	155

Tabella 6 – Altezze delle quattro soglie esistenti

Stato di fatto

Le sezioni inserite nel primo modello risultano essere rappresentative dell'attuale morfologia del corso d'acqua; sono quindi presenti muri di sponda realizzati in cls, sia in destra che in sinistra idrografica, sovrastati da sponde inclinate di circa 45° ad oggi completamente vegetate. In Figura 11 è riportato un esempio:

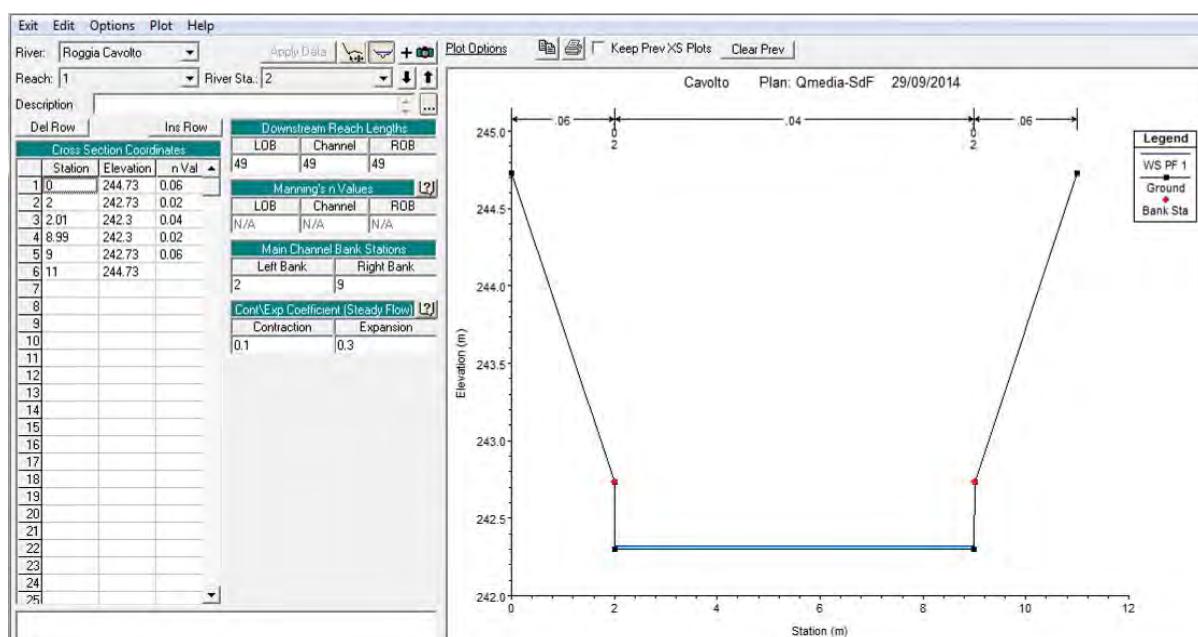


Figura 11 – Esempio di sezione del modello rappresentativo dello stato di fatto

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.

Assetto di progetto

Nella configurazione di progetto le sezioni sono state modificate in funzione della nuova sagomatura delle sponde, andando ovviamente anche a modificare i coefficienti di scabrezza di Manning: i valori di bassa scabrezza relativi alla presenza dei muri in cls sono stati eliminati andando contemporaneamente a prolungare i valori relativi alle sponde vegetate fino alla quota di fondo.

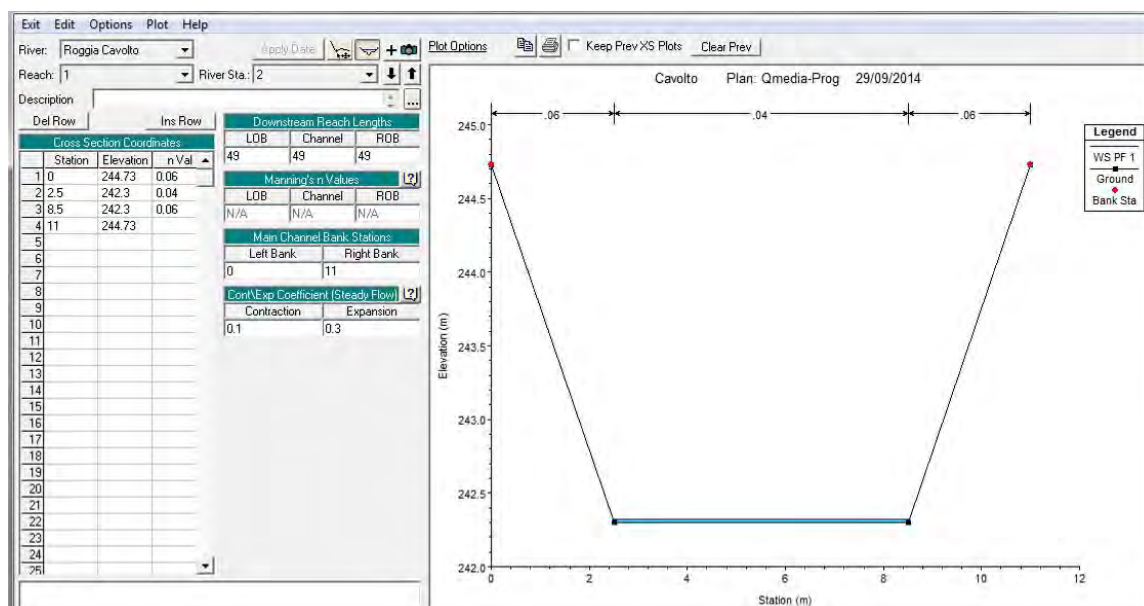


Figura 12 - Esempio di sezione del modello rappresentativo dell'assetto di progetto

Le soglie di sfioro presenti lungo l'intero tratto non sono state modificate ad eccezione della sola soglia di monte. Uno degli interventi previsti dal presente progetto preliminare consiste nella parziale ostruzione della sezione in corrispondenza della briglia di monte, come descritto al capitolo 2, con la contemporanea creazione di una luce adibita al passaggio della portata di magra e della fauna ittica. Tale apertura è caratterizzata da una larghezza di 30 cm ed una altezza di 40 cm. Per la rappresentazione di questo manufatto è stata modificata, rispetto alla geometria definita nello stato di fatto, la soglia di sfioro di monte andando ad innalzare la quota di sommità di 40 cm e definendo al suo interno una luce a cielo aperto di dimensioni 30 x 40 cm posizionata marginalmente alla sezione principale di deflusso come riportato in Figura 13.

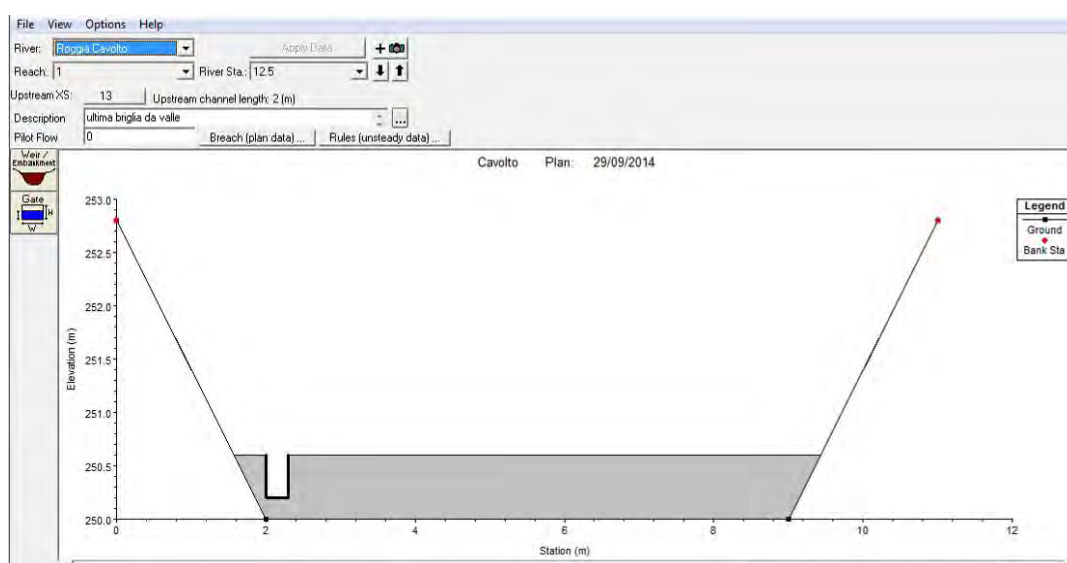


Figura 13 – Briglia di monte nell'assetto di progetto, vista da monte

4.2.3. Risultati

Sono state quindi effettuate, come per il modello idrologico, quattro simulazioni idrauliche, considerando, per ognuno dei modelli sviluppati (rappresentativi dello stato di fatto e dell'assetto di progetto), portate costanti pari ai valori riportati in Tabella 5.

In Figura 14 sono riportati i profili idraulici verificatisi lungo il tratto per i primi due casi simulati. Come si può notare la nuova geometria definita nell'assetto di progetto provoca innalzamenti del profilo idraulico trascurabili: il dislivello medio risulta essere pari a 10 cm. A carattere puntuale, a monte della traversa di valle, si verifica il massimo innalzamento pari a circa 50 cm. Proseguendo verso valle ad ogni modo, il profilo conseguente al passaggio di una portata di piena nella configurazione di progetto si riavvicina al profilo dello stato di fatto, arrivando alla sezione 1, sezione di monte dell'attraversamento stradale di via Cesare Battisti, con un'altezza d'acqua superiore di soli 3 cm allo stato di fatto. Allo stesso modo possiamo notare un comportamento analogo per le simulazioni rappresentative di una condizione di piena duecentennale (Figura 15): il dislivello medio risulta essere pari a 22 cm; il massimo innalzamento, sempre a livello puntuale, si raggiunge anche in questo caso alla sezione di monte dell'ultima soglia, con un valore di circa 1,06 m; alla sezione 1 infine, il profilo nella configurazione di progetto risulta essere superiore allo stato di fatto di soli 17 cm.

Come detto in precedenza, non disponendo di un rilievo topografico in questa prima fase di progettazione, le sezioni costituenti il modello costituiscono una geometria semplificata del corso d'acqua realmente esistente. E' da notare infatti che, sebbene in destra idrografica la sponda sia notevolmente più alta rispetto al fondo alveo con una pendenza prossima a 45°, in sinistra idrografica, lungo il tratto terminale (in particolare proprio in corrispondenza dell'ultima soglia), la presenza di un'estesa area golenale, fittamente



vegetata, allarghi notevolmente l'attuale sezione di deflusso dando modo all'onda di piena di espandersi e laminarsi. E' da aspettarsi quindi che i dislivelli calcolati nel tratto terminale del Cavolto si riducano notevolmente al reale passaggio dell'onda, la cui simulazione potrà essere effettuata ad uno stato più avanzato di progettazione.

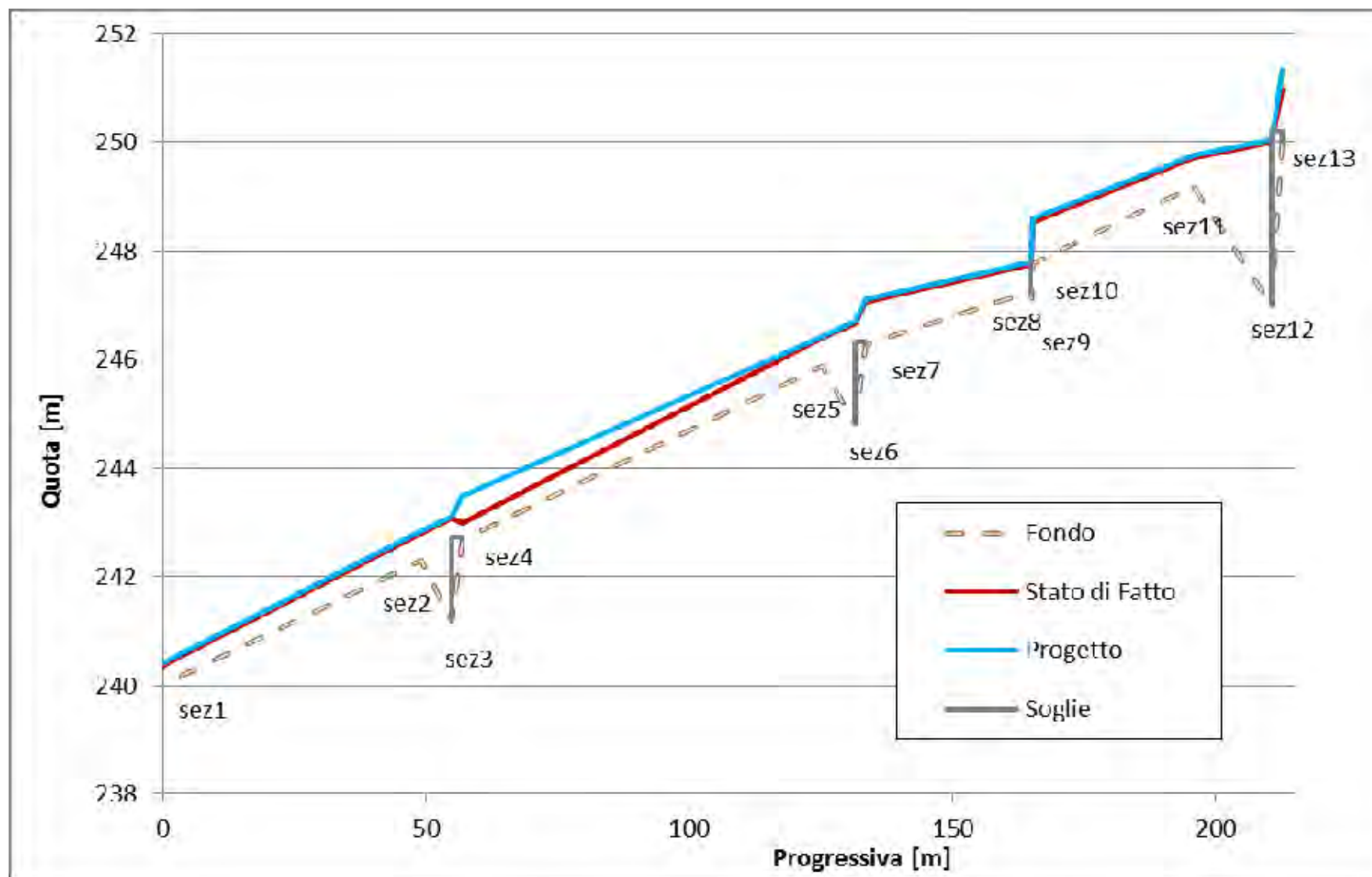


Figura 14 – Profili risultanti dalle simulazioni idrauliche effettuate con $Q(T_R=10 \text{ anni})$

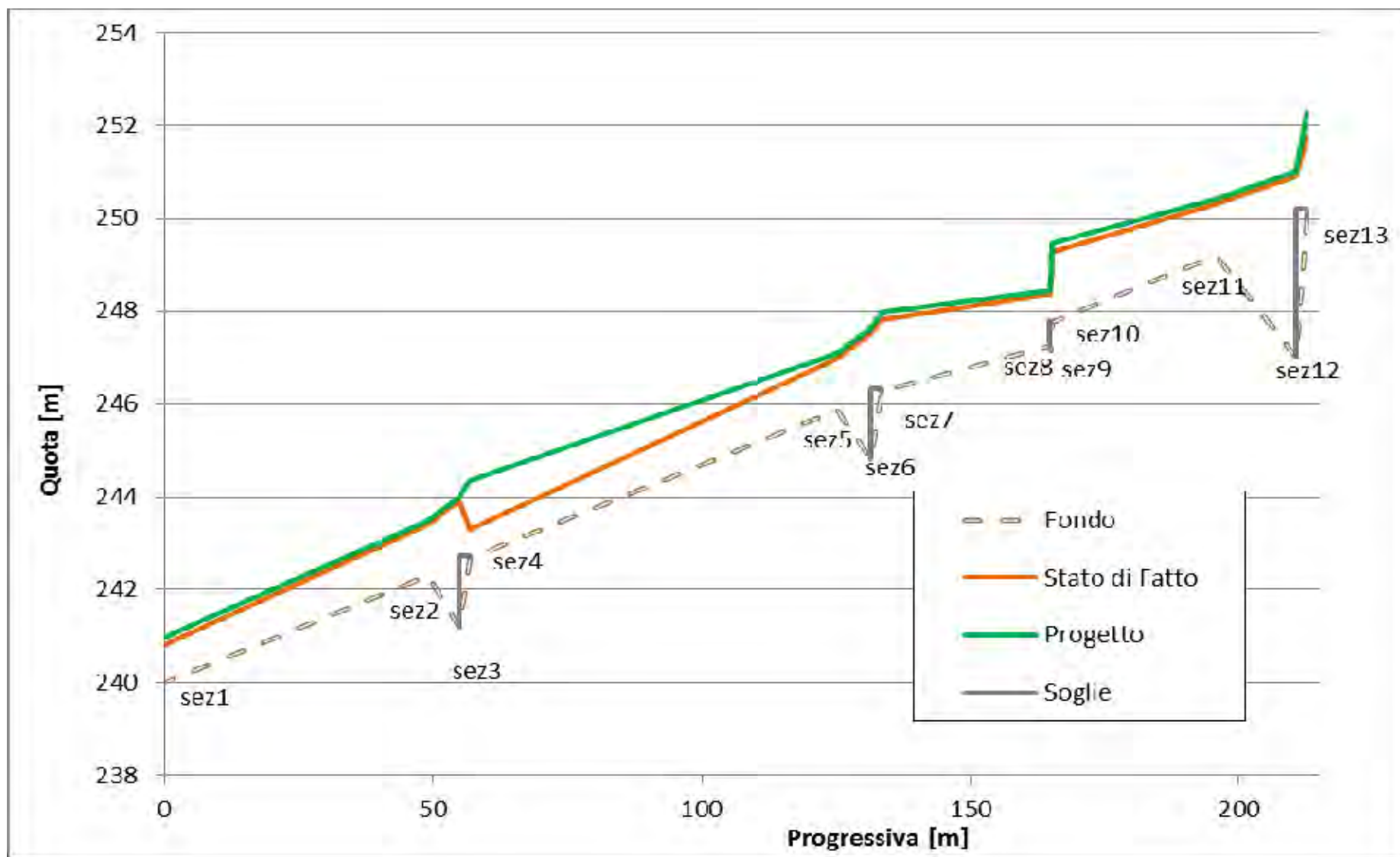


Figura 15 - Profili risultanti dalle simulazioni idrauliche effettuate con $Q(T_R=200 \text{ anni})$



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 Montevvecchia 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.

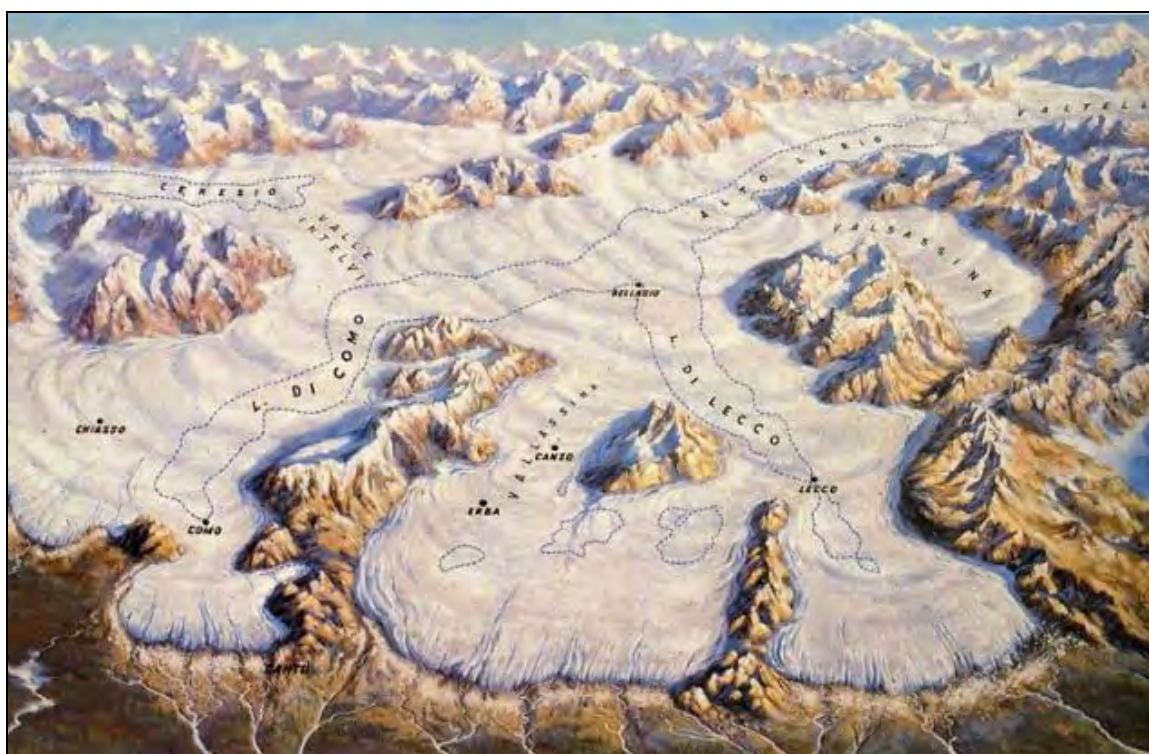


Figura 16: Rappresentazione grafica delle lingue glaciali del lago di Como, che nella parte meridionale hanno coinvolto e modellato anche la Brianza (Giorgio Acherman, Gruppo Naturalistico della Brianza)

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 rinvennero 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.

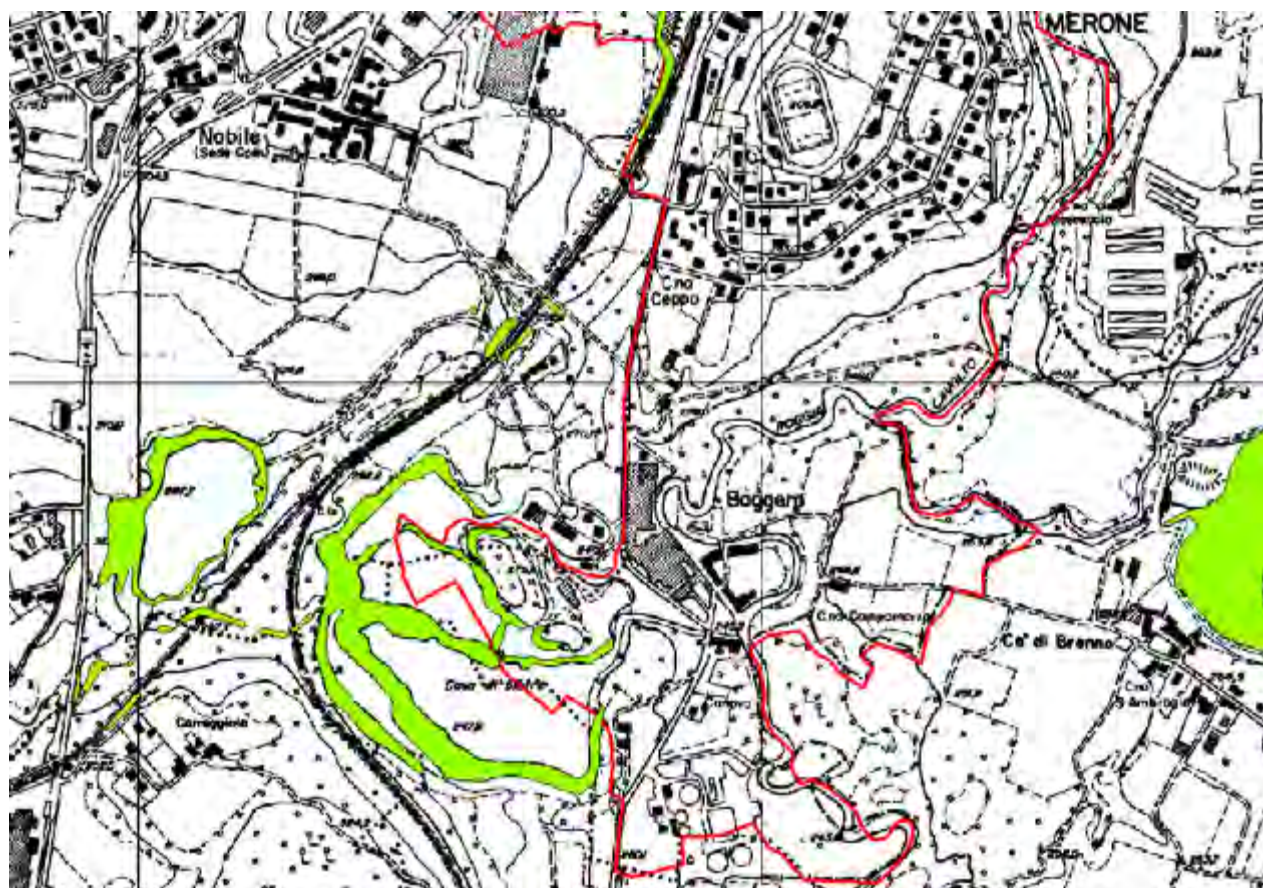


Figura 17 - Affioramenti litoidi secondo CARG – (verde: Scaglia, rosso: Fm. Pontida)

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 Cavolto, Brenno e delle aree più a sud presenta comunque giaciture molto più varie, ondulate, piegate e disturbate. Una prima struttura sinclinalica compare all'altezza di Brenno della Torre e una ad anticlinale evidente più a sud, all'altezza di Tabiago.

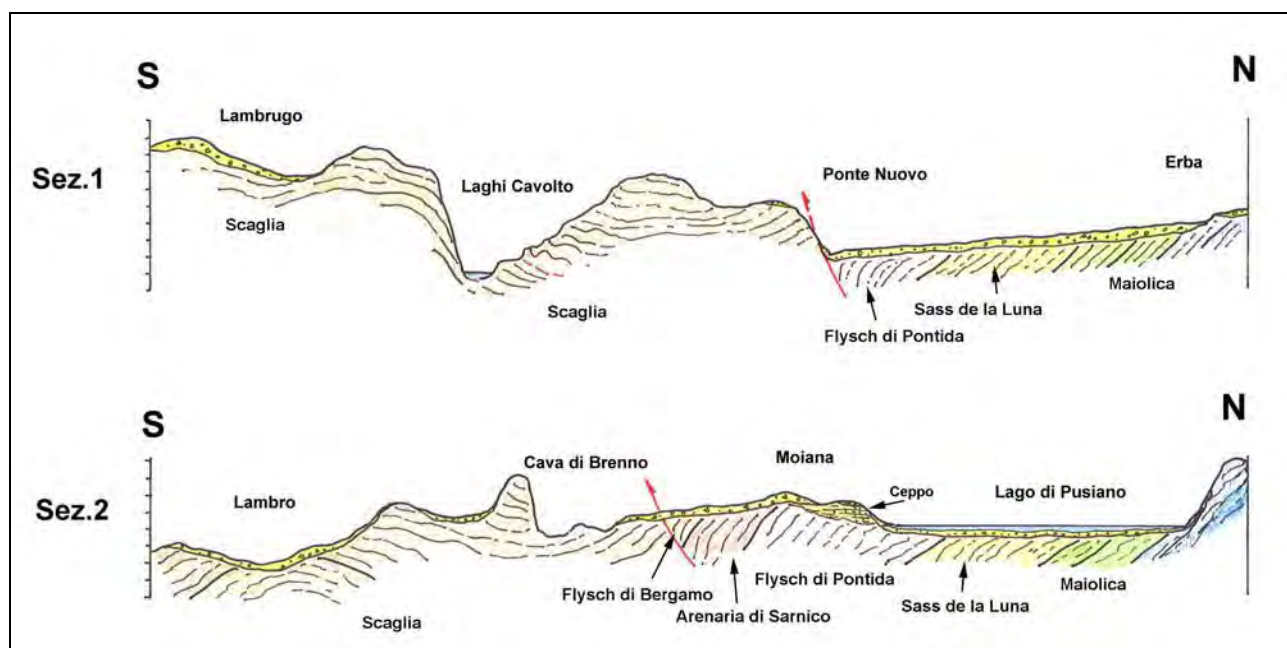


Figura 18 - Sezioni geologiche N-S



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.

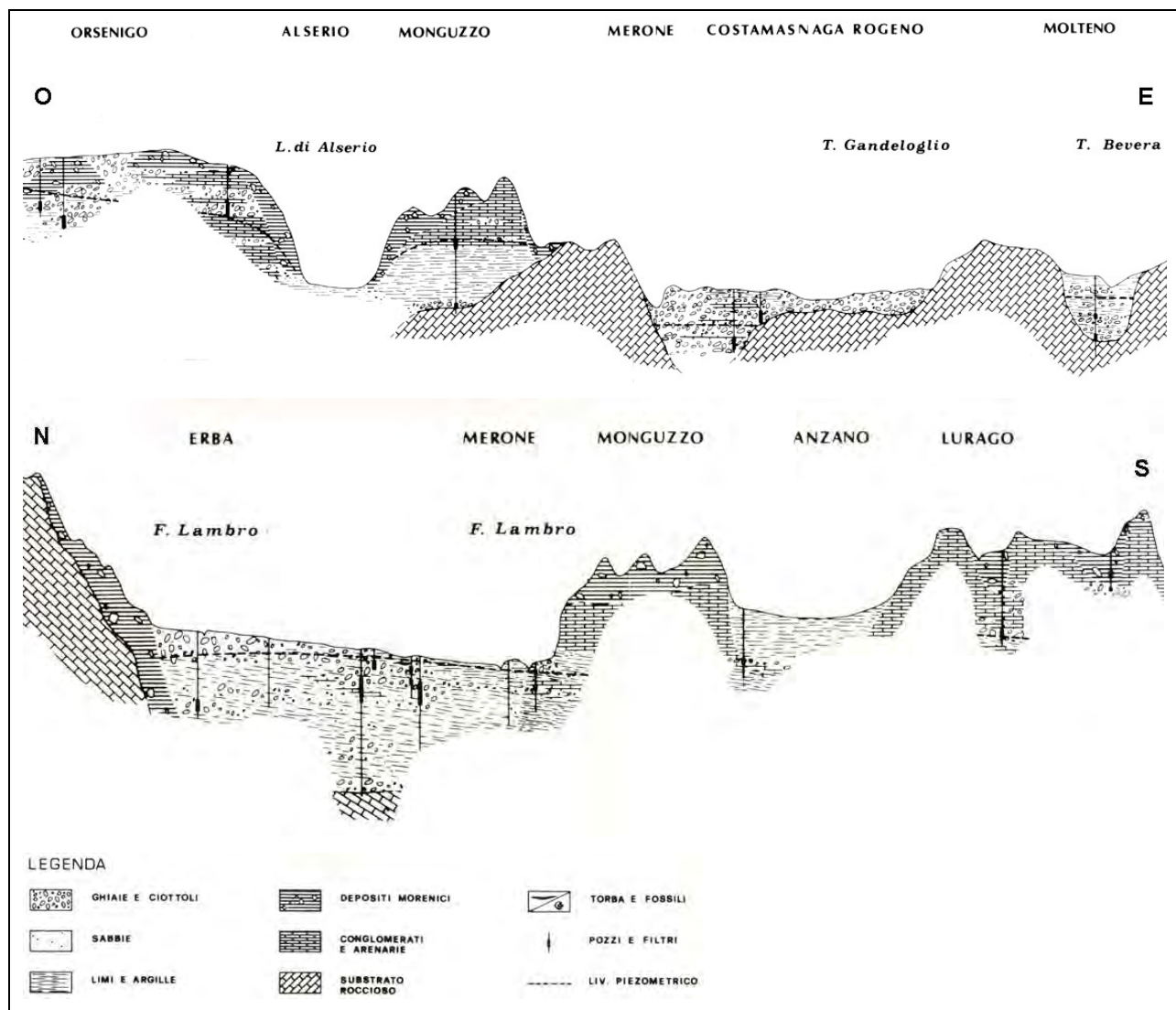


Figura 19 - Sezioni idrogeologiche E-O e N-S

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.

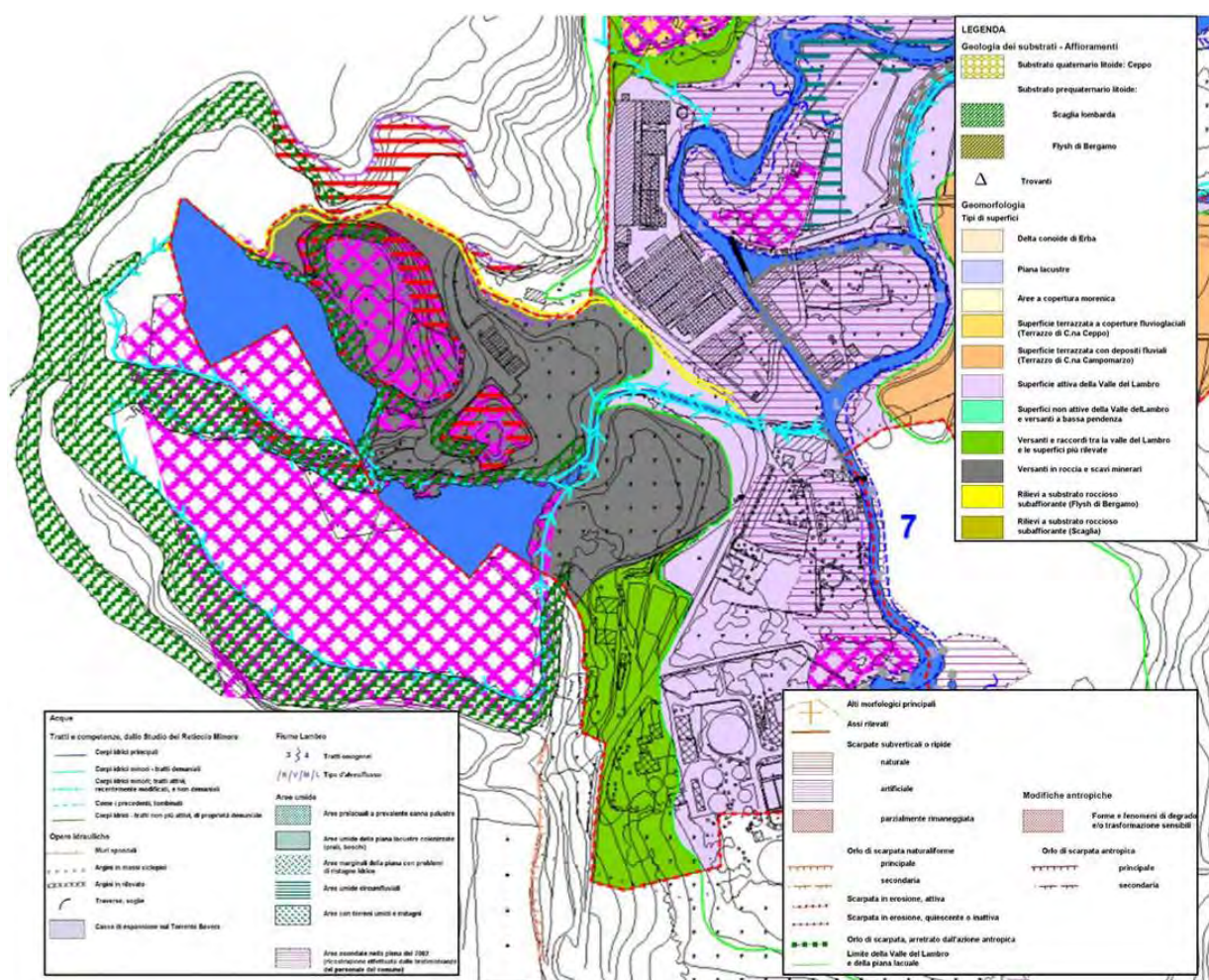


Figura 20 - Elementi geomorfologici principali nell'area di interesse

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.

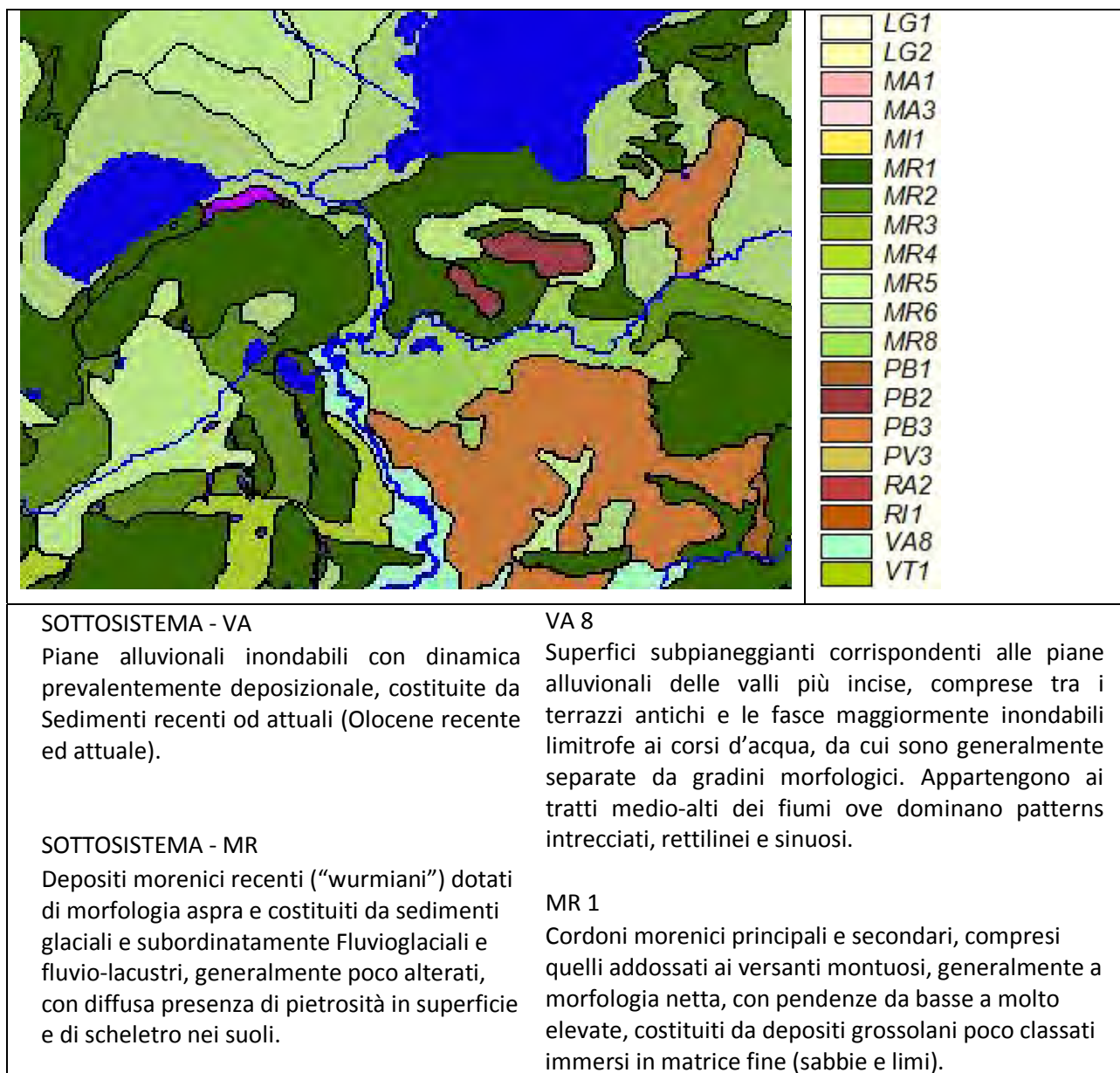


Figura 21 - Paesaggi e Unità di Paesaggio secondo ERSAF

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.

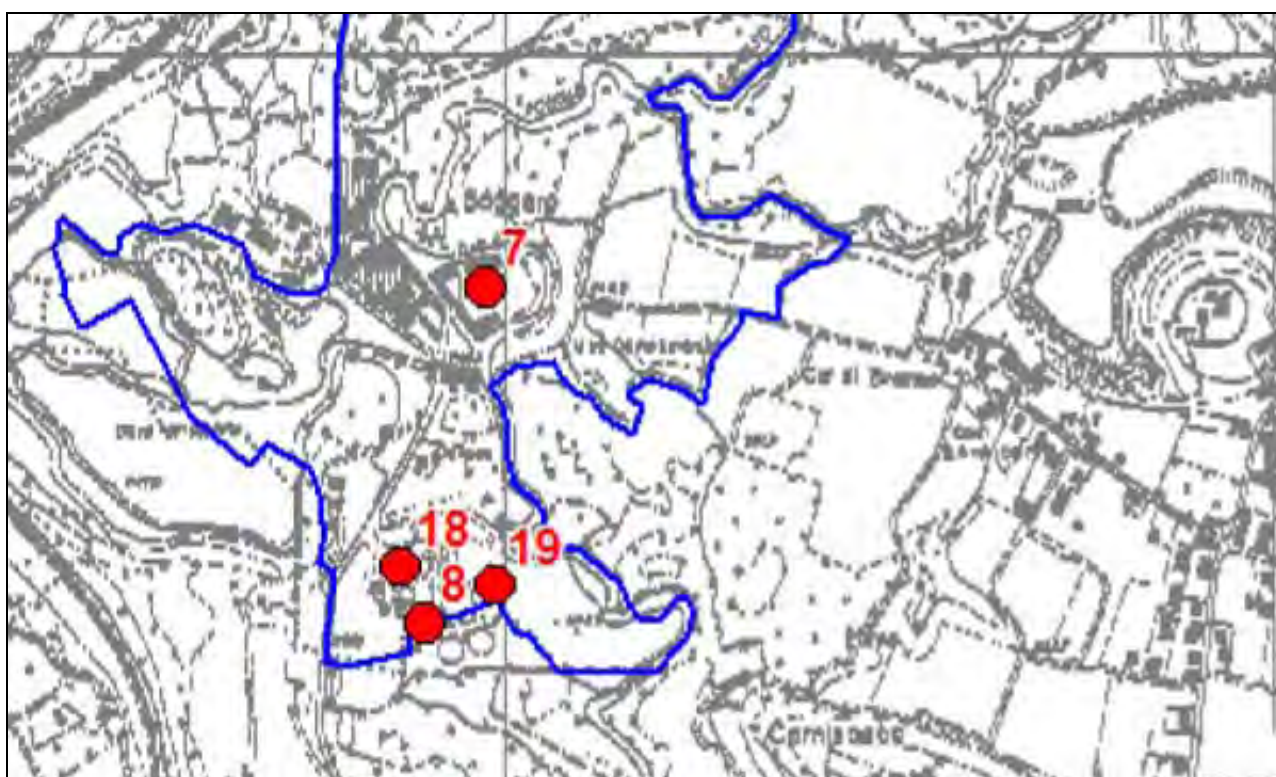


Figura 22 - Prove geotecniche nell'area di interesse

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°.

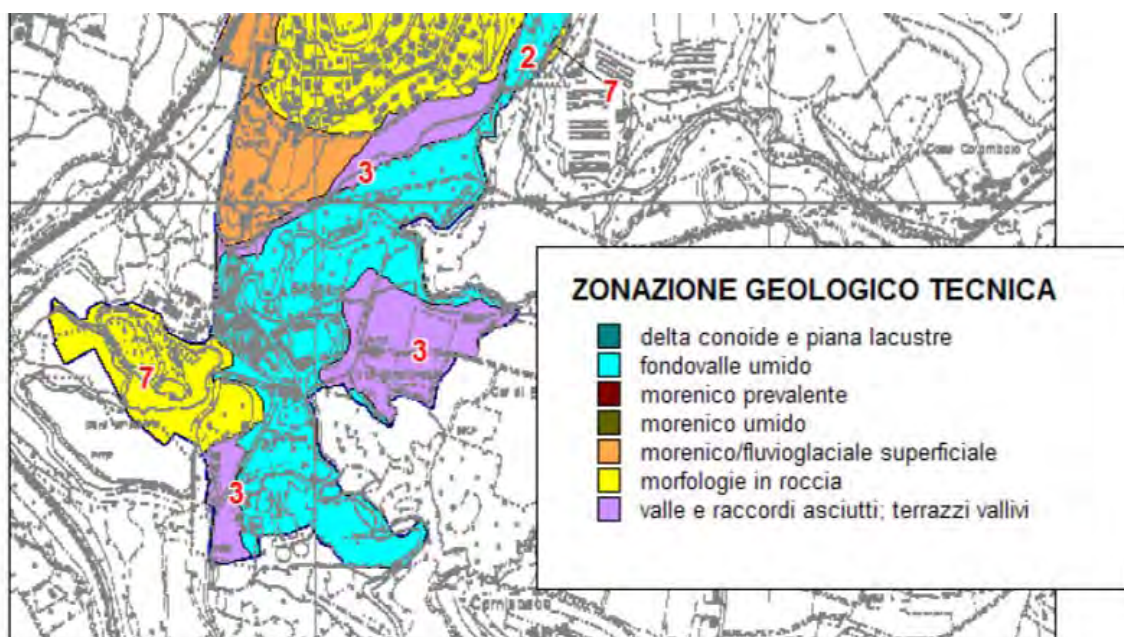


Figura 23 - suddivisione del territorio in aree con simili caratteri litologico tecnici del substrato

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	γ (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 7 - Caratteristiche geotecniche del terreno nell'area di interesse

Litologia e granulometria: argille e limi sovrastanti 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.

Il progettista

Ing. Daniele Giuffrè

Triuggio, Ottobre 2014