



PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO



REGIMAZIONE IDRAULICA NEL PARCO DELLE FONTANELLE A CARATE BRIANZA E VERANO BRIANZA

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

02 - RELAZIONE TECNICA

Il progettista

Ing. Daniele Giuffrè

Gruppo di lavoro

Ingg. Stefano Minà, Marco Pozzoli, Chiarangela Perego

Ingg. Chiara Vellani, Maria Teresa Olmeo

Triuggio, novembre 2018



Comune di
Verano Brianza



Comune di
Carate Brianza



INDICE

1. PREMESSA	2
2. ASPETTI IDROLOGICO-IDRAULICI	3
2.1 ANALISI IDROMORFOLOGICA DEL BACINO.....	4
2.2 MODELLO DI INFILTRAZIONE.....	8
2.3 PLUVIOMETRIA	10
2.4 MODELLAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI	12
2.5 RISULTATI OTTENUTI – STATO DI FATTO	15
2.6 RISULTATI OTTENUTI – STATO DI PROGETTO	17
3. ASPETTI GEOLOGICI	19
3.1 CENNI PALEOGEOGRAFICI.....	19
3.2 ELEMENTI GEOMORFOLOGICI	21
3.3 CARATTERI GEOLOGICI DELL’AREA	22
3.4 VALUTAZIONI MORFOLOGICHE	23
3.5 ELEMENTI PEDOLOGICI	24



1. PREMESSA

Il presente progetto di fattibilità economica illustra il ventaglio di soluzioni proposte per la risoluzione delle problematiche di dissesto idrologico che hanno luogo nell'area nordorientale del parco delle Fontanelle al confine tra i Comuni di Verano e Carate Brianza e che in occasione di fenomeni meteo di media e alta intensità danno luogo ad allagamenti della subsidente via Giuseppe Garibaldi in Comune di Verano Brianza con formazione di colate di fango e detriti.

Il progetto di fattibilità tecnica economica si conforma alla bozza (aggiornamento maggio 2018) del Decreto MIT sui livelli di progettazione attuativo dell'art. 23 comma 2 del Codice Appalti d. lgs. 50/2016 ed in particolare sarà composto da:

1. Relazione generale;
2. Relazione tecnica;
3. Studio di fattibilità ambientale e paesaggistica;
4. Calcolo sommario della spesa e quadro economico di progetto;
5. Piano particellare preliminare;
6. Prime indicazioni e misure per la stesura dei piani di sicurezza;
7. Elaborati grafici.

All'interno della presente relazione vengono discussi gli aspetti tecnici, di natura principalmente idraulica e geologica, connessi alla progettazione dell'intervento di sistemazione idraulico-forestale del Parco delle Fontanelle, secondo le alternative prese in considerazione, con un livello di approfondimento consono a un progetto di fattibilità tecnica ed economica, ai sensi dell'art. 23 c.2 del Codice Appalti d. lgs. 50/2016.

Nello specifico, verranno trattati i seguenti argomenti:

- Aspetti idrologici e Idraulici:
 - Analisi idromorfologica del bacino;
 - Modellazione dello stato di fatto;
 - Modellazione dello stato di progetto;
- Aspetti geologici.



2. ASPETTI IDROLOGICO-IDRAULICI

Gli interventi di sistemazione del Parco delle Fontanelle hanno origine, principalmente da una motivazione di natura idraulica: la conformazione orografica dell'area fa sì infatti che le acque provenienti da tutta la superficie del Parco, nonché da parte del cimitero di Carate Brianza e della zona di via Masera e via Fontanelle, defluiscano verso l'accesso del Parco dal lato di via Garibaldi. In corrispondenza di tale sezione di chiusura è stata realizzata una griglia di intercettazione in acciaio (Figura 1) in cui confluisce la roggia di drenaggio del parco, e da cui si dipana un tubo di collettamento (ϕ 200) che a sua volta si immette in un collettore di acque meteoriche di dimensioni maggiori (ϕ 300/400) in corrispondenza di un pozzetto posto circa 30 m più valle, lungo il ciglio di via Garibaldi (Figura 2). Da lì l'acqua viene regolarmente trasportata lungo via Garibaldi fino a scaricare nel fiume Lambro, circa 110 m più a valle.

La criticità idraulica è naturalmente il vincolo costituito dal primo tubo di collettamento, le cui potenzialità di deflusso risultano insufficienti a smaltire le portate in arrivo dal bacino di monte anche in corrispondenza eventi di precipitazione significativi. La situazione è ulteriormente aggravata dallo stato della griglia di intercettazione, facilmente intasabile da foglie, rami o altro materiale di dilavamento proveniente monte, che può portare a originare deflusso anche per piogge modeste. Il risultato è lo spagliamento dei deflussi provenienti dal Parco lungo la via Garibaldi, creando una lama d'acqua (spesso caratterizzata da una quantità di trasporto solido non indifferente) lungo la strada in direzione del ponte di Agliate, con conseguenti disagi di tipo logistico e urbano.



Figura 1: griglia di intercettazione



Figura 2: caditoia con pozzetto nei pressi di via Garibaldi

2.1 ANALISI IDROMORFOLOGICA DEL BACINO

La delimitazione del bacino afferente a una determinata sezione di chiusura e la conseguente determinazione delle sue caratteristiche fisiche d'interesse costituisce il punto di partenza di uno studio idrologico atto a determinare, attraverso la modellazione afflussi/deflussi, l'evento critico di precipitazione che generi la risposta maggiormente severa in termini di portata di picco o volume complessivo dell'idrogramma risultante che risulta non smaltibile dall'attuale sistema di drenaggio.

Questa fase del lavoro è stata realizzata mediante il supporto del software QGIS, a partire dal Digital Elevation Model (DEM), ottenuto con tecnologia LIDAR ad alta risoluzione (1 m), fornito da Regione Lombardia.

Il bacino originario, chiuso alla griglia di intercettazione, viene mostrato in Figura 3 e mostrava le seguenti caratteristiche (Tabella 1):

	A_{bac} [m ²]	$Z_{\text{min bac}}$ [m slm]	$Z_{\text{max bac}}$ [m slm]	$Z_{\text{mean bac}}$ [m slm]	$SI_{\text{mean bac}}$ [%]	L_{AP} [m]	$Z_{\text{min AP}}$ [m slm]	$Z_{\text{max AP}}$ [m slm]	$Z_{\text{mean AP}}$ [m slm]	$SI_{\text{mean AP}}$ [%]
Bacino Originario	66300	229.45	263.78	252.71	14.4%	153.3	229.45	242.93	236.88	8.8%

Tabella 1: parametri geomorfometrici del bacino

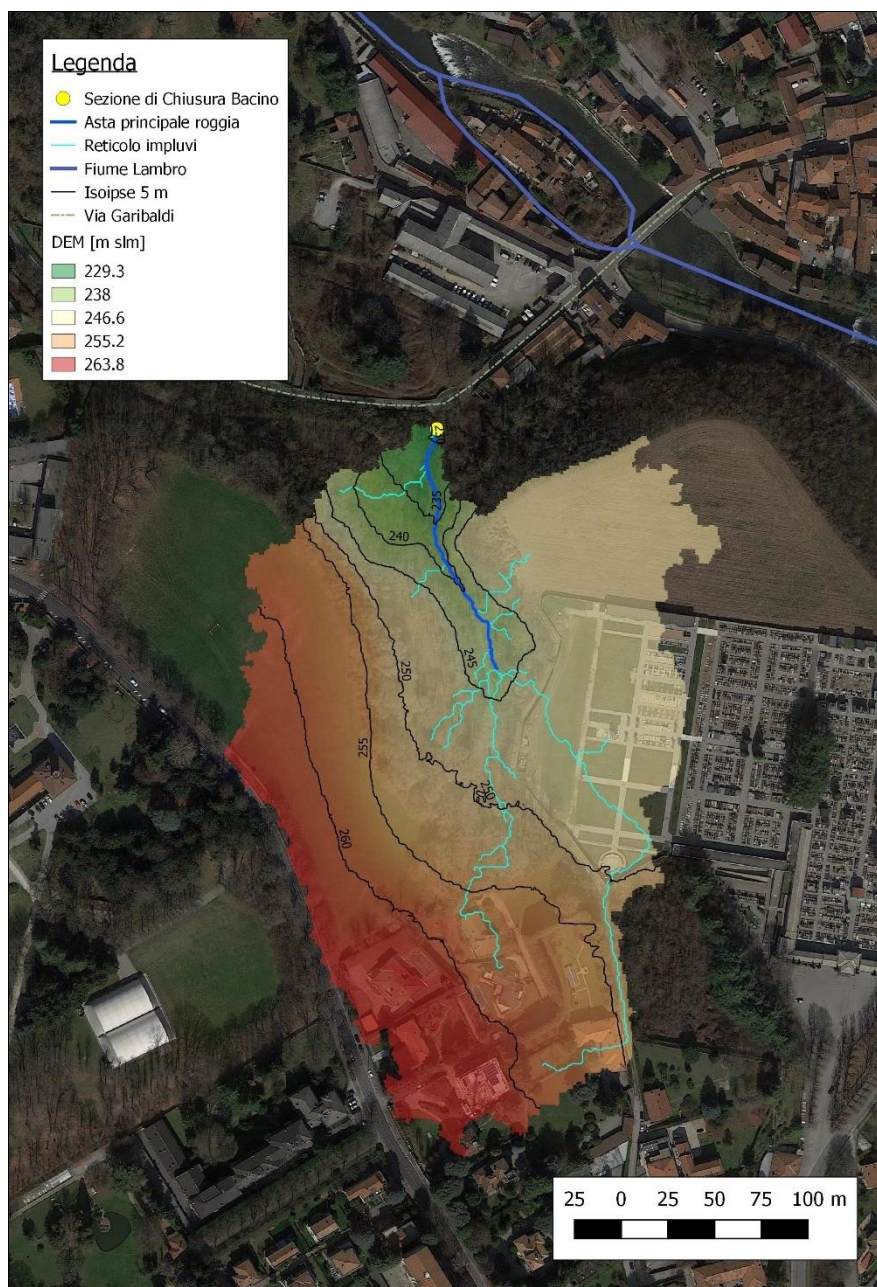


Figura 3: andamento altimetrico del bacino

Il bacino ritagliato direttamente dal DEM offre alcune importanti considerazioni, quali l'elevatissima pendenza media dell'area, piuttosto inusuale per una zona al più considerabile come pedemontana, e la presenza di un paio di incongruenze, confermate dai sopralluoghi effettuati in loco:

- la zona “nuova” del cimitero, completamente delimitata da un muro, afferisce effettivamente alla sezione di chiusura, ovviamente non in maniera diffusa ma tramite uno collettore che, dopo aver raccolto le acque meteoriche del piazzale, scarica all'interno del Parco, in prossimità della testa dell'asta principale.



- L'area a nord-ovest del bacino, delle dimensioni di circa un ettaro, pare confluire alla griglia attraverso un piccolo impluvio, impossibile da cogliere alla risoluzione del DEM ma visibile a occhio nudo.

Volendo correggere queste due imperfezioni del modello originario, nonché suddividere il bacino in diversi sottobacini per una più accurata modellazione del processo di afflussi e deflussi, si è giunti alla delineazione del bacino presentata di seguito (Figura 4).

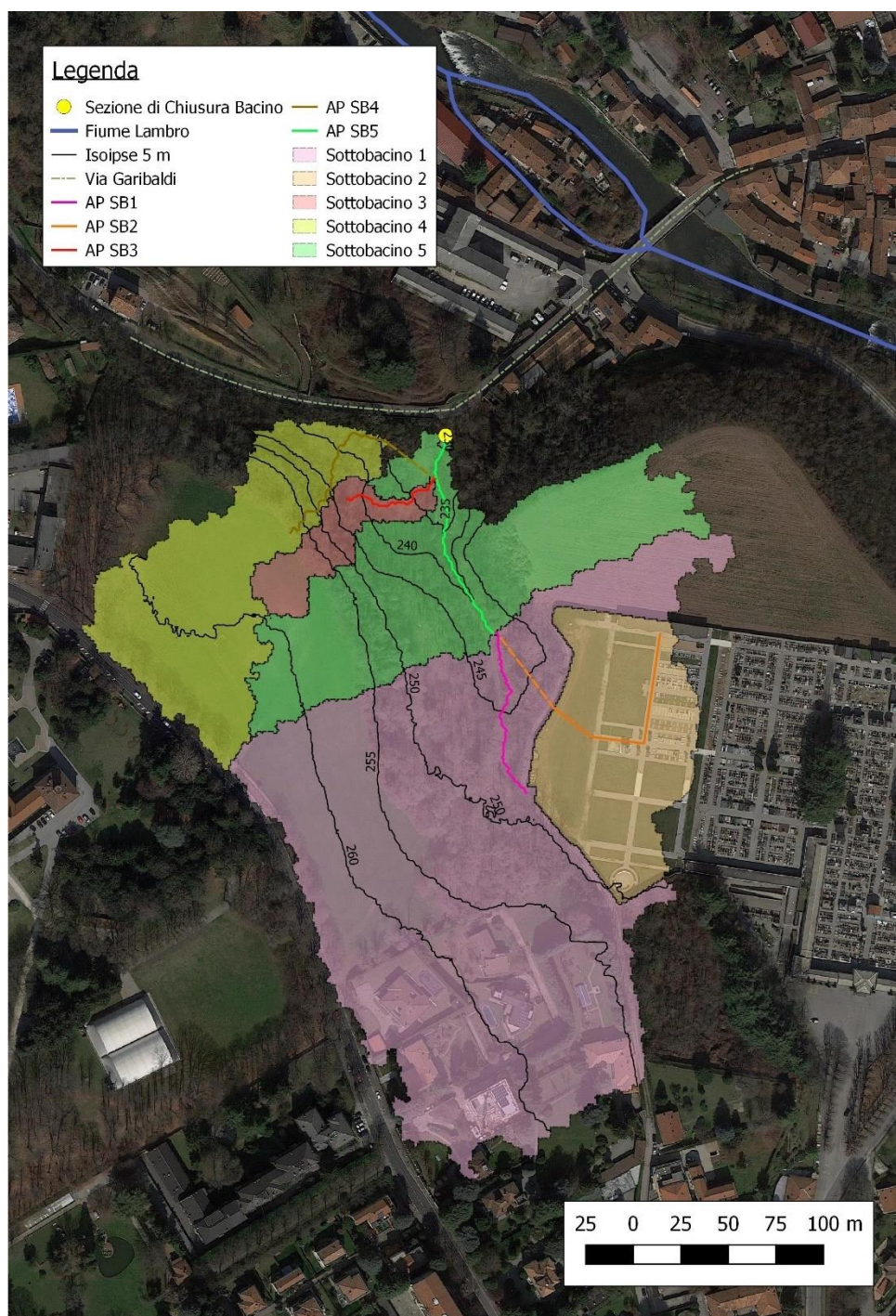


Figura 4: suddivisione in sottobacini



Le proprietà dei singoli sottobacini sono elencate in Tabella 2:

	A_{bac} [m ²]	$Z_{min\ bac}$ [m slm]	$Z_{max\ bac}$ [m slm]	$Z_{mean\ bac}$ [m slm]	$Sl_{mean\ bac}$ [%]	L_{AP} [m]	$Z_{min\ AP}$ [m slm]	$Z_{max\ AP}$ [m slm]	$Z_{mean\ AP}$ [m slm]	$Sl_{mean\ AP}$ [%]
<i>Sottobacino 1</i>	39313	241.56	263.78	255.58	14.1%	102.3	241.56	248.18	244.86	10.5%
<i>Sottobacino 2</i>	9373	247.47	250.43	248.45	4.3%	110.8	247.55	248.62	248.27	3.1%
<i>Sottobacino 3</i>	2501	232.02	259.95	249.28	26.9%	61.8	232.02	242.34	236.62	19.6%
<i>Sottobacino 4</i>	11414	234.24	263.97	257.07	15.0%	99.2	234.24	256.84	244.24	29.2%
<i>Sottobacino 5</i>	15116	229.41	261.47	248.46	19.4%	124.5	229.41	241.56	235.61	18.7%

Tabella 2: proprietà geomorfometriche dei sottobacini

Per il calcolo del tempo di corrivazione sono state utilizzate, tra le formule note in letteratura, quelle ricavate dall'analisi di piccoli bacini montuosi, assimilabili al caso in esame viste le sue elevate pendenze, facendo la media dei risultati ottenuti (risultati in Tabella 3):

- Formula di Pezzoli:
$$t_{PEZ}[h] = 0.055 \frac{L_{AP}[km]}{\sqrt{Sl_{AP}[\frac{m}{m}]}}$$
- Formula di Pasini:
$$t_{PAS}[h] = 0.108 \frac{(A_{BAC}[km^2]L_{AP}[km])^{1/3}}{0.8 \sqrt{Sl_{AP}[\frac{m}{m}]}}$$
- Formula di Ventura:
$$t_{VEN}[h] = 0.1272 \sqrt{\frac{A_{BAC}[km^2]}{Sl_{AP}[\frac{m}{m}]}}$$
- Formula di Viparelli:
$$t_{VIP}[h] = \frac{L_{AP}[km]}{3.6v_{AP}[\frac{m}{s}]}$$

Dove L_{AP} è la lunghezza dell'asta principale (essendo sottobacini privi di un corso d'acqua perenne, si sono considerate le tracce dei relativi impluvi), Sl_{AP} la pendenza dell'asta principale, A_{BAC} l'area del (sotto)bacino, v_{AP} la velocità dell'acqua all'interno dell'asta, considerata pari a 2 m/s.

Prevedibilmente, i sottobacini individuati presentano dei tempi di corrivazione molto brevi (pochi minuti), in linea con il comportamento di un piccolo bacino montano molto acclive.



	t_c [h]				t_c [min]	
	Pezzoli	Viparelli	Pasini	Ventura	media	
<i>Sottobacino 1</i>	0.017	0.051	0.066	0.078	0.0531	3.2
<i>Sottobacino 2</i>	0.035	0.055	0.078	0.070	0.0594	3.6
<i>Sottobacino 3</i>	0.008	0.031	0.016	0.014	0.0173	1.0
<i>Sottobacino 4</i>	0.010	0.050	0.026	0.025	0.0277	1.7
<i>Sottobacino 5</i>	0.016	0.062	0.039	0.036	0.0382	2.3

Tabella 3: tempi di corrivazione per i diversi sottobacini

2.2 MODELLO DI INFILTRAZIONE

Il successivo passo verso la costruzione di un modello afflussi – deflussi è la definizione di un modello di perdite idrologiche. In questo, per la sua semplicità applicativa unita ad un maggiore livello di dettaglio rispetto alla semplice applicazione di un coefficiente di afflusso, si applica il metodo SCS – Curve Number (sviluppato dal Soil Conservation Service, United States Department of Agriculture).

Tale metodologia semi-empirica lega il coefficiente di afflusso della pioggia in maniera non lineare alla sua durata, sulla base di due relazioni fondanti:

- continuità. L'altezza di pioggia lorda (I) viene bilanciata nel modello dalla somma di imbibimento iniziale (I_a), infiltrazione (F) e deflusso superficiale (P), tutte espresse in mm:

$$I = I_a + F + P ;$$

- “moto”. In realtà è un'equazione empirica di proporzionalità, che stabilisce che il deflusso superficiale sta alla precipitazione lorda, depurata dell'imbibimento iniziale, come la quantità di acqua filtrata sta al potenziale di ritenzione idrica del terreno (S):

$$\frac{P}{I - I_a} = \frac{F}{S} ;$$

Combinando le due equazioni, si ottiene l'altezza di pioggia netta in funzione di quella lorda:



$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

Dal momento che, in genere, si considera l'imbibimento iniziale come una quota parte di S (in mancanza di dati precisi sui tassi di infiltrazione si può assumere, per aree non significativamente urbanizzate, $I_a = 0.2S$), il potenziale di ritenzione del terreno rimane l'unico parametro da stabilire all'interno del modello. Lo si ottiene attraverso la seguente formula:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

dove S_0 è il massimo potenziale di ritenzione idrica di un terreno, pari a 254 mm, e CN è il Curve Number, un indice empirico che, sulla base delle caratteristiche geologiche e di uso del suolo, definisce il grado di rifiuto del terreno nei confronti della pioggia in ingresso. È compreso tra 1, infiltrazione massima, e 100, deflusso massimo (Figura 5: Valori standard del Curve Number).

Valori del parametro CN (adimensionale)	← Tipo idrologico Suolo →			
↓ Tipologia di Uso del Territorio	A	B	C	D
Coltivazioni, in presenza di pratiche di conservazione del suolo	62	71	78	81
Coltivazioni, in assenza di pratiche di conservazione del suolo	72	81	88	91
Terreno da pascolo: cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco	45	66	77	83
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco	25	55	70	77
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade,	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Figura 5: Valori standard del Curve Number

Per valutare il CN, dapprima si stabilisce una classe idrologica per il bacino, sulla base delle informazioni ottenute dalla carta geologica (si va da A – suoli più drenanti - a D – suoli più impermeabili, Figura 6), calcolando poi il valore del Curve Number complessivo come media pesata dei singoli valori assegnati alle varie aree a seconda destinazione d'uso del rispettivo suolo. Il risultato così ottenuto è il cosiddetto CN_{II}, o



CN medio, a sua volta modificabile, a seconda delle condizioni di imbibimento iniziale del terreno, attraverso alcune relazioni empiriche (Figura 7).

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Figura 6: Classi idrologiche secondo il metodo del Curve Number

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)}$$
$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

Figura 7: Formule per l'adattamento all'imbibimento reale del terreno

Considerando le informazioni geologiche contenute all'interno del PGT, nonché la tipologia di copertura piuttosto omogenea di tutti i sottobacini presenti, si è deciso, in prima approssimazione, di assegnare a ciascuno di essi una classe idrologica di suolo di tipo B e la voce "spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50% e il 75% dell'area, corrispondente a un valore di CN_{II} pari a 69. Le condizioni di imbibimento "medio" vengono assunte come quelle di progetto, ritenendo quelle di imbibimento massimo eccessivamente severe (risulterebbe un valore di Curve Number pari a 84), anche alla luce dell'elevato tempo di ritorno considerato per definire la precipitazione (par. successivo).

2.3 PLUVIOMETRIA

Per il presente progetto preliminare, si è adottato uno ietogramma costante, costruendo le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP) sulla base dei parametri forniti dal Servizio Idrografico di ARPA Lombardia, ottenuti durante il progetto STRADA e in continuo aggiornamento. Una LSPP fornisce l'altezza di pioggia cumulata ($h(d)$) al variare della durata (d) di un evento di precipitazione, fissato il suo tempo di ritorno (T). La formula è la seguente:

$$h(T, D) = a_1 w_T d^n$$



dove a_1 , [mm/hⁿ], è il valore atteso per la pioggia di durata 1 h dell'evento medio, w_T [/] è il fattore di crescita in frequenza, distribuito secondo la funzione GEV e funzione del tempo di ritorno dell'evento, e d [h] è la durata dell'evento. I parametri sopracitati assumono questi valori per l'area di interesse, considerando un tempo di ritorno di progetto T pari a 100 anni (Tabella 4):

a_1	n	α	k	ε	w_T
31.82	0.3126	0.2937	-0.0096	0.8275	2.209

Tabella 4: parametri della LSPP locale

La LSPP risultante per l'intervallo 1 – 24 ore è la seguente (Figura 8):

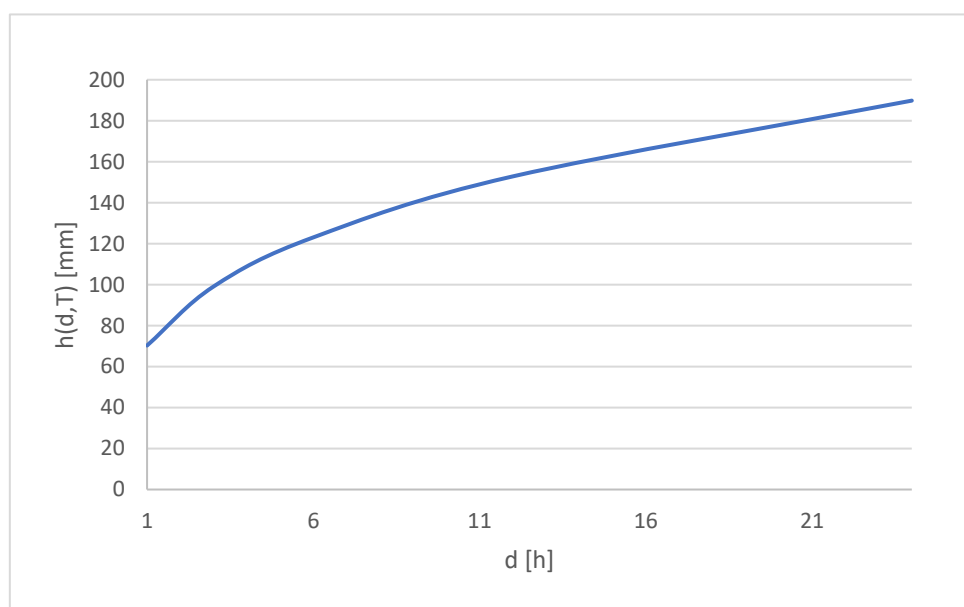


Figura 8: Andamento della LSPP

Attraverso la curva soprastante, sono stati analizzati eventi di precipitazione a diverse durate al fine di individuare quelli maggiormente critici dal punto di vista della portata di picco e del volume complessivo di piena. In tal senso, un ulteriore problema nasce dall'inapplicabilità di tale curva alle durate inferiori all'ora, necessarie da analizzare nel presente caso vista la durata molto ridotta dei tempi di corrivazione (pochi minuti). La questione è stata risolta adottando la metologia presentata nel testo "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani), in cui vengono forniti una serie di coefficienti riduttivi da applicare alla precipitazione oraria per ottenere i corrispondenti valori per durate inferiori. Tali valori sono elencati in Figura 9, e provengono dai dati ottenuti dal pluviografo di Milano Monviso (1990, 17 anni di osservazioni).

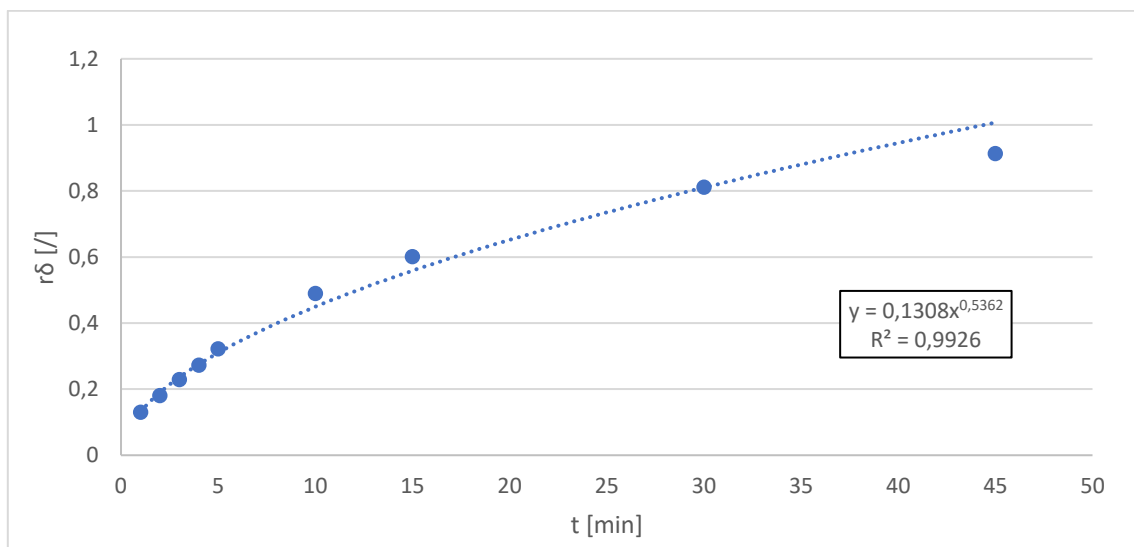


Figura 9: dati ottenuti dal pluviografo di Milano Monviso

2.4 MODELLAZIONE AFFLUSSI – DEFLUSSI

Una volta definite le caratteristiche idromorfologiche, il modello di infiltrazione e lo ietogramma di piena, è possibile scegliere una tipologia IUH (Instantaneous Unit Hydrograph, o Idrogramma Unitaria Istantaneo) e realizzare la modellazione afflussi – deflussi del bacino secondo un modello definito “semidistribuito”, in cui il bacino complessivo viene suddiviso in una serie di sottobacini a loro volta considerati come concentrati.

Nel caso specifico, si è optato per l'idrogramma di Clark, un modello che offre una risposta che tiene conto sia dei fenomeni corrivativi, sia di quelli diffusivi che generalmente si sviluppano all'interno di un bacino idrografico durante un evento di precipitazione. L'idrogramma di Clark è funzione di due parametri, ciascuno relativo a uno dei due processi fisici fondamentali simulati durante l'analisi di risposta:

- il tempo di corrivazione del bacino t_c , in ore, calcolato secondo le formule descritte nel paragrafo 2.1;
- Il coefficiente di immagazzinamento R , in ore, con valenza analoga rispetto al parametro k del modello del serbatoio lineare, e definisce dunque il ritardo medio del deflusso in uscita, relativo a un ingresso impulsivo, per un modello di piena diffusivo, in cui cioè il bacino idrografico viene considerato alla stregua di un invaso di laminazione lineare. Per questo parametro è stata utilizzata una formula proposta dall'USGS per piccoli bacini Rurali:

$$R = 16.4L^{0.342}S^{-0.79} \quad \text{Straub et al. (2000)}$$

Dove L rappresenta la lunghezza dell'asta principale, in miglia, S la pendenza dell'asta principale, in ft/mi. I valori così ottenuti per il coefficiente di immagazzinamento (anche questi prevedibilmente bassi) sono riportati in Tabella 5:



	R [h]
Sottobacino 1	0.354
Sottobacino 2	0.268
Sottobacino 3	0.722
Sottobacino 4	0.138
Sottobacino 5	0.118

Tabella 5: coefficienti di immagazzinamento per i 5 sottobacini

Con la scelta dell'idrogramma di piena, si hanno ora tutti gli elementi necessari a implementare il modello numerico della modellazione afflussi – deflussi. Per fare ciò, si è utilizzato il software Hec – HMS, di proprietà dell'USGS (United States Geological Survey).

HEC-HMS è un software che produce in output idrogrammi di piena, una volta ricevute come input una serie di informazioni. In particolare, il programma è costituito dalle seguenti sezioni:

- a. Basin Model. Contiene tutti i dati relativi alla rappresentazione fisica del bacino, quali:
 - a.1. *Elementi del bacino*: sottobacini, tratti di canale, confluenze, invasi, etc;
 - a.2. *Perdite di bacino*: scelta del modello di infiltrazione nel terreno per ciascun sottobacino;
 - a.3. *IUH*: scelta del tipo di risposta idrologica da associare a ciascun sottobacino;
 - a.4. *Deflusso a pelo libero*: scelta del modello di trasporto delle acque all'interno dei tratti di canale.

È stata importata nel modello la rete dei sottobacini descritta al paragrafo 2.1 (Figura 10), mentre la roggia esistente è stata modellata come un elemento *Reach* (canale), utilizzato per trasportare l'onda di piena dei due sottobacini situati maggiormente a monte (SB1 e SB2) alla sezione di chiusura. Per fare ciò, è stato adottato il modello di Muskingum, basato sul semplice approccio di conservazione della massa per la propagazione dell'onda lungo il corso d'acqua, nell'ipotesi di linearità della relazione tra volume invasato e portata uscente lungo il tratto. 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 = massima attenuazione e 0.5 = non attenuazione), assunto pari 0.5 a favore di sicurezza. In **Error! Reference source not found.** sono riportati i parametri in ingresso per il metodo di Muskingum:



CANALE	L _{ASTA PR.} [km]	K [h]	X [l]
Reach1	0.15	0.021	0.5

Tabella 6: parametri per il metodo di Muskingum

Scelto il metodo SCS-CN in condizione media (II) con i valori indicati in **Error! Reference source not found.**, per valutare le perdite di bacino rimane da assegnare una tipologia di risposta idrologica, o idrogramma unitario istantaneo (IUH). Si è optato dunque per adottare l'IUH (acronimo di Idrogramma Unitario Istantaneo) di Clark per ciascuno dei sottobacini.

- b. Meteorologic Model e Times Series Data. Insieme, forniscono il modello di precipitazione lorda adottato in ingresso a ciascun sottobacino della schematizzazione. Come affermato in precedenza, si è optato per un evento di precipitazione con ietogramma di tipo costante uguale per tutti i sottobacini dell'area in esame, ricavato dalla LSPP ricavata con i parametri di ARPA Lombardia per un tempo di ritorno pari a 100 anni, la cui durata è stata fatta variare da un minimo di 20' a un massimo di 24 ore.
- c. Control specifications. Componente che gestisce la durata della simulazione, da calibrare in relazione alla durata critica dell'evento meteorologico.
- d. Paired data. Sezione che permette di implementare diverse relazioni tra due variabili d'interesse, nel caso specifico è stata utilizzata per definire:
 - a) la legge di efflusso del tubo di collettamento di valle a partire dalla griglia, definita per semplicità costante e pari alla portata transitabile all'interno del tubo nella condizione limite di pelo libero, ossia con la sezione interamente bagnata ma in assenza di battente. Si adotta dunque l'equazione di Chezy:

$$Q = k_S \sqrt{i} A R^{2/3}$$

Dove k_S è il coefficiente di scabrezza di Gauckler e Strickler, considerato, per lo stato di fatto, pari a $80 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ per un tubo in PVC vecchio e privo di regolare manutenzione; i è la pendenza del tubo, in m/m, pari a circa 0.08; A è l'area della sezione bagnata, in m^2 , e R è il raggio idraulico, in m. Con questi valori, la portata massima transitabile all'interno del tubo è pari a circa $0.096 \text{ m}^3/\text{s}$. In condizioni di progetto, il tubo considerato è quello che parte dal pozzetto ancora più a valle, che si ipotizza essere, conservativamente, un tubo in calcestruzzo di 300 mm di diametro. Assegnando un valore del

- b) la relazione altezza/area dell'elemento serbatoio (fittizio), utilizzato per modellare la griglia e il successivo collettamento da parte del tubo: tutta la volumetria invasata, che il tubo non riesce cioè



a smaltire in tempo reale, rappresenterà ovviamente il volume d'acqua che andrà a spagliarsi lungo via Garibaldi.

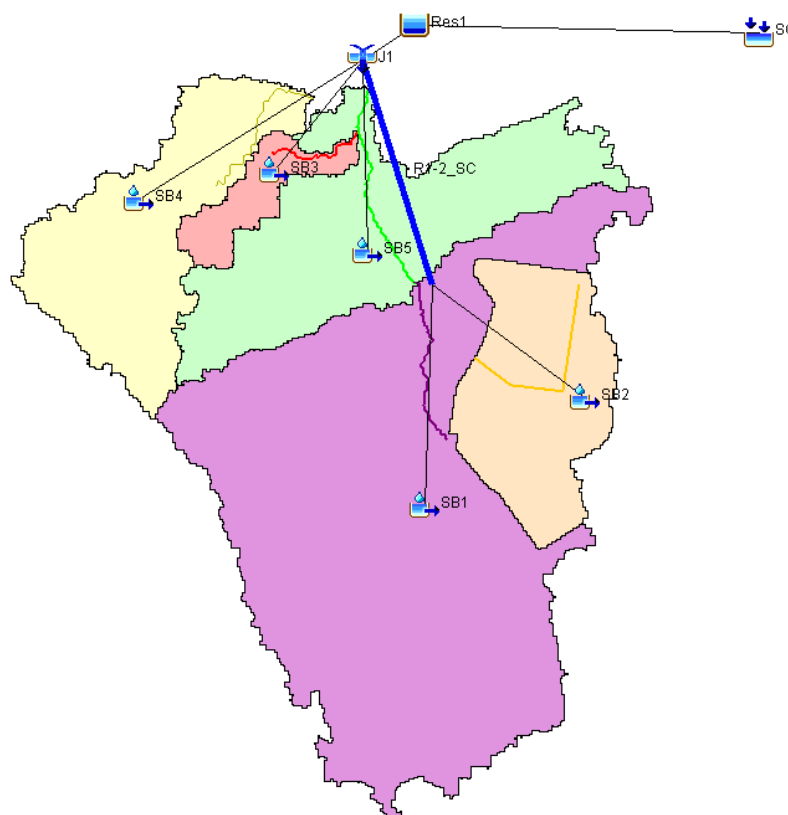


Figura 10: schematizzazione del modello numerico afflussi - deflussi in Hec-HMS

2.5 RISULTATI OTTENUTI – STATO DI FATTO

Come anticipato nel paragrafo 2.1, la presente analisi si è posta l'obiettivo di individuare l'evento critico per il bacino in esame, in primo luogo in termini di portata di picco e, a seguire, di volume complessivamente non smaltibile dall'attuale sistema di drenaggio.

Analizzando gli idrogrammi in arrivo alla griglia ("J1", Figura 11), si possono fare le seguenti osservazioni:

- la portata di picco, per l'evento centennale, risulta essere pari a circa $0.52 \text{ m}^3/\text{s}$, e si ottiene per l'evento di durata pari a 1 h;
- se da un lato ciò può sembrare strano in un bacino avente un tempo di corrivazione di pochi minuti, vanno considerati due importanti fattori: innanzitutto, l'imbibimento iniziale, pari a circa 23 mm in questo caso, influenza fortemente gli idrogrammi in uscita per le durate basse, compensandone gli elevati tassi di precipitazione e abbattendo i valori di picco delle portate; in secondo luogo, l'applicazione del metodo di Clark, invece di un più semplice metodo della corrivazione, considera



anche l'inerzia nella produzione dell'onda di piena dovuta all'effetto serbatoio del bacino (comunque poco significativo in questo caso);

- viceversa, l'abbassamento dei picchi di piena al crescere della durata è dovuto all'aumento meno che lineare dell'altezza di pioggia, che si traduce in intensità di precipitazione sempre più basse e dunque idrogrammi più "spanciati" e dal comportamento meno impulsivo.

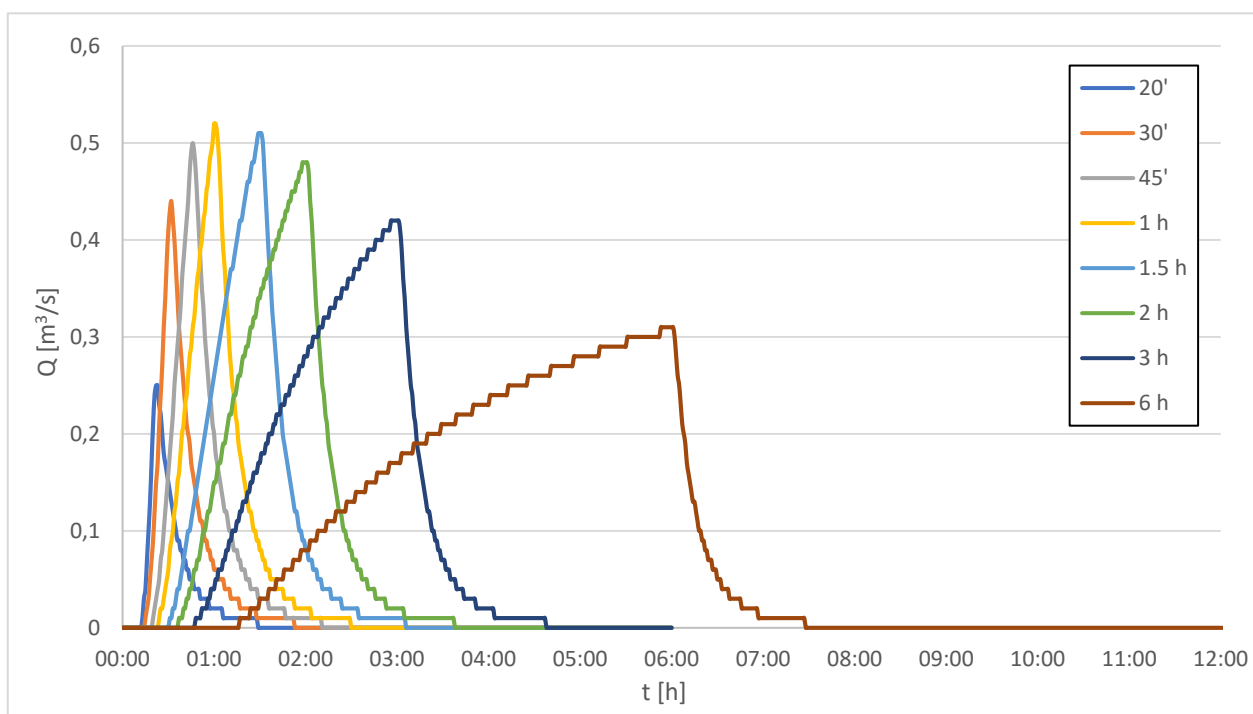


Figura 11: idrogrammi in arrivo alla sezione di chiusura al variare della durata dell'evento

Passando alla ricerca dell'evento critico in relazione al massimo volume di spaglio, si riporta di seguito il grafico contenente i volumi di riempimento del serbatoio fittizio ("res 1"), posto in corrispondenza della griglia, al variare della durata dell'evento (Figura 12). In questo caso, si può notare che:

- l'evento critico si verifica per una durata della precipitazione pari a 12 h, con un volume "di spaglio" pari a circa 2050 m³;
- rispetto all'evento critico legato alla portata, la durata della precipitazione è prevedibilmente maggiore: gli idrogrammi hanno forma più appiattita e volumi maggiori, a pari T (naturalmente, l'altezza di pioggia continua a crescere);
- nel caso specifico, passate le 12 ore il volume massimo disperso inizia a diminuire: questo perché l'intensità netta di pioggia torna ad essere inferiore rispetto alle capacità di drenaggio del tubo di collettamento.

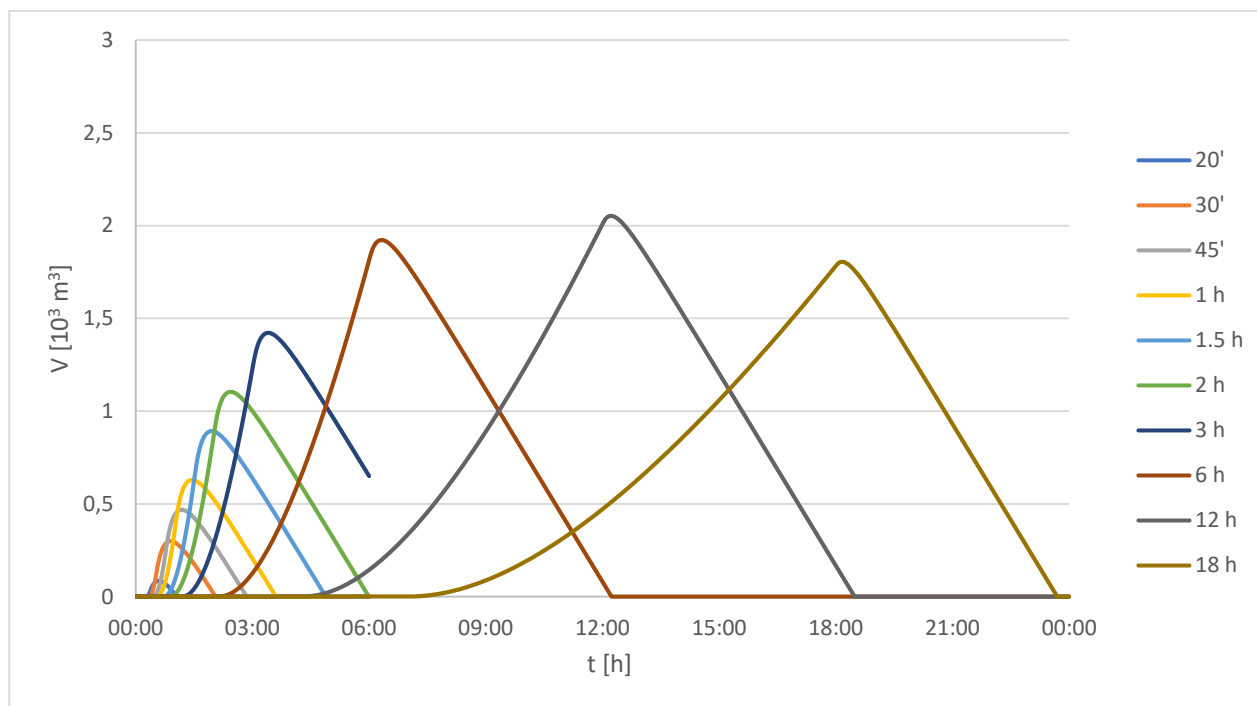


Figura 12: volumi spagliati lungo via Garibaldi allo Stato di Fatto al variare della durata dell'evento

In conclusione, si è dimostrato come, allo stato di fatto, il corretto drenaggio del bacino del Parco delle Fontanelle sia fortemente dipendente dalla capacità di deflusso del collettore di valle: quest'ultimo è di per sé insufficiente a smaltire la portata di picco di progetto, che è circa 5 volte superiore alla sua massima capacità di deflusso ($0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ contro $0.1 \text{ m}^3/\text{s}$), comportando la formazione di una consistente lama d'acqua lungo via Garibaldi, per un deflusso complessivo di circa 600 m^3 . In termini di volume, l'evento peggiore (12 ore) ha un volume in eccesso oltre tre volte superiore rispetto a quello di massima portata (oltre 2000 m^3), ma anche una portata molto inferiore (circa $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$).

2.6 RISULTATI OTTENUTI – STATO DI PROGETTO

In questa fase preliminare, si è verificato come le cose cambierebbero nel caso in cui la griglia e il successivo primo tubo di collettamento venissero bypassati, portando la roggia a confluire direttamente nel pozzetto a lato di via Garibaldi da cui parte il secondo collettore, ipotizzato conservativamente con un avente un diametro pari a 300 mm (informazioni più dettagliate a riguardo si possono avere mediante una videoispezione in fase di stesura del progetto definitivo).

Rimanendo le portate generate alla sezione di chiusura invariate, si mostra in Figura 13 come varia il volume in eccesso, non scaricabile dal collettore:

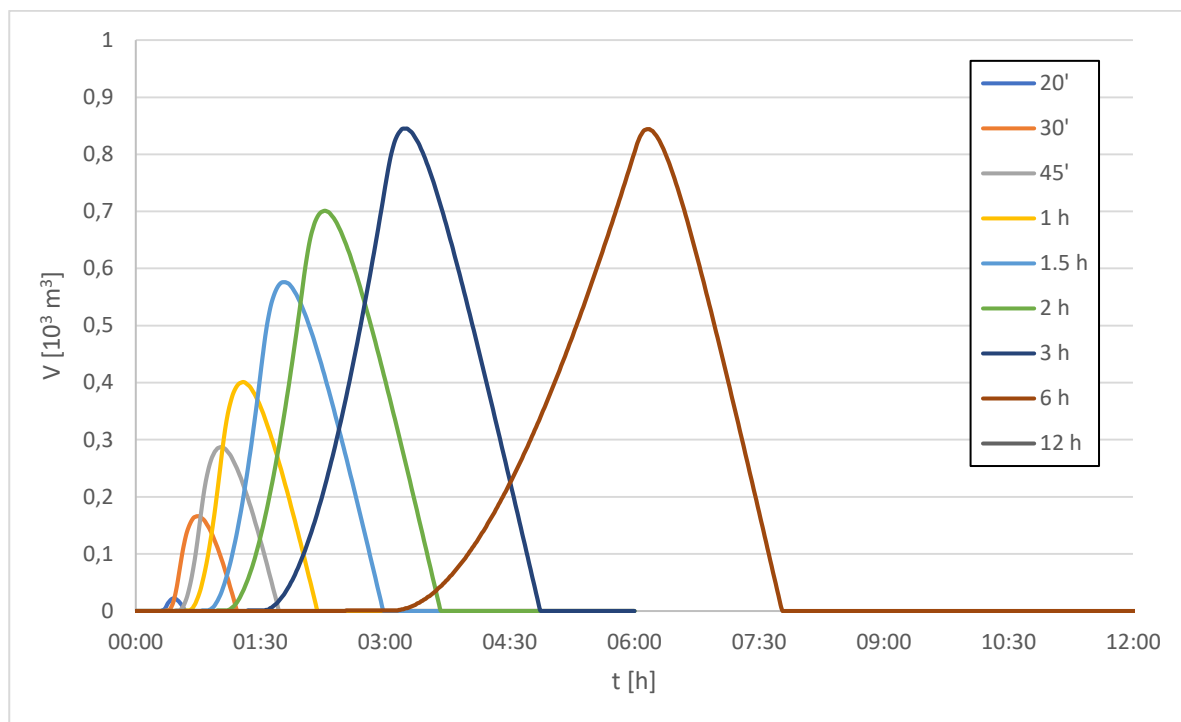


Figura 13: volumi da invasare nelle aree di espansione in condizioni di progetto

In questo caso, si osserva come la semplice rimozione del maggior vincolo idraulico (decisamente la soluzione meno costosa e impattante), la maggior capacità di deflusso del sistema fognario si traduce in un riduzione del volume in eccesso in corrispondenza dell'evento critico di oltre il 50% (da oltre 2000 m³ a circa 850 m³). Inoltre, anche l'evento critico di portata ne risulta positivamente impattato, visto l'incremento del deflusso smaltito dal collettore (da 0.1 a 0.2 m³/s circa), che comporta un deflusso "spagliato" e dunque un complessivo volume in eccesso inferiore (rispettivamente pari a circa 0.3 m³/s e 400 m³).

Da questi valori si è definito indicativamente il volume d'invaso delle due aree di espansione poste all'interno del Parco e descritte all'interno della relazione generale, considerato complessivamente pari a 1000 m³ totali. Una volumetria tale è sufficiente a stoccare l'intera volumetria in eccesso anche per l'evento critico, consentendo uno sfioro dalle vasche (opportunamente tarando le opere di restituzione) di una portata in ogni momento compatibile con il collettore di valle.



3. ASPETTI GEOLOGICI

Si riportano nel seguito le risultanze degli studi geologici a supporto dei PGT vigenti per i Comuni di Carate Brianza, a firma del dott. Geol. Paolo Cerutti, e di Verano Brianza, a firma dei dott.ri Geol.gi Maurizio Penati e Maria Luisa Todeschini.

3.1 CENNI PALEOGEOGRAFICI

Le caratteristiche geomorfologiche dei territori dei Comuni di Verano e Carate Brianza risentono degli avvenimenti geologici succedutisi dal tardo Miocene fino a tutto il quaternario. Nel Miocene superiore si produsse una forte fase erosiva su tutto l'arco prealpino con la conseguente formazione di canyons in corrispondenza degli attuali laghi prealpini, di trasgressioni e regressioni. A partire dal Pliocene superiore-inferiore si assiste ad una fase di ritiro del mare e della sedimentazione di depositi continentali fluvio-lacustri, deltizi e di piana costiera caratterizzati in prevalenza da granulometrie non grossolane (sabbie, fini, limi, argille). Questa unità attribuita al Villafranchiano è stata sottoposta ad un sollevamento dopo la sua deposizione e quindi la sua parte superiore è erosa e profondamente incisa. Contemporaneamente alla fase di sollevamento, si sono succedute diverse fasi trasgressive, i cui depositi marini e continentali hanno riempito tali incisioni e sono stati a loro volta successivamente erosi. Nei solchi vallivi si depositarono ghiaie e sabbie anche di elevato spessore, che con il tempo hanno subito fenomeni di cementazione. Con il pleistocene l'area viene interessata da episodi glaciali convenzionalmente raggruppati nelle tre fasi Mindel, Riss e Wurm, che diedero luogo alla deposizione di una vasta coltre di sedimenti fluvioglaciali nell'alta Pianura e di sedimenti glaciali nelle aree pedemontane. Alla deposizione fece seguito nei periodi interglaciali l'erosione dei sedimenti e questo ciclo di sedimentazione e di erosione da parte delle fiumane pleistoceniche ha creato un sistema di terrazzi, che attualmente occupa la porzione più alta della pianura ai piedi degli anfiteatri morenici.

In particolare nel Cretaceo (137-65 Ma) tutta l'area compresa tra il San Genesio e i rilievi di Montevecchia era occupata da un bacino marino collegato verso nord ad un'area emersa. Lungo la scarpata di collegamento tra la zona emersa ed il bacino avvenivano grossi frane sottomarine. Il materiale coinvolto in questi fenomeni di scivolamento veniva trasportato dalle correnti sottomarine sul fondo del bacino e dava origine a grandi conoidi. Successivamente, il formarsi della catena alpina, in seguito all'avvicinamento della placca Europa con quella Asiatica, ha provocato l'emersione dei materiali accumulatisi sul fondo del bacino dando origine ai principali rilievi collinari della Brianza. Durante il periodo Quaternario il territorio è stato interamente sommerso dai ghiacciai che fuoriuscendo dal Lario si biforcavano in corrispondenza del Monte Barro dando luogo alla lingua della Brianza e dell'Adda, queste lingue scendevano verso la pianura, modellando le formazioni rocciose affioranti e trasportando ingenti quantità di materiale. Durante la fase di



ritiro dei ghiacciai, grandi quantità di materiale sciolto sono stati depositate dando origine ai depositi glaciali. L'ultima fase di modellamento, è rappresentata dall'azione erosiva e di trasporto dei torrenti attuali che hanno concorso alla formazione delle principali vallate e dei terrazzi fluviali.

La carta geologica d'Italia redatta alla scala 1:10.000 riportata nella Figura 14 che segue illustra la distribuzione in superficie delle differenti formazioni rocciose e dei depositi superficiali dalla quale si evince che le formazioni presenti localmente siano di origine quaternaria antica ed in particolare riconducibili ai depositi prewurmiani ferrettizzati ed ai banchi di ceppo.

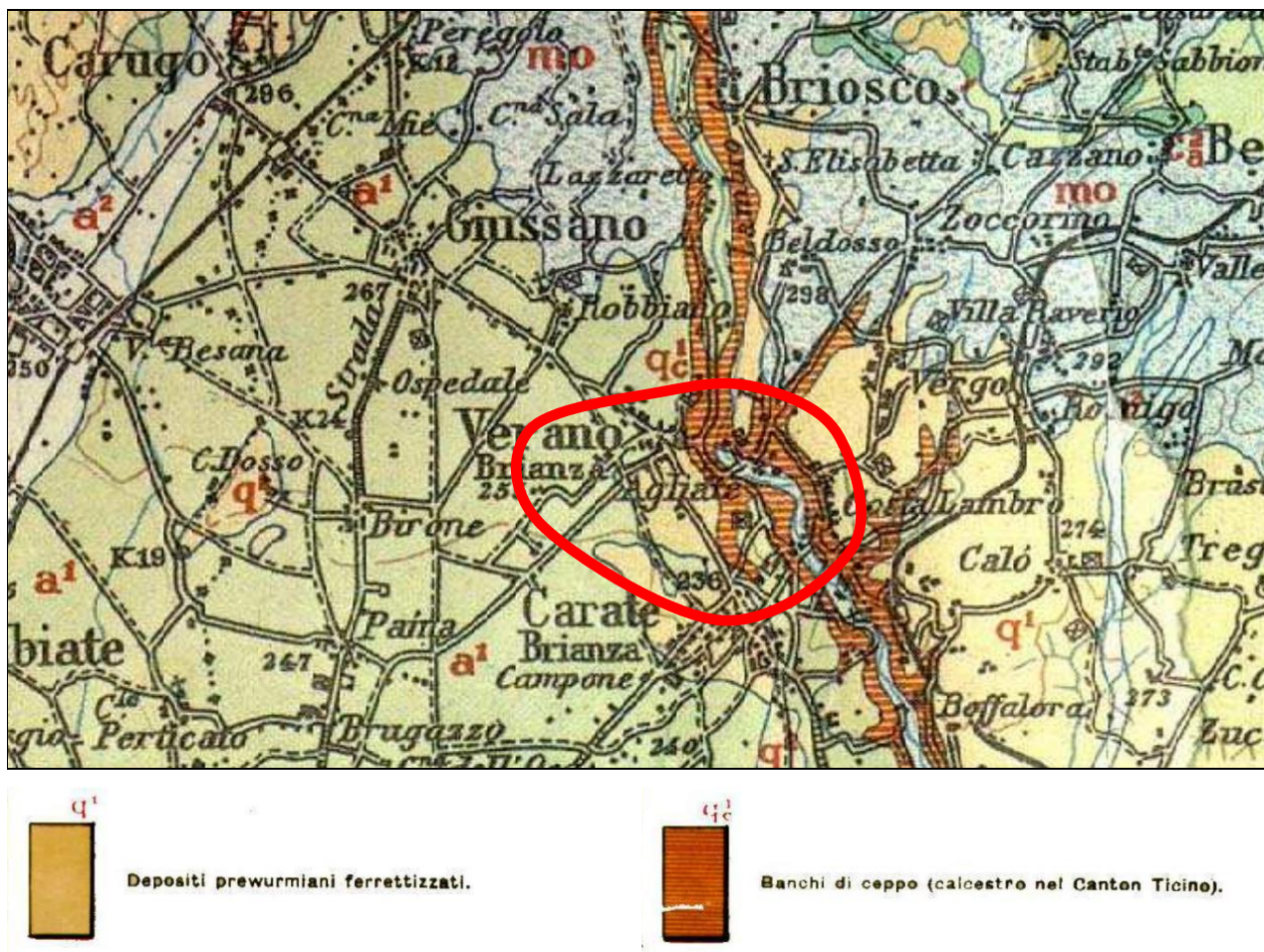


Figura 14: Formazioni litologiche secondo la carta geologica d'Italia

La Carta Geologica della Brianza tra il torrente Seveso e il torrente Molgora riporta con ulteriore dettaglio le formazioni previste dalla Carta d'Italia (Figura 15). Da questa si evince come le formazioni tipiche dell'area di interesse siano da ricondurre principalmente (procedendo da Ovest verso Est) a diluvia da antico (fluvio-glaciale Mindel, in giallo scuro) a recente (fluvio-glaciale Wurm, in verde chiaro), per lasciare poi scoperti, lungo la balza che porta verso la valle del Lambro linee di Ceppo in conglomerato (magenta) ed eventuali argille sottostanti (arancio) per poi sfociare nell'alluvione recente ed attuale che costituisce la bassa valle del fiume (celeste).

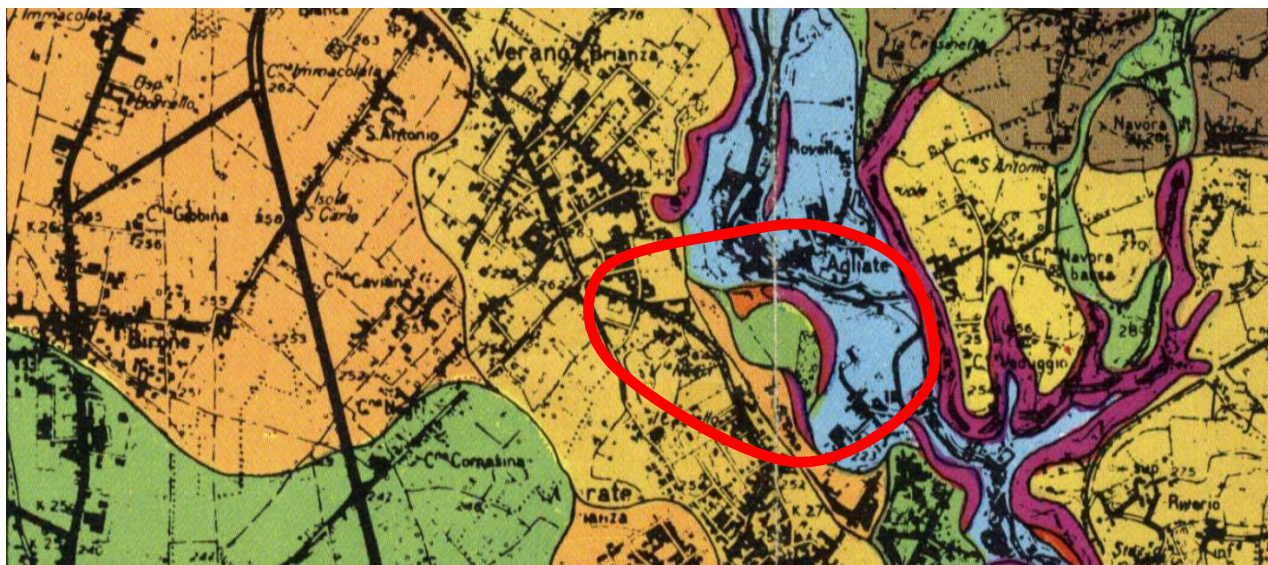


Figura 15: Formazioni litologiche secondo la Carta Geologica della Brianza

3.2 ELEMENTI GEOMORFOLOGICI

Sono stati individuati i seguenti elementi:

- Ceppo Lombardo: Si tratta di un conglomerato poligenico costituito da sabbie per lo più grossolane e da ciottoli centimetrati e decimetrici subarrotondati di differente natura litologica e provenienza cementati da matrice calcarea.
- Depositi fluvioglaciali Mindel: Litologicamente costituiti fino alla profondità di circa -5/-7 m da p.c. da argille sabbiose di colore rosso-mattone denominate "ferretto" nelle quali è frequente ritrovare ciottoli sfaldati di diversa natura. Sotto questo strato fortemente alterato si trovano ghiaie e sabbie caratterizzate da un grado inferiore di alterazione, immerse in un abbondante matrice limosa-argillosa
- Depositi di fluvioglaciali e fluviali del Wurm: sono caratterizzati da ghiaie e sabbie in matrice limosa con locali lenti d'argilla. Costituiscono il cosiddetto livello fondamentale della pianura, in essi è rilevabile aumento dei termini più fini passando dal settore settentrionale a quello meridionale: questa variazione è da collegare alla riduzione, verso sud, dell'energia dell'agente di trasporto e deposizione. I depositi Wurmiani a differenza di quelli rissiani presentano superiormente un livello



di natura sabbioso-argillosa che convoglia grosse quantità d'acqua verso gli orizzonti sottostanti che per l'elevata porosità costituiscono un ottimo serbatoio per l'acqua di falda.

- Terrazzo morfologico. Si tratta di orli di terrazzi che delimitano scarpate con diverse unità litologiche

3.3 CARATTERI GEOLOGICI DELL'AREA

L'area del Comune di Carate Brianza è costituita quasi interamente da formazioni continentali Pleistoceniche ed Oloceniche che compongono l'alta e media pianura lombarda. Nella cartografia di analisi riportata in Figura 16 e Figura 17 vengono proposte le unità di carattere litologico con il dettaglio sull'area di interesse, da cui risulta che prevalgono l'unità di Minoprio, l'allogruppo di Venegono e l'Unità di Cadorago.

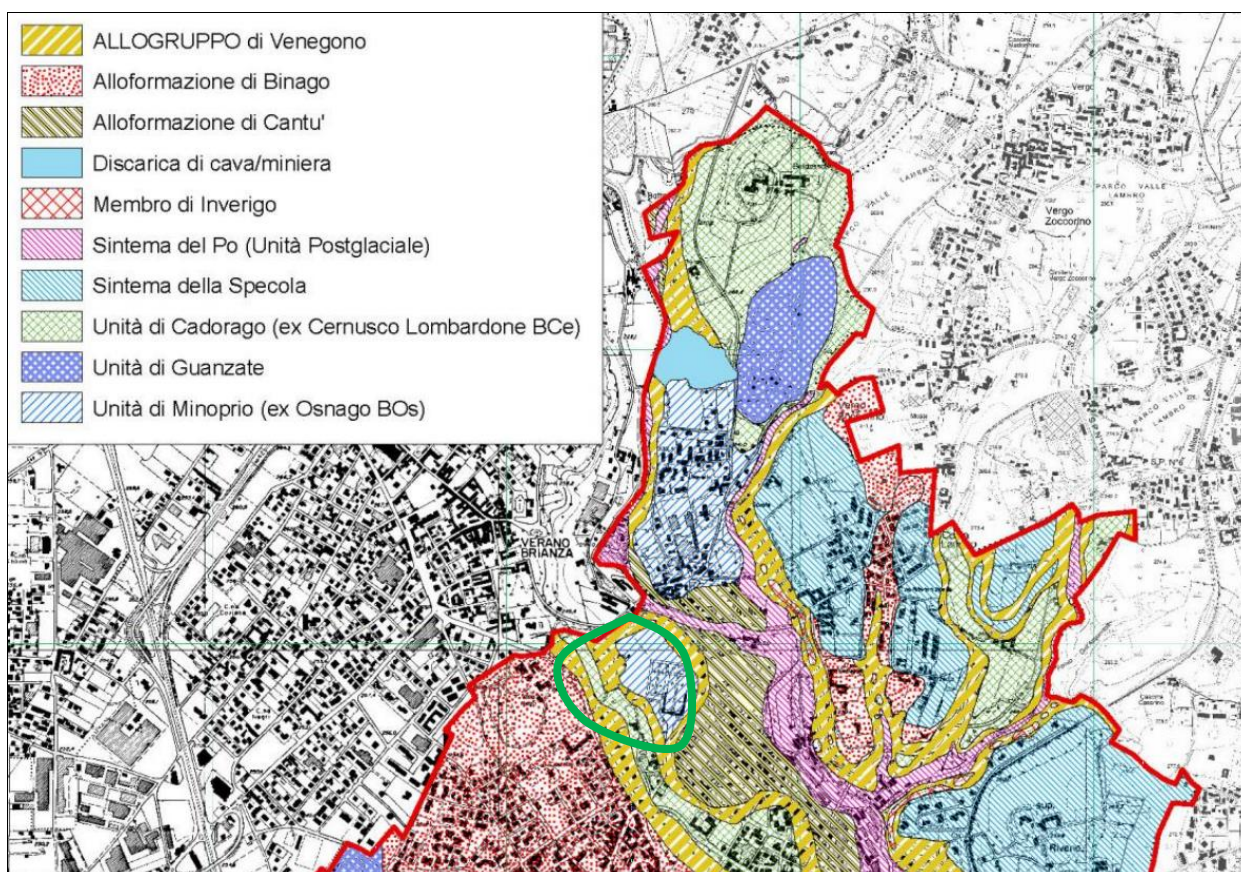


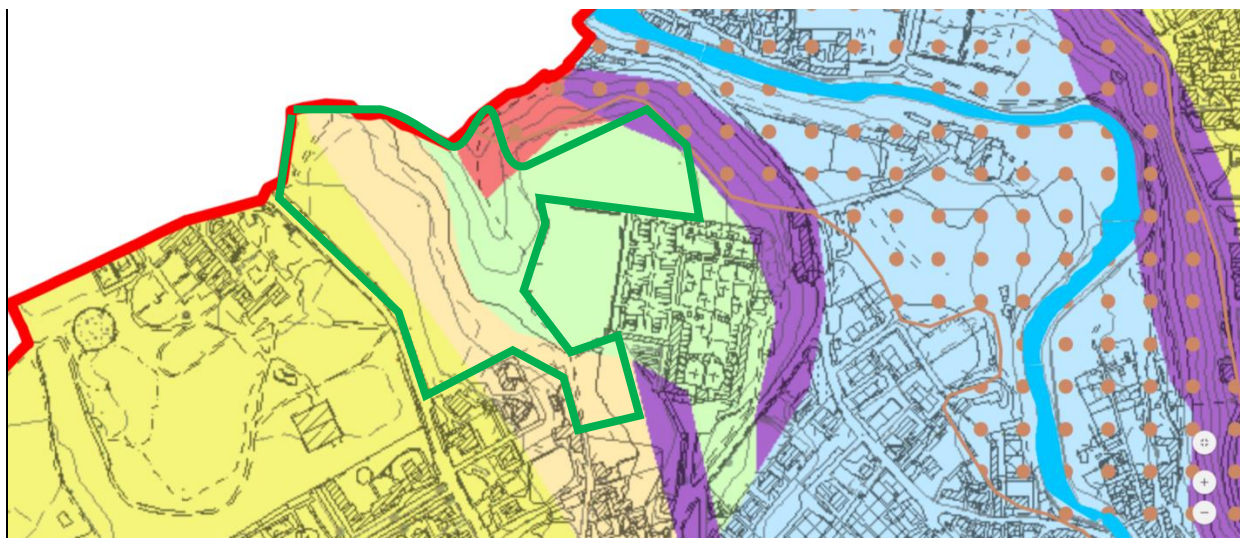
Figura 16: Le unità di carattere litologico

Le caratteristiche litologiche prevalenti risultano quindi:

- Unità di Minoprio: depositi fluvioglaciali costituiti da ghiaie e ghiaie sabbiose massive a supporto sia clastico sia di matrice;
- Allogruppo di Venegono: Limi debolmente argillosi con clasti debolmente alterati sparsi. Comprende essenzialmente depositi colluviali di versante appartenenti a vari eventi sedimentari non definibili e di età molto differente;



- Unità di Cadorago: diamicton massivi a supporto di matrice: till di ablazione. Ghiaie medio grossolane massive, debolmente stratificate a supporto sia di matrice sia clastico, sabbie medio fini massive con clasti: depositi fluvioglaciali.








	Diluvium recente ("Fluvioglaciale Wurm")	→ Unità di Guanzate - Unità di Cadorago - Unità di Minoprio
	Depositi morenici "wurmiani"	→ Unità di Cadorago
	Diluvium medio ("Fluvioglaciale Riss")	→ Alloformazione di Binago
	Depositi morenici "rissiani"	→ Sintema della Specola - Alloformazione di Binago
	"Argille sotto il ceppo"	→ Allogruppo di Venegono - Ceppo di Inverigo

Figura 17: Dettaglio delle unità di carattere litologico nell'area di interesse

3.4 VALUTAZIONI MORFOLOGICHE

L'assetto morfologico è riconducibile nelle sue linee fondamentali, alla presenza di depositi glaciali ed all'azione erosiva e modellante esercitata dal Fiume Lambro che costituisce un agente morfodinamico importante ed attivo.

La valle del Fiume Lambro costituisce un elemento morfologico di primaria importanza; durante le glaciazioni rappresentava il principale scaricatore glaciale ed evidenze si possono ancora osservare nei terrazzamenti delle alluvioni di fondovalle e nell'esiguità del corso attuale che risulta del tutto sproporzionato rispetto alle dimensioni della valle e dei depositi. La morfologia è quella tipica fluviale collinare e si esplica con una valle incisa all'interno di terreni di origine glaciale rappresentati dai depositi fluvioglaciali, glaciali e dal Ceppo Lombardo. Questa morfologia è il frutto dell'azione erosiva e modellante del Fiume Lambro. Lungo entrambi i fianchi della valle affiora nella parte altimetricamente mediana e meno elevata il Ceppo che origina delle piccole pareti con locali fenomeni erosivi avanzati come scavarnamenti



con erosione superficiale determinata dallo scorrimento delle acque superficiali in direzione dell'asse vallivo.

Si evidenzia pertanto una valle fluviale di media ampiezza, con fianchi che presentano nella zona più meridionale inclinazioni talora elevate e pendii scoscesi talvolta con bruschi cambi di pendenza a causa degli affioramenti di banchi di Ceppo e non ben raccordati con la morfologia circostante. Il fondovalle è di media ampiezza densamente urbanizzato con presenza di insediamenti sia civili sia industriali. Il letto del fiume risulta stabile con scarsa o nulla tendenza all'approfondimento, avendo già raggiunto il livello di stabilizzazione. Il raccordo tra il ciglio superiore della valle ed il fondovalle è dato da una serie di gradini morfologici di larghezza variabile da piccola a media che in talune zone addolciscono la scarpata dando luogo ad un passaggio graduale e mediamente inclinato. La presenza di un orizzonte cementato sottostante ai depositi sciolti e che costituisce il livello di base lungo cui scorrono le acque di filtrazione genera l'insorgere di piccoli scivolamenti, di ruscellamento superficiale e di piccoli fenomeni franosi localizzati, favoriti anche dall'acclività del pendio.

3.5 ELEMENTI PEDOLOGICI

In linea generale, la Brianza è un ambito geografico dai limiti imprecisi; in esso convivono almeno due principali paesaggi: quello dei terrazzi fluvioglaciali, ricordo di più antiche ed elevate superfici della pianura pleistocenica e quello dei coni e delle piane proglaciali del pleistocene superiore (wurmiano). A questi si sommano altre due situazioni fisiografiche rilevanti: i lembi più meridionali delle colline moreniche e le valli oloceniche di Lambro e Molgora. Nella storia pedologica dell'area si sono succeduti grandi eventi morfogenetici, corrispondenti, come già visto, a molte fasi di espansione e ritiro glaciale, che tuttavia, hanno lasciato tracce riconducibili. Durante questi eventi i suoli possono essere stati sepolti da nuovi sedimenti o cancellati dall'erosione, insieme con i corpi sedimentari di cui facevano parte. L'arco di tempo durante il quale i suoli dell'area hanno potuto evolversi è estremamente ampio: dal pleistocene inferiore ad oggi, con forte intensificazione durante le fasi interglaciali meno fredde. Su tutte le superfici antiche il suolo si è formato soprattutto a spese di sedimenti fini prevalentemente sabbie, anche se i fenomeni hanno sicuramente interessato le sottostanti ghiaie ciottolose fluvioglaciali, pedogenizzate già in precedenza (ferretto). Questa situazione è all'origine della presenza di suoli evoluti, privi di limitazioni significative, quando non hanno subito fasi di degradazione in ambiente freddo; di suoli invece a orizzontazione complessa, facile erodibilità e scarsa permeabilità nelle situazioni in cui sono stati interessati da fasi glaciali. La classificazione dei suoli è stata ricavata dalla carta pedologica E.R.S.A.L. –Ente regionale sviluppo agricolo Lombardo (Figura 18). Nella descrizione delle unità si è scelto di mantenere la stessa numerazione utilizzata dall'E.R.S.A.L. Si riportano di seguito solo le descrizioni delle tipologie presenti nell'area di interesse.

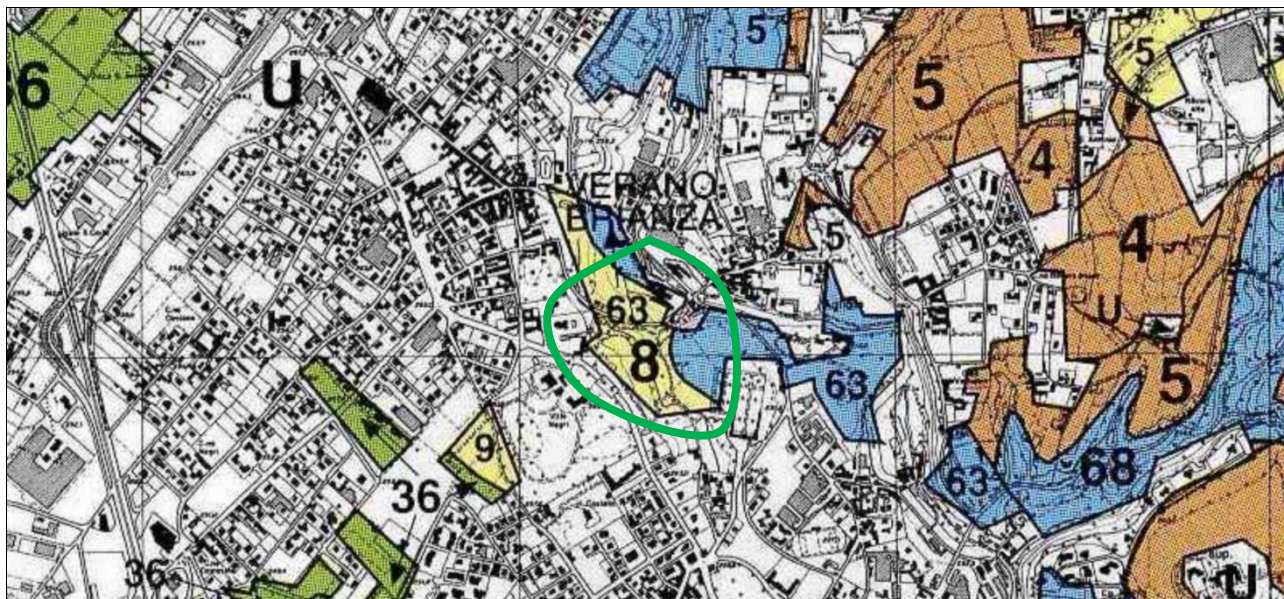


Figura 18: carta pedologica ERSAL

- UNITA' 8 - Fase fisiografica e di pendenza moderata (5-10%) - Suoli situati su arco morenico eroso. Suoli molto profondi su sabbie ghiaiose poco alterate, scheletro da scarso a frequente, tessitura media o grossolana, reazione subacida in superficie, subacida o neutra in profondità, saturazione media, drenaggio buono.
Valore naturalistico: basso
Capacità protettive dei suoli nei confronti delle acque profonde: bassa
Capacità d'uso la classe di appartenenza è la III
Classificazione FAO 1990: DYSTRIC CAMBISOLS
Classificazione U.S.D.A. 1992: FLUVENTIC DYSTROCHREPTS COARSE LOAMY, MIXED, MESIC
- UNITA' 63 – Suoli moderatamente profondi, limitati da orizzonti idromorfi sabbioso-ghiaiosi in falda idrica occasionale, scheletro scarso, tessitura moderatamente grossolana, reazione subacida o neutra, saturazione alta, calcarei, drenaggio buono.
Valore naturalistico: basso
Capacità protettive dei suoli nei confronti delle acque profonde: media
Capacità d'uso la classe di appartenenza è la VIe
Classificazione FAO 1990: MOLLY GLEYIC CAMBISOLS
Classificazione U.S.D.A. 1992: OXYAQUIC HAPLUDOLLS, COARSE LOAMY MIXED, MESIC



PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO
DIPARTIMENTO DI RIQUALIFICAZIONE FLUVIALE



Il progettista

Ing. Daniele Giuffrè

Gruppo di lavoro

Ingg. Stefano Minà, Marco Pozzoli, Chiarangela Perego

Ingg. Chiara Vellani, Maria Teresa Olmeo