



REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

DIREZIONE CENTRALE INFRASTRUTTURE E TERRITORIO

AUTOVIE VENETE

S.p.A. Autovie Venete

Sede Legale: Via Vittorio Locchi n. 19, 34143 Trieste

Società soggetta all'attività di direzione e coordinamento da parte di
Società Autostrade Alto Adriatico S.p.A.

COLLEGAMENTO TRA LA S.S. 13 PONTEBBANA E LA A23 TANGENZIALE SUD DI UDINE (II LOTTO)

AGGIORNAMENTO PROGETTO DEFINITIVO

SISTEMAZIONE IDRAULICA

Riscontro al p.to 1.5 della rich. integr. M.A.S.E. Prot. U0001089 del 29/01/2024
Analisi idrologico-idraulica del bacino di contribuenza della Lavia di Galleriano
Relazione idrologica

TEMATICA

M

N. ALLEGATO e SUB.ALL.

04.02.0.0

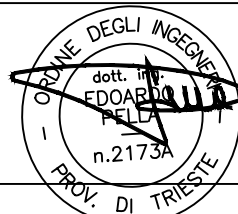
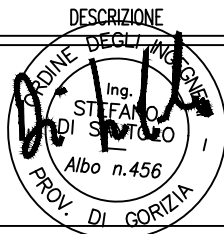
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
3					
2					
1					
0	10.06.2024	Richiesta integrazioni M.A.S.E. Prot. U0001089 del 29.01.2024	CG-MB-MB	NA	EP

COORDINAMENTO E PROGETTAZIONE GENERALE:

S.p.A. AUTOVIE VENETE :

dott. ing. Edoardo PELLA

dott. ing. Stefano DI SANTOLO



IL CAPO COMMESSA:
dott. ing. Edoardo PELLA

PROGETTAZIONE SPECIALISTICA:

Tematica: IDRAULICA

Studio Tecnico Associato Aprilis
dott. ing. Nino APRILIS



Collaboratori Università degli studi
di Padova

- prof. ing. Carlo GREGORETTI
- ing. Matteo BARBINI, PhD
- ing. Martino BERNARD, PhD

REGIONE AUTONOMA FRIULI VENEZIA GIULIA

IL RUP:
dott.ssa Magda ULIANA

NOME FILE:
1207M0402000.pdf

DATA PROGETTO:
30.08.2012

312TN

CODICE MASTRO

12

ANNO

07

N.PROGETTO

0

REVISIONE

Studio Tecnico Associato Aprilis

Via Montereale 33, Pordenone

C.F. 01470800937 e P.IVA 01470800937

Analisi idrologico-idraulica del bacino di contribuenza della Lavia di Galleriano allo stato di fatto, finalizzata al confronto con le mappe di classificazione del territorio in funzione della pericolosità e del rischio individuate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (P.G.R.A.).

*Elaborato: **Relazione idrologica***

*Data: **27/05/2024***

Consulenza tecnico-scientifica

Responsabile scientifico: Prof. Ing. Carlo Gregoretti, PhD

Collaboratori: Ing. Matteo Barbini; Martino Bernard, PhD;

Indice

Prefazione	3
1 L'area oggetto di studio	5
1.1 Inquadramento generale	5
1.2 Eventi storici analizzati	6
1.2.1 Evento del settembre 1920	6
1.2.2 Evento del 5-7 ottobre 1998	7
1.2.3 Evento dell'11 novembre 2014	8
2 Gli eventi estremi	9
2.1 Concetto di evento estremo e sua caratterizzazione	9
2.2 Analisi dei massimi annuali	10
2.3 Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica	10
2.4 Processamento dei dati	11
2.5 Analisi dei tempi di ritorno degli eventi storici	13
2.5.1 Evento del settembre 1920	13
2.5.2 Evento del 5-7 ottobre 1998	13
2.5.3 Evento dell'11 novembre 2014	13
3 Analisi geospaziali dei dati	14
4 Modellazione idrologica	18

Prefazione

Lo Studio Tecnico Associato Aprilis ha affidato all'Università lo svolgimento dell'attività di "Articolo 6 del bacino delle Lavia di Galleriano con particolare riguardo alla zona interessata dal tracciato della tangenziale Sud di Udine" che si articola in:

- **FASE 1.**

Analisi idrologico-idraulica del bacino di contribuenza della Lavia di Galleriano allo stato di fatto, finalizzata al confronto con le mappe di classificazione del territorio in funzione della pericolosità e del rischio individuate dal Piano di Gestione del Rischio Alluvioni dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali (P.G.R.A.). Per lo svolgimento di questa prima fase si renderà necessario:

- a) svolgere un'analisi del territorio al fine di delimitare i bacini scolanti afferenti alla Lavia in oggetto e di individuare il reticolo idrografico di calcolo e le sezioni di chiusura, determinandone i principali parametri (geometrici, coefficienti di afflusso, ...). A tal fine potranno essere utilizzati i DTM reperibili dalla piattaforma Eaglefvg della Regione Friuli Venezia Giulia, integrati con rilievi di dettaglio da eseguirsi, a cura dell'Affidatario, laddove i DTM non dovessero fornire adeguata precisione;
- b) produrre una relazione idrologica secondo le indicazioni di cui al Paragrafo 1.1 dell'Allegato I alle Norme Tecniche di Attuazione del P.G.R.A., finalizzata alla determinazione dello ietogramma di studio;
- c) svolgere una analisi idrologico-idraulica con modello mono-bidimensionale per la simulazione, a partire dagli ietogrammi di calcolo, della trasformazione afflussi-deflussi, della propagazione delle portate di piena e dell'evoluzione dei fenomeni di allagamento, con l'inclusione dei manufatti di attraversamento e delle opere presenti allo stato di fatto. Relativamente a quest'ultimo aspetto, la modellazione dovrà tenere in considerazione gli effetti derivanti dalla realizzazione del bacino di laminazione di Blessano. Per la modellazione idraulica si farà riferimento al Paragrafo 1.2 dell'Allegato I alle Norme Tecniche di Attuazione del P.G.R.A.;
- d) stendere una relazione idraulica in cui viene descritta nel dettaglio l'attività modellistica effettuata e vengono riportati i risultati ottenuti per gli scenari indagati, evidenziando nei vari punti del territorio, con particolare riguardo alle zone maggiormente interessate dall'interferenza con la tangenziale Sud di Udine in progetto, i tiranti d'acqua massimi e le velocità massime che si instaurano.

- **FASE 2.**

- CASO A.

Qualora le risultanze del modello idraulico relativo alla situazione alluvionale del territorio allo stato di fatto (prodotto con la FASE 1) dovessero evidenziare una classificazione della pericolosità idraulica differente da quella rappresentata nelle mappe vigenti del P.G.R.A. (con particolare riguardo alle aree interessate dalla realizzazione dell'intervento in progetto), si procederà con la proposta all'Autorità di Bacino Distrettuale

Carlo _____ *Gregoretto,* _____ *Matteo* _____ *Barbini,* _____ *Martino*
Bernard _____

delle Alpi Orientali di una nuova mappatura della pericolosità secondo le modalità indicate nel Paragrafo 1.3 dell'Allegato I alle Norme Tecniche di Attuazione del P.G.R.A.. Con la documentazione predisposta dall'Affidatario, il Proponente dell'opera Tangenziale Sud di Udine, e cioè la Regione Friuli Venezia Giulia, provvederà all'avvio della procedura di aggiornamento del Piano prevista dall'art. 6 delle Norme Tecniche di Attuazione del P.G.R.A..

- CASO B.

Qualora le risultanze del modello idraulico relativo alla situazione alluvionale del territorio allo stato di fatto (prodotto con la FASE 1) dovessero confermare o implementare la pericolosità idraulica rappresentata nelle mappe vigenti del P.G.R.A. (con particolare riguardo alle aree interessate dalla realizzazione dell'intervento in progetto), dovrà essere condotta la Verifica di Compatibilità Idraulica (VCI), in accordo con le indicazioni contenute nel Paragrafo 2 dell'Allegato A alle Norme Tecniche di Attuazione del P.G.R.A., ai fini di verificare che l'intervento in progetto sia in condizioni di sicurezza e non comporti incremento di pericolosità idraulica per lo scenario con tempo di ritorno di 100 anni. Ai fini dell'esito positivo della VCI, potrebbe rendersi necessaria l'integrazione progettuale con la previsione di nuovi o più ampi bacini di invaso delle eventuali acque della Lavia di Galleriano in esubero, la cui determinazione resterà a carico dell'Appaltatore (localizzazione e caratteristiche dimensionali). Con la documentazione relativa alla VCI predisposta dall'Affidatario, il Proponente dell'opera Tangenziale Sud di Udine, e cioè la Regione Friuli Venezia Giulia, provvederà alla richiesta all'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali di emissione di parere.

1 L'area oggetto di studio

1.1 Inquadramento generale

L'area oggetto di studio si trova nell'Alta Pianura friulana, tra il fiume Tagliamento e il Torre, ed è costituita da una serie di depositi fluvio-glaciali e fluviali risalenti alle glaciazioni del Quaternario. Negli ultimi 800.000 anni, la Terra ha attraversato cicli alternati di periodi caldi e freddi, ciascuno della durata di circa 100.000 anni. Durante i periodi freddi, le calotte glaciali si sono espanse ripetutamente nelle alte latitudini, così come i ghiacciai delle Alpi, incluso quello del Tagliamento, raggiungendo la pianura. Le glaciazioni erano caratterizzate dall'avanzata dei ghiacciai fino a una fase di massima espansione, seguita dal loro ritiro. I materiali trasportati a valle dal ghiacciaio wurmiano del Tagliamento, ripresi dai corsi d'acqua glaciali, furono risedimentati, formando estese conoidi che, saldandosi tra loro, crearono una sorta di piano inclinato leggermente ondulato in senso trasversale. Un anfiteatro morenico si forma quando un ghiacciaio vallivo si riversa nell'area pedemontana della pianura, dove la lingua glaciale può espandersi e depositare i detriti trasportati. Questo processo crea una serie di cordoni morenici disposti concentricamente e generalmente a semicerchio. L'anfiteatro morenico tilaventino, situato nella parte orientale della Pianura Padana è caratterizzato dalle quote medie più basse ed è sviluppato su tre cerchie.

Accanto alle morene, al margine di un ghiacciaio, si sviluppa una complessa serie di forme, influenzate dalla grande quantità di acque di fusione glaciale, che modellano il territorio attraverso processi sia erosivi sia deposizionali. Questi processi si sovrappongono o sostituiscono l'azione del ghiacciaio. Nel caso in esame, le acque piovane raccolte negli avvallamenti confluivano nei due principali bacini di raccolta, rappresentati dal Corno e dal Cormor. Inoltre, le acque provenienti dalle propaggini meridionali della prima cerchia si riversavano nella pianura sottostante, venendo assorbite dalla porosità delle ghiaie. Questi corsi d'acqua, noti come Lavie, insieme al Corno e al Cormor, hanno contribuito alla formazione del materasso ghiaioso dell'alta pianura centrale friulana. Le Lavie sono dunque fiumiciattoli effimeri, in cui l'acqua scorre violentemente dopo piogge intense e prolungate, per poi disperdersi. Questi solchi d'acqua perdono forza all'imbocco della pianura. Tuttavia, mantengono la loro portata mentre attraversano i suoli limosi altamente impermeabili, derivanti dalla parte più fine del deposito glaciale.

La Lavia oggetto di studio è denominata Lavia di Galleriano (Figura 1.1). Questa Lavia si origina a Sud-Est di Fagagna a 178 m s.l.m. Dalla sorgente scende affiancando la strada che da Fagagna porta all'attraversamento della S.R. 464 'di Spilimbergo', assumendo il nome di Rio Peraria. Successivamente all'attraversamento della S.R. 464, assume il nome di Rio Lanfora (o *Anfora*) e, proseguendo in direzione Sud-Est in località campestre detta *Plovie*, giunge al canale Ledra-Tagliamento, sottopassandolo tramite un manufatto a sezione rettangolare 4 x1 m². Superato il canale Ledra, assume il nome di Rio Marina dopo aver ricevuto le acque dello scolo Ruat o Ravata (anche Rio Chiarandis). Dopo circa due chilometri, al confine con il comune di Mereto di Tomba, si estingue in un vaso paludoso; in caso di forti piogge, le acque scorrono in fossi e strade campestri.

In prossimità di Plasencis, l'alveo si ripresenta e sottopassa via Udine grazie a un caratteristico ponte ad arco con luce sei metri. Poco prima di lambire la frazione di San Marco, prende quindi il nome di Lavia di

Galleriano e si dirige verso Blessano, a monte del quale è presente un bacino di laminazione delle piene. Tramite bocca tassata, il corso d'acqua prosegue verso Blessano, sottopassa la S.P. 10 e la S.P. 52 in direzione Vissandone e termina a nord della strada Vissandone – Variano, laddove l'alveo è stato tombato. A sud-ovest di Basiliano, il tracciato della Lavia risulta evidente, sottopassando prima il terrapieno ferroviario della linea Udine-Venezia e, in seguito, la S.S. 13, raggiungendo un bacino di raccolta e di dispersione delle acque. Più a Sud, verso Galleriano, si perdono nuovamente le tracce ma il territorio è interessato dalle inondazioni.

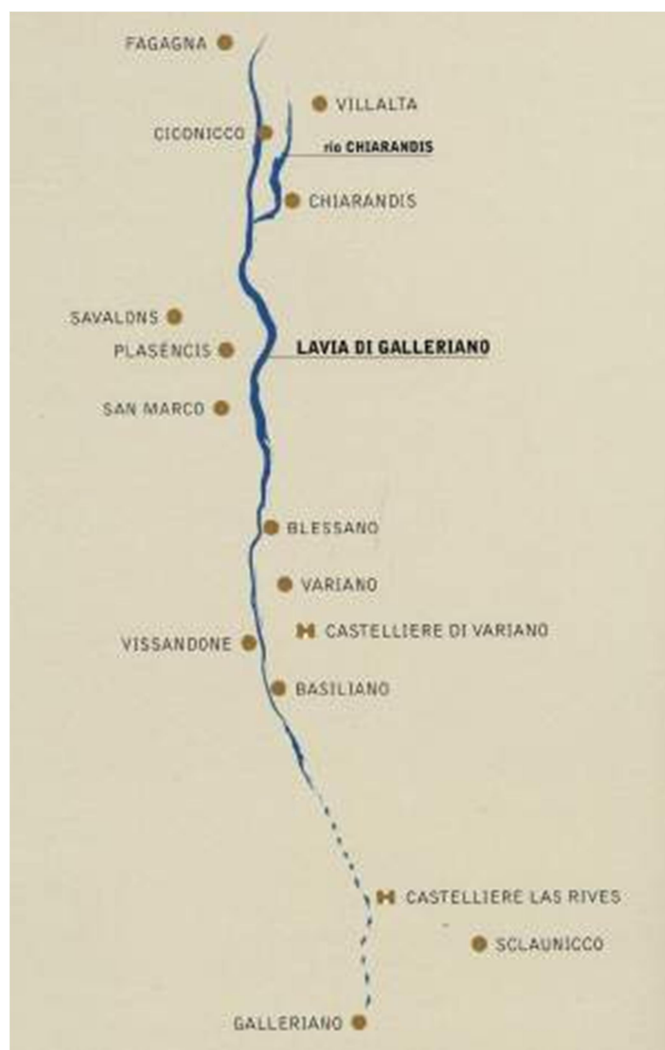


Figura 1.1 La Lavia di Galleriano (da Mossenta, 2004).

1.2 Eventi storici analizzati

1.2.1 Evento del settembre 1920

Fra il 18 e il 23 settembre 1920, il territorio friulano venne interessato da eventi ciclonici particolarmente intensi (pubblicazione n. 114 del R. Magistrato alle Acque: *Le piogge e le piene dei fiumi friulani nella terza*

decade del settembre 1920, a cura dei Dott. Ardito Desio e Dott. Egidio Feruglio), con precipitazioni cumulate che, in alcune località della zona subalpina delle Alpi Carniche, hanno raggiunto più di un terzo del totale medio annuo. Analizzando i dati registrati dalla stazione di San Daniele del Friuli, è interessante notare i valori misurati durante le varie giornate: 28.6 mm il giorno 18 settembre, 97.0 mm il giorno 19, 401.6 mm il giorno 20, 47.8 mm il giorno 21 e 24.8 mm il giorno 22. Più in dettaglio, i valori massimi registrati risultano 58.3 mm in un'ora (dalle 20:45 alle 21:45 del 19 settembre) e 166 mm in 5 ore (dalle 11:00 alle 16:00 del 20 settembre: 33.0 mm dalle 11:00 alle 12:00, 33.0 mm dalle 12:00 alle 13:00, 29.0 mm dalle 13:00 alle 14:00, 35.0 mm dalle 14:00 alle 15:00, 36.0 mm dalle 15:00 alle 16:00). Gli effetti catastrofici di queste precipitazioni sono da attribuire all'intensità, alla durata delle piogge (ben superiori ai tempi di corrivazione delle Lavie) ed allo stato iniziale dei terreni, praticamente saturi al momento della precipitazione del 20 settembre (401.6 mm). La situazione nelle conche intermoreniche è stata descritta come quasi interamente allagata, e nel bacino del Corno le acque formavano un continuo specchio d'acqua dal piano alluvionale di Farla fino al versante interno della prima cerchia morenica. La forza devastante delle Lavie si è manifestata anche nella pianura, dove "tutte le acque, concentrate in un unico alveo, produssero vasti allagamenti". Furono inondati i paesi di Blessano e Vissandone, nonché la depressione compresa tra quest'ultimo e la collina di San Leonardo di Variano. Le acque arrivarono fino alle prime case di Basiliano, attraversarono il ponte ferroviario per Venezia, si espansero fino a Galleriano con 60 cm d'acqua, e proseguirono fino a Flambro e Talmassons, congiungendosi alle acque del Cormor (Figura 1.2).

1.2.2 Evento del 5-7 ottobre 1998

L'evento meteorologico che si è verificato in Friuli dal 5 al 7 ottobre 1998 è stato uno dei più significativi e intensi dal 1920 ad oggi. Le abbondanti precipitazioni che hanno interessato gran parte della provincia di Udine hanno raggiunto una particolare intensità nella zona collinare morenica oggetto di studio, causando numerosi allagamenti. Secondo i dati del pluviometro di Fagagna, in tre ore sono caduti 122,8 mm di pioggia, in sei ore sono stati registrati 203.0 mm, in dodici ore 221.8 mm e in ventiquattro ore 273.3 mm, rendendo questo evento paragonabile a quello disastroso del 1920. Le conseguenze dell'evento hanno stimolato un deciso impulso per la progettazione e la realizzazione di numerosi interventi per l'eliminazione di alcune sofferenze idrauliche, che tuttavia hanno talvolta comportato il trasferimento dei disagi verso valle, aggravando il problema dello smaltimento delle portate di piena nelle aree dove, negli ultimi anni, si è ridotto significativamente il volume di invaso (fossi, depressioni naturali). Di conseguenza, le situazioni di allagamento sono aumentate.

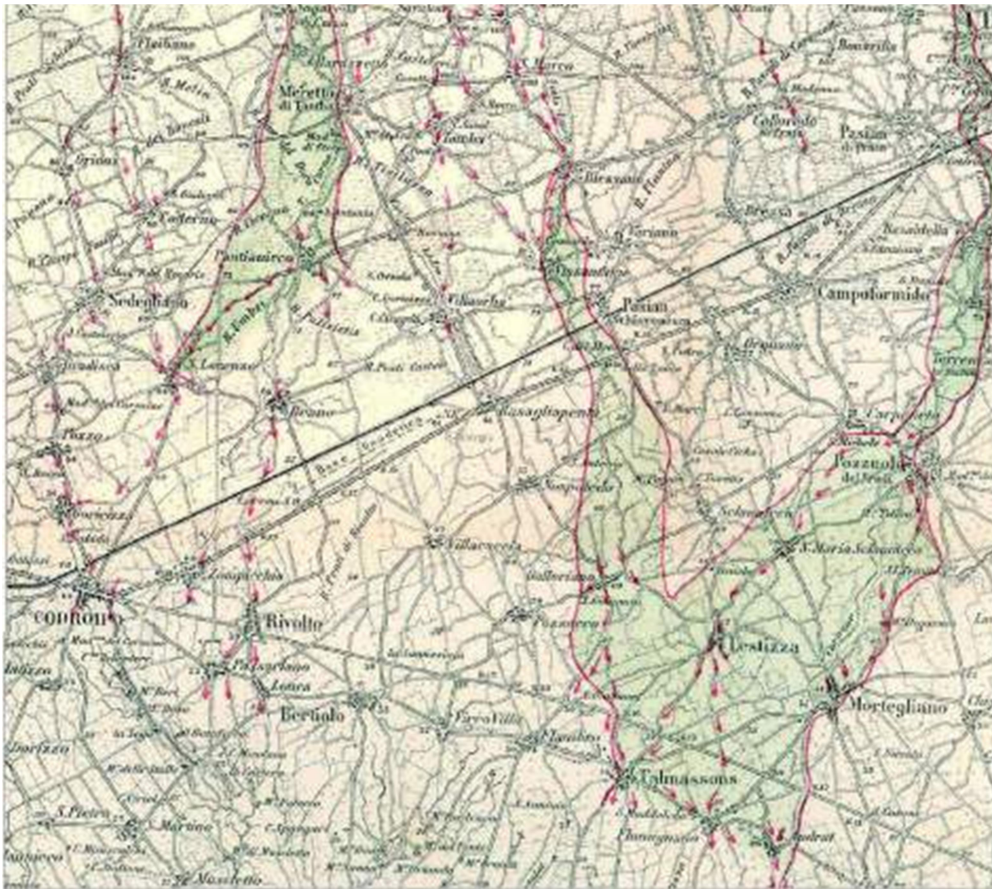


Figura 1.2 Tavola degli allagamenti del settembre 1920 (tratta dalla pubblicazione n. 114 del R. Magistrato alle Acque: 'Le piogge e le piene dei fiumi friulani nella terza decade del settembre 1920', a cura dei Dott. Ardito Desio e Dott. Egidio Feruglio, 1924).

1.2.3 Evento dell'11 novembre 2014

Il giorno 11 novembre 2014 si è verificato un evento particolarmente intenso, avente durata pari a circa 5 ore, che ha interessato buona parte del territorio regionale, concentrandosi lungo una fascia Nord-Est – Sud-Ovest fra i Musi (precipitazione cumulata giornaliera pari a 240 mm) e Codroipo (151 mm), interessando quindi anche la zona dei bacini delle Lavie. L'evento è avvenuto in condizioni di terreni già saturi (266 mm di precipitazione registrati dal pluviometro di Fagagna nel periodo 4-10 novembre 2014), viste le abbondanti precipitazioni cadute nella settimana precedente l'evento. Durante l'evento, la stazione di Codroipo ha registrato come valori massimi 42.2 mm in un'ora, 68.7 mm in due ore, 108.5 mm in tre ore, 125.6 mm in quattro ore e 134.2 mm in 5 ore. Per quanto riguarda la zona dei bacini delle Lavie, oltre ad essersi riscontrati fenomeni di allagamento nelle porzioni meridionali degli stessi, degno di nota è il quasi totale riempimento dell'invaso di Blessano, pur essendo il bacino della Lavia di Galleriano non interamente soggetto a precipitazioni intense. Le situazioni maggiormente critiche si sono comunque avute nelle frazioni a nord dell'invaso, quali Plasencis, San Marco e Savalons (Comune di Mereto di Tomba).

2 Gli eventi estremi

2.1 Concetto di evento estremo e sua caratterizzazione

Si definisce evento meteorico estremo, un evento che può essere considerato “raro” in riferimento alla distribuzione statistica degli eventi che avvengono in un dato luogo. Per definire la “rarietà” di accadimento di un evento, bisogna perciò effettuare un’analisi statistico-probabilistica dei dati idrologici registrati in quel dato luogo. L’analisi statistico-probabilistica ha l’obiettivo di collegare la magnitudo degli eventi di precipitazione alla loro frequenza di accadimento tramite l’utilizzo di distribuzioni di probabilità.

I dati registrati vengono considerati un campione estratto dalla popolazione di eventi avvenuti, considerata di dimensione infinita. Partendo dalle funzioni di frequenza di accadimento relativa e cumulata osservate sul campione, tramite l’inferenza statistica si cerca di derivare le funzioni di densità di probabilità $f(x)$ e di probabilità $F(x)$ per la popolazione. In particolare la probabilità di non superamento $F_{ns}(x)$ è definita come la probabilità che la variabile in esame X (nel nostro caso la precipitazione) assuma un valore compreso fra 0 e x . Si definisce probabilità di superamento $F_s(x)$ la probabilità che X assuma un valore maggiore di x , ossia il complemento a 1 di $F_{ns}(x)$: $F_s(x) = 1 - F_{ns}(x)$.

Dato perciò un campione di dati registrati in un luogo, è ragionevole supporre che il comportamento statistico della popolazione sia rappresentato da quello del campione, ammesso che la quantità di eventi del campione sia sufficientemente numerosa. Ipotizzando dati di altezze di precipitazione o portate e di identificare nel campione la mediana (ossia il valore che suddivide a metà il campione), la metà degli eventi avranno un valore maggiore o uguale al valor mediano. Ipotizzando di utilizzare come tempo di osservazione l’anno, la mediana è, di conseguenza, un valore che “ritorna” mediamente una volta ogni due anni, ossia ha una frequenza di accadimento di 0.5.

Per passare dai valori campionari ai valori che può assumere la popolazione nel futuro è necessario descrivere i dati del campione tramite un’adeguata funzione matematica, che riesca ad estendersi oltre i valori disponibili. Si passa così dal calcolo delle frequenze di accadimento alle distribuzioni di probabilità. In questo ambito, il **tempo di ritorno** T_R di un evento viene definito come

$$T_R = \frac{1}{F_s(x)} = \frac{1}{1 - F_{ns}(x)} \quad (1)$$

Il T_R di un evento di assegnata intensità è quindi il numero di anni che mediamente separa due eventi di intensità uguale o superiore all’intensità assegnata. Mediamente è la parola chiave della definizione: è scorretto sostenere che l’evento T-ennale si ripete ogni T_R anni, in quanto ogni anno si ha la medesima probabilità $1/T_R$ che quell’evento possa verificarsi.

Per calcolare la probabilità che un evento con T_R maggiore o uguale dell’evento T-ennale stabilito avvenga almeno una volta in un periodo di N anni, si utilizzano gli assiomi legati al calcolo probabilistico.

Probabilità di superamento in ciascun anno	$1/T_R$
Probabilità di non superamento in ciascun anno	$1 - 1/T_R$
Probabilità di non superamento in N anni	$[1 - 1/T_R]^N$

Probabilità di superamento in N anni

$$1 - [1 - 1/T_R]^N$$

Considerata un'opera dimensionata per l'evento X con tempo di ritorno T_R , il rischio $R_N(X)$, ossia la probabilità che l'opera risulti insufficiente almeno una volta durante N anni di funzionamento, è pari alla probabilità di superamento in N anni:

$$R_N(X) = 1 - \left[1 - \frac{1}{T_R}\right]^N \quad (2)$$

Per estrapolare i dati nel futuro e valutare correttamente probabilità e rischi di accadimento, è quindi necessario trovare uno strumento adatto che descriva adeguatamente il campione e che permetta di estendere la previsione oltre i valori disponibile. La statistica offre numerosi tipi di funzioni di distribuzione ed alcune di esse ben si adattano a descrivere la probabilità relativa ad eventi idrologici estremi. In tutto ciò, diventa altresì fondamentale l'estrazione dei valori del campione sui quali andare a fare inferenza statistica.

2.2 Analisi dei massimi annuali

Il metodo classico di campionamento degli eventi estremi è quello di dividere in blocchi temporali il periodo di osservazione (in genere la durata considerata è l'anno) e considerare per ogni blocco il valore massimo che la variabile idrologica in esame assume. In questo modo, si suppone che gli eventi siano indipendenti, ossia che la precipitazione massima di un anno non influenzi la precipitazione massima dell'anno successivo.

Generalmente la distribuzione di probabilità che viene utilizzata per descrivere le osservazioni dei massimi annuali è la distribuzione di doppio esponenziale (o di Gumbel)

$$F_{ns}(x) = e^{-e^{-\frac{h-u}{\alpha}}} = e^{-e^{-y}} \quad (3)$$

Dove h indica la precipitazione, α e u i parametri della distribuzione che vengono stimati partendo dai dati del campione e y la variabile ridotta. La stima dei parametri della distribuzione può essere eseguita secondo diverse metodologie. Nel presente lavoro, la stima dei parametri della distribuzione verrà eseguita secondo il metodo dei momenti, con $\alpha = \frac{\sigma\sqrt{6}}{\pi}$ e $u = \bar{h} - \gamma\alpha$, dove σ è lo scarto quadratico medio del campione di massimi annuali considerato, \bar{h} il suo valor medio e γ la costante di Eulero-Mascheroni ($\gamma \cong 0.5772$).

2.3 Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica

La linea segnalatrice di possibilità pluviometrica è una funzione che provvede il valore di precipitazione in funzione della durata della stessa per un assegnato tempo di ritorno. Per ogni stazione si determinano i valori estremi di precipitazione costituito dai valori sopra soglia od eccedenze (o dai massimi annuali) per varie durate. Le durate abitualmente considerate sono 1, 3, 6, 12, 24 ore, alle quali si aggiungono quelle degli scrosci 5, 10, 15, 30, 45 minuti quando si ha a che fare con fenomeni che si attivano in tempi rapidi,

come nel caso di flash floods e colate detritiche. Negli studi relativi a grandi comprensori di bonifica, invece, si possono utilizzare anche le durate di 1, 2, 3, 4, 5 giorni.

Ciascuna serie (ossia il campione di eventi relativo ad una data durata) viene regolarizzata in modo indipendente dalle altre, calibrando le distribuzioni statistiche di probabilità nella maniera più opportuna. Così facendo, è possibile ricavare i valori di precipitazione relativi a qualsiasi tempo di ritorno T_R per ogni durata considerata.

Nella pratica progettuale, però, dato il T_R di progetto, è importante e quasi sempre necessario aver la possibilità di conoscere il valore della precipitazione relativo ad una durata diversa da quelle utilizzate nel calcolo, durata che può essere caratteristica del sistema idrologico/idraulico in esame. Per fare ciò viene introdotto il concetto di **linea segnalatrice di possibilità pluviometrica (LSPP)**, ossia quella relazione che lega altezza h e durata t della pioggia per un assegnato tempo di ritorno.

La LSPP viene generalmente descritta nella forma

$$h = at^n \quad (4)$$

in cui i parametri a ed n variano con il tempo di ritorno e vengono ricavati dall'interpolazione dei valori ottenuti dall'analisi-statistico probabilistico per le serie di precipitazioni osservate di diverse durate. La curva LSPP viene determinata per interpolazione lineare dei valori di $h(T_R)$ calcolati utilizzando l'eq. (6) in un cartogramma bilogarithmico $\log t - \log h$:

$$\log h = \log a + n \log t \quad (5)$$

La LSPP può anche essere espressa in termini di intensità di precipitazione i :

$$i = \frac{h}{t} \quad \Rightarrow \quad i = at^{(n-1)} \quad (6)$$

Dato che sperimentalmente $0 < n < 1$, l'intensità di precipitazione decresce con la durata, come effettivamente avviene in natura.

2.4 Processamento dei dati

Il pluviometro utilizzato per la valutazione delle LSPP è quello di **Udine-Castello**, in quanto con una lunghezza della serie storica di registrazione dei massimi annuali (per le durate di 1, 3, 6, 12, 24 ore) lunga oltre 60 anni. La scelta di utilizzare e processare la serie storica dei dati e non di utilizzare il software RainMapFVG è legata ai tempi di ritorno che il software restituisce, che si limitano ai 200 anni, mentre per lo studio in questione è necessario spingersi fino ai 300 anni.

Ogni serie di dati riguardante i massimi annuali delle altezze di pioggia è stata ordinata in senso crescente e ad ogni valore è stato assegnato un indice di posizione i in funzione del posizionamento nella serie e la

relativa frequenza cumulata di non superamento empirica F_i , calcolata mediante la formula di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}, \text{ con } N \text{ numero di osservazioni del campione.}$$

Considerato che le osservazioni dei massimi annuali di pioggia tendono a distribuirsi secondo la distribuzione di Gumbel e ipotizzato che si possa confondere la distribuzione cumulata di non superamento $F(h_i)$ con la frequenza empirica di Weibull, è possibile mettere in relazione sul cartogramma probabilistico di Gumbel la variabile ridotta $y_i = -\ln(-\ln(F_i))$ con l'altezza di precipitazione h , per verificare la bontà dell'adattamento della legge di Gumbel ai dati del campione. Una volta calcolati i parametri della distribuzione cumulata di non superamento α e u con il metodo dei momenti, è possibile verificare anche la bontà dell'approssimazione $F(h_i) \approx F_i$ tramite Q-Q plot.

Una volta verificato l'adattamento della legge di Gumbel ai dati del campione, è possibile stimare le altezze di pioggia $h(T_R)$, in funzione dei tempi di ritorno T_R di interesse. Dato che $T_R = \frac{1}{1-F(h_i)}$, è possibile calcolare $h(T_R) = u - \alpha \left(\ln \left(\ln \left(\frac{T_R}{T_R-1} \right) \right) \right)$. L'interpolazione dei valori $h(T_R)$ ottenuti dall'analisi-statistico probabilistico in funzione delle diverse durate di precipitazione permette di calcolare le LSPP per i tempi di ritorno di progetto (30, 100, 300 anni). In Tabella 2-1 si riportano i parametri delle LSPP calcolate e, a titolo di confronto, i valori ottenuti per i comuni di Basiliano e Fagagna tramite il software RainMapFVG. I risultati mostrano come i valori calcolati siano in linea, con la LSPP calcolata tramite il pluviometro di Udine Castello che fornisce valori di precipitazione più gravosi.

Tabella 2-1 Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno 30, 100 e 300 anni per il pluviometro di Udine

T_r	Udine Castello		Basiliano (RainMapFVG)		Fagagna (RainMapFVG)	
	a	n	a	n	a	n
30 anni	66.1	0.33	-	-	-	-
100 anni	78.8	0.34	74.0	0.30	77.8	0.30
300 anni	90.3	0.34	-	-	-	-

Castello e per i comuni di Basiliano e Fagagna, ottenuti tramite il software RainMapFVG

2.5 Analisi dei tempi di ritorno degli eventi storici

Utilizzando l'analisi statistico-probabilistica eseguita sui massimi annuali del pluviometro di Udine Castello, può essere di interesse caratterizzare gli eventi presentati al Paragrafo 1.2.

2.5.1 Evento del settembre 1920

Dall'analisi preliminare dei dati cumulati su più ore riportati al Paragrafo 1.2.1, si può affermare che l'evento pluviometrico abbia mostrato un tempo di ritorno progressivamente crescente con la durata dell'evento stesso. Questo va da circa 15 anni per l'intervallo di un'ora, a circa 45 anni per l'intervallo di tre ore, a superare i 300 anni per l'intervallo di cinque ore (circa 500 anni), superando ulteriormente tale valore se si considera il totale cumulato giornaliero (401.6 mm). Le statistiche indicano infatti che la pioggia giornaliera corrispondente a un tempo di ritorno di 300 anni è pari a 265.3 mm.

2.5.2 Evento del 5-7 ottobre 1998

Analogo comportamento per l'evento del 1998, con il tempo di ritorno che cresce con l'aumentare della durata della precipitazione. Si va da un tempo di ritorno di circa 175 anni per una durata di precipitazione di tre ore e si superano abbondantemente i 300 anni per l'intervallo di 6 ore (203 mm registrati contro i 165.8 teorici per $T_R=300$ anni). Per la durata giornaliera, la precipitazione cumulata è inferiore rispetto all'evento del 1920 (273.3 mm), bensì anche in questo caso con un tempo di ritorno ben al di sopra dei 300 anni teorici.

2.5.3 Evento dell'11 novembre 2014

Come riportato al Paragrafo 1.2.3, l'evento del 2014 è stato il meno gravoso tra i tre riportati. Nonostante ciò, è stato l'evento più utile in fase di progettazione, per le indicazioni fornite sulla durata e sulla risposta idrologica dei bacini delle Lavie. I tempi di ritorno dell'evento infatti variano da meno di 5 anni per il valore massimo di durata oraria, a 70 anni per le tre ore di precipitazione, a 90-100 anni per la durata cinque ore di precipitazione. Ancora una volta (come successo per l'evento del 1920 e per quello del 1998) si rileva la peculiare caratteristica dell'aumento del tempo di ritorno all'aumentare della durata di pioggia.

3 Analisi geospaziali dei dati

Ai fini della descrizione delle caratteristiche dei bacini oggetto dello studio, si è fatto eseguita un'analisi geospaziale con l'ausilio del software GIS ArcMAP® a partire dai dati LiDAR scaricabili dal sito della Regione Friuli Venezia Giulia. Tramite una serie di algoritmi dedicati all'analisi idrologica, il software permette di determinare i bacini di drenaggio e il relativo reticolo idrografico, oltre a fornire alcuni parametri morfologici utili a definire le caratteristiche del territorio in esame. La delimitazione dei bacini scolanti è stata fatta tramite depittaggio del modello digitale del terreno e valutazione dell'area drenata tramite algoritmo D8.

Come già riportato in precedenza, le Lavie moreniche sono corsi d'acqua talvolta non ben identificabili (specialmente verso la pianura); nonostante questo, per procedere con l'analisi idrologica è necessaria l'individuazione di opportune sezioni di chiusura, per procedere poi con le successive modellazioni. Sono quindi stati definiti i punti di chiusura tenendo presente l'obiettivo principale del lavoro: come riportato in Prefazione, l'obiettivo del presente elaborato è svolgere una analisi del territorio al fine di delimitare i bacini scolanti afferenti alla Lavia di Basiliano, tenendo in considerazione gli effetti derivanti dalla realizzazione del bacino di laminazione di Blessano in fase di modellazione idraulica. La scelta progettuale fatta è stata pertanto valutare i bacini montani afferenti alla Lavia di interesse sulla scorta di quanto proposto da Nicolini (2016)¹, chiudendoli a monte dell'invaso di Blessano, per permettere una valutazione più precisa dell'interazione con la vasca a monte dell'abitato.

I parametri calcolati per i bacini considerati sono: superficie **S** (km²), lunghezza asta principale **L** (km), pendenza media **i_f** (m/m), quota massima **H_{max}** e quota sezione chiusura **H₀** (m s.l.m.), **CN**, tempo di corrivazione **t_c** (stimato con diverse formule), coefficiente di afflusso ponderale.

Per quanto riguarda la stima del tempo di corrivazione dei bacini individuati, si è fatto ricorso alle classiche formule presenti in letteratura, quali:

- Kirpich:

$$t_c = 0.066L \left(\frac{1000L}{0.8(H_{max} - H_0)} \right)^{0.385}$$

- Pasini:

$$t_c = \frac{0.108(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i_f}}$$

¹ Nicolini, Matteo (2016). Analisi generale e realizzazione del modello idrologico-idraulico di simulazione delle "Lavie" moreniche comprese tra Rive d'Arcano e Martignacco (Coroncon-Viuzza, Siul, Celario-Madrisana, Fosso del Pasco, Lavia di Galleriano, Tampognacco, Volpe)

- Pezzoli:

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i_f}}$$

- Puglisi:

$$t_c = 6L^{2/3}(H_{max} - H_0)^{-1/3}$$

Nelle quali t_c è in ore, L in km, H_{max} e H_0 espresse in metri s.l.m., i_f in m/m e S in km².

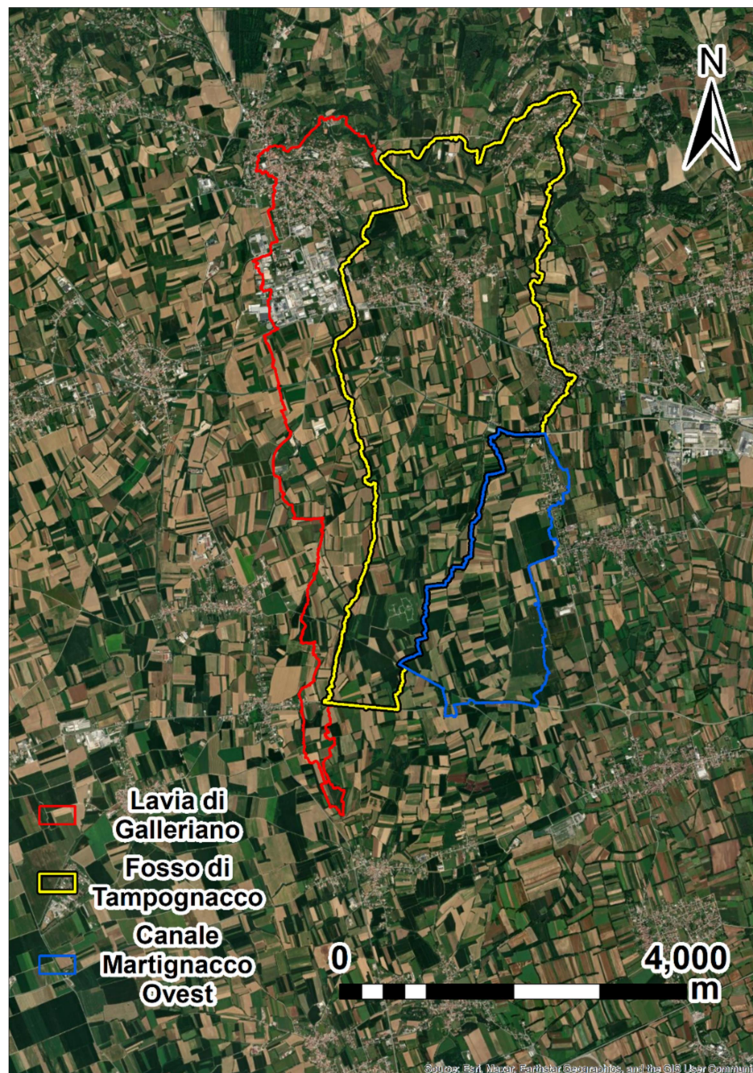


Figura 3.1 Bacini oggetto di analisi nel presente elaborato

Tabella 3-1 Determinazione delle principali caratteristiche dei bacini oggetto di studio

Parametro	Lavia di Galleriano	Tampognacco	Martignacco Ovest
$S \text{ (km}^2\text{)}$	5.76	10.96	3.34
$L \text{ (km)}$	10.20	11.80	4.80
$i_f \text{ (m/m)} * 1000$	9.94	8.53	3.46
$H_{max} \text{ (m s.l.m.)}$	266.40	270.60	130.10
$H_0 \text{ (m s.l.m.)}$	91.10	98.80	99.93
$t_c \text{ Kirpich (ore)}$	3.51	4.32	2.43
$t_c \text{ Pasini (ore)}$	4.21	5.91	4.63
$t_c \text{ Pezzoli (ore)}$	5.63	7.03	4.49
$t_c \text{ Puglisi (ore)}$	5.04	5.59	5.48
$t_c \text{ mediato (ore)}$	4.60	5.71	4.26

La distribuzione spaziale dei valori del coefficiente CN (di classe II) è stata valutata sovrapponendo le informazioni relative alla copertura del suolo, ricavabili dalla Corine Land Cover (anno 2018) con le informazioni della carta geologica (Foglio 66 - UDINE, tavolette: 0663 – Campofornido; 0664 – San Daniele del Friuli, riportate in Figura 3.2 e Figura 3.3) opportunamente georiferita.

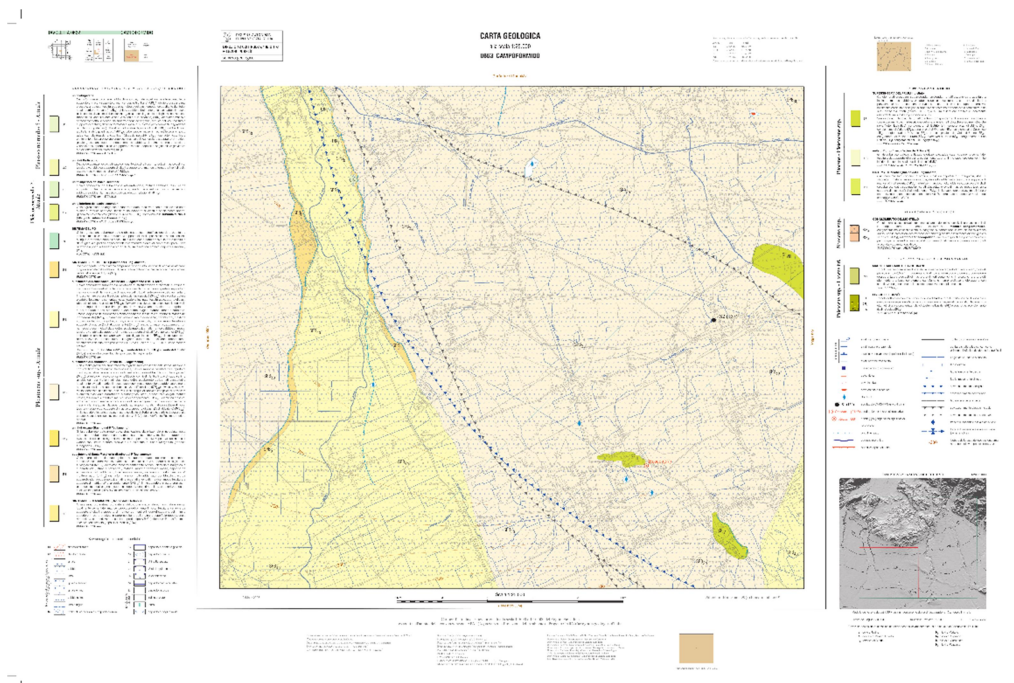


Figura 3.2 Carta geologica, Foglio 66, Tavoletta 0663 - Campofornido.

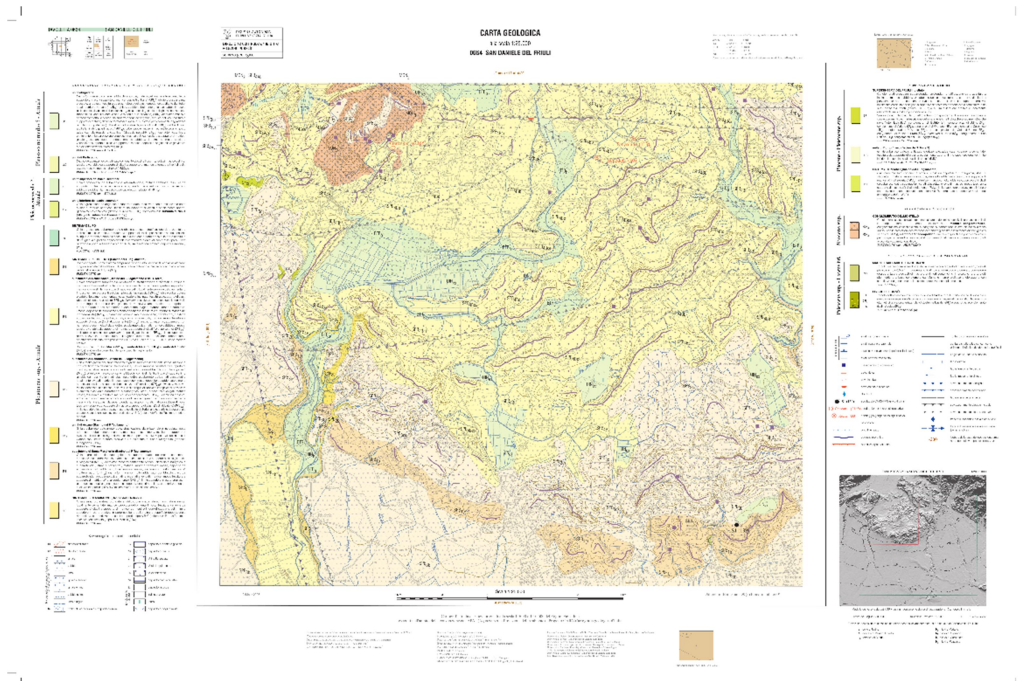


Figura 3.3 Carta geologica, Foglio 66, Tavoleta 0664 – San Daniele del Friuli.

Per quanto riguarda il metodo del Curve Number, è noto che la precipitazione cumulata netta fino al tempo t , $p_e(t)$, in mm, è data dalla seguente espressione:

$$p_e(t) = \frac{p(t) - I_a}{p(t) - I_a + S}$$

nella quale $p(t)$ rappresenta la pioggia cumulata al tempo t , I_a le perdite iniziali in mm (*initial abstraction*) e il parametro S :

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

dove il CN è desumibile da tabelle in funzione del tipo di copertura e dal tipo di suolo.

4 Modellazione idrologica

Per la valutazione delle portate di piena dei bacini oggetto di studio, si è impiegato il programma HEC-HMS v. 4.10, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center (U.S.A.) presso l'U.S. Army Corps of Engineers. HEC-HMS è un modello idrologico per il calcolo dell'idrogramma di piena prodotto da un ietogramma di precipitazione in un bacino idrografico. Le fasi in cui si articola la creazione del modello consistono in:

- 1) schematizzazione rete idrografica per i bacini di interesse;
- 2) individuazione della componente di deflusso superficiale;
- 3) determinazione dell'Idrogramma Unitario.

Oltre all'utilizzo del metodo del Curve Number per la valutazione della precipitazione efficace, l'elaborazione dell'idrogramma di piena si è basata sull'idrogramma unitario sintetico SCS, per la determinazione del quale viene richiesto un unico parametro T_{LAG} (in ore) dato dal ritardo tra il baricentro dello ietogramma della precipitazione netta ed il colmo dell'idrogramma unitario. Empiricamente, il valore di $T_{LAG} = 0.6 t_c$.

Le assunzioni fatte alla base della modellazione sono state:

- 1) Bacini schematizzabili tramite parametri concentrati (CN medio e idrogramma unitario sintetico SCS);
- 2) Tempo di pioggia pari a 6 ore, pari al massimo tempo di corrvazione tra quelli dei bacini analizzati;
- 3) Ietogramma a blocchi alterni di tipo Chicago (Figura 4.1).

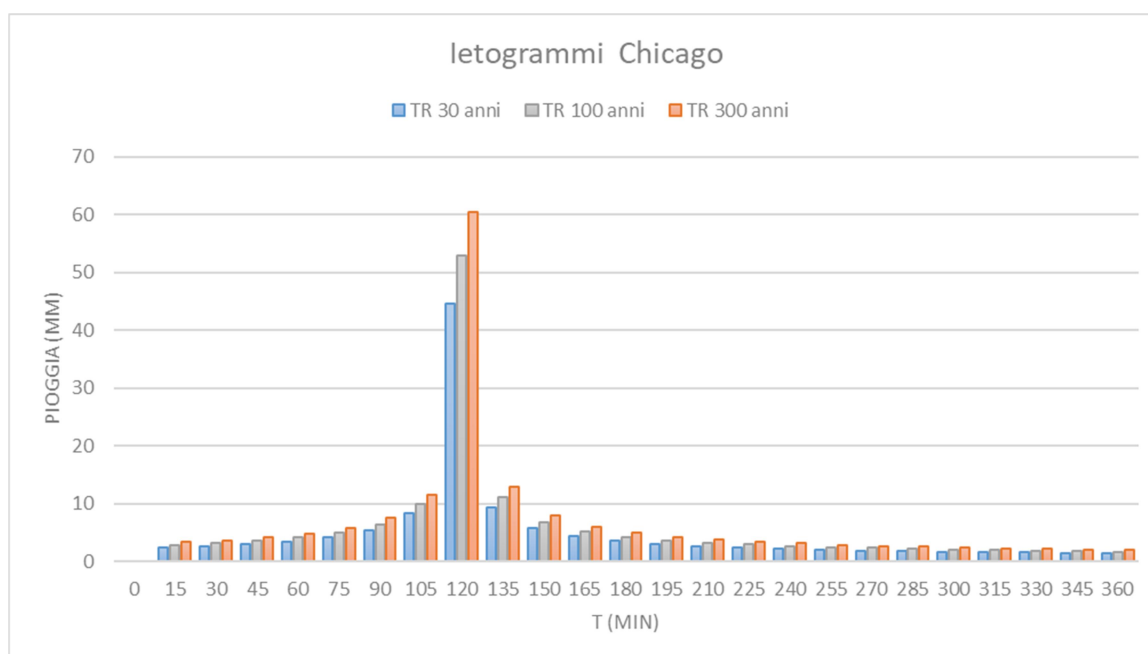


Figura 4.1 Ietogrammi di progetto a blocchi alterni tipo Chicago.

Data l'assenza di dati misurati e l'intermittenza dei corsi d'acqua oggetto di indagine, si è deciso di assumere come benchmark l'evento avvenuto nel novembre 2014, perché l'unico fra i tre riportati alla sezione 1.2 in grado di fornire indicazioni progettuali utili: un evento di durata 5 ore e tempo di ritorno fra i 90 e i 100 anni, durante il quale l'invaso di Blessano si è riempito quasi completamente. La calibrazione del modello è avvenuta pertanto in maniera iterativa, modellando l'evento dell'11 novembre 2014 per i bacini della Lavia di Galleriano e del Fosso di Tampognacco. Considerato fisso per i due bacini il parametro T_{LAG} dell'idrogramma unitario, si è andati ad agire sui coefficienti CN. Per assegnare i valori di CN di primo tentativo si sono utilizzati i valori riportati nella relazione di Nicolini (2016), che aveva analizzato la stessa area. La calibrazione è terminata quando la volumetria combinata degli idrogrammi di piena si approssimava ai 90.000 m³, capacità stimata dell'invaso di Blessano. Quest'ipotesi determina che, per l'evento di progetto con tempo di ritorno pari a 100 anni e durata 6 ore, l'invaso di Blessano conterrà quasi completamente la risposta idrologica dei bacini ad esso afferenti, sulla scorta delle condizioni osservate nel novembre 2014. Si riportano in Tabella 4-1, i parametri dei bacini e i risultati della modellazione idrologica conseguente per i vari tempi di ritorno (gli idrogrammi di progetto sono rappresentati anche in Figura 4.2, Figura 4.3 e Figura 4.4).

Tabella 4-1 Parametri del modello idrologico e risultati delle simulazioni per i bacini oggetto di studio

Parametro	Lavia di Galleriano	Tampognacco	Martignacco Ovest
<i>Curve Number</i>	39	33	30.5
<i>T_{LAG} (min)</i>	180	180	145
Evento	11 Novembre 2014		
<i>Precipitazione (mm)</i>	134.2		
<i>Precipitazione efficace (mm)</i>	6.6	1.8	0.5
<i>Portata di picco (m³/s)</i>	2.3	1.2	0.1
<i>Volume (1000m³)</i>	58.6	29.8	3.0
Evento	T_R=30 anni		
<i>Precipitazione (mm)</i>	120.0		
<i>Precipitazione efficace (mm)</i>	3.8	0.5	0.0
<i>Portata di picco (m³/s)</i>	1.1	0.4	0.0
<i>Volume (1000m³)</i>	31.5	8.9	0.0
Evento	T_R=100 anni		
<i>Precipitazione (mm)</i>	144.0		
<i>Precipitazione efficace (mm)</i>	9.0	3.0	1.3
<i>Portata di picco (m³/s)</i>	2.6	1.8	0.3
<i>Volume (1000m³)</i>	74.8	48.6	6.8
Evento	T_R=300 anni		
<i>Precipitazione (mm)</i>	165.8		
<i>Precipitazione efficace (mm)</i>	15.4	6.8	3.9
<i>Portata di picco (m³/s)</i>	4.3	3.8	0.8

Carlo Gregoretti, Matteo Barbini, Martino Bernard

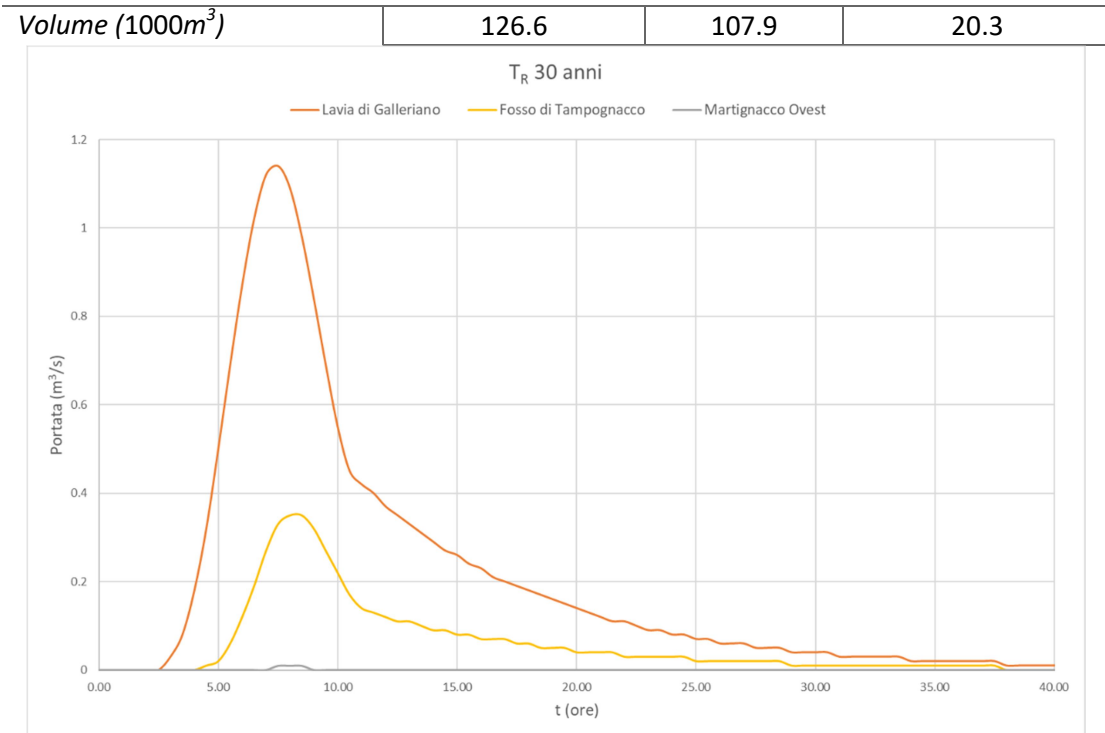


Figura 4.2 Idrogrammi di progetto per tempo di ritorno 30 anni

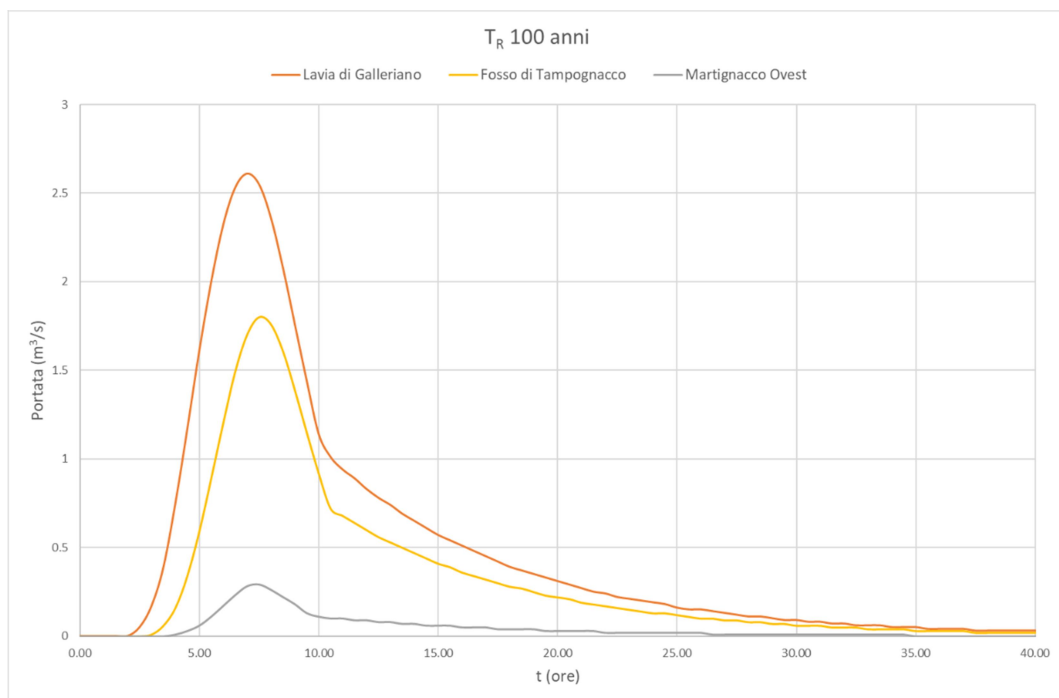


Figura 4.3 Idrogrammi di progetto per tempo di ritorno 100 anni

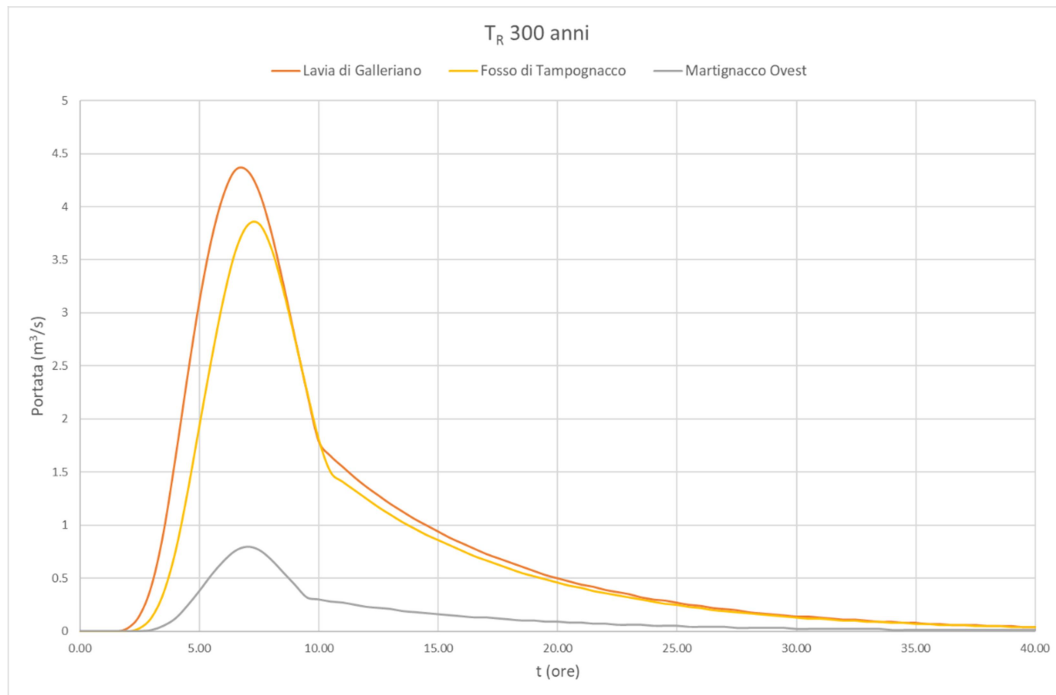


Figura 4.4 Idrogrammi di progetto per tempo di ritorno 300 anni

I valori di CN potrebbero sembrare bassi rispetto ai valori di riferimento di letteratura. Tuttavia, essi sono legati all'elevata permeabilità del terreno. Si riporta a supporto un estratto della relazione geologica di accompagnamento al progetto definitivo dell'opera d.d. 14.12.2006, a firma del dott. geol. Sergio Benedetti:

“L'intervento progettuale si sviluppa costantemente sui potenti depositi fluvio-glaciali ed alluvionali ghiaiosi dell'Alta Pianura, che poggiano direttamente sul substrato basale costituito da rocce carbonatiche e/o marnoso-arenacee del Miocene. Lo spessore della coltre alluvionale risulta estremamente variabile e spesso indeterminato e nell'area assume valori compresi tra 200 e 300 metri di spessore. Le alluvioni si presentano prevalentemente carbonatiche, generalmente grossolane e sciolte, ed a livello superficiale ferrettizzate, con uno strato di alterazione esiguo che di solito non supera il metro di potenza, mentre in profondità si possono rinvenire livelli cementati dalla circolazione profonda di acque ricche in sospensione di carbonati di calcio. Si tratta prevalentemente di depositi di ghiaie in matrice sabbioso-limoso più o meno abbondante con frequenti livelli sabbiosi a varia percentuale di limi; le ghiaie sono a granulometria grossolana e disuniforme ed in profondità sono caratterizzate dalla presenza di strato-lenti a cementazione diffusa.”.

Si riportano inoltre i livelli di falda, rilevati in alcuni pozzi sparsi nell'area di analisi (Figura 4.5). È da evidenziare come il livello non vari significativamente nel tempo, anche durante i periodi di prolungata precipitazione, come durante gli eventi del 1998 e del 2014 (Figura 4.6), mantenendosi intorno ai 30 metri rispetto al piano campagna nella parte più a nord dell'area oggetto di modellazione idraulica e fra i 10 e i 20 metri a sud dell'opera in progetto.

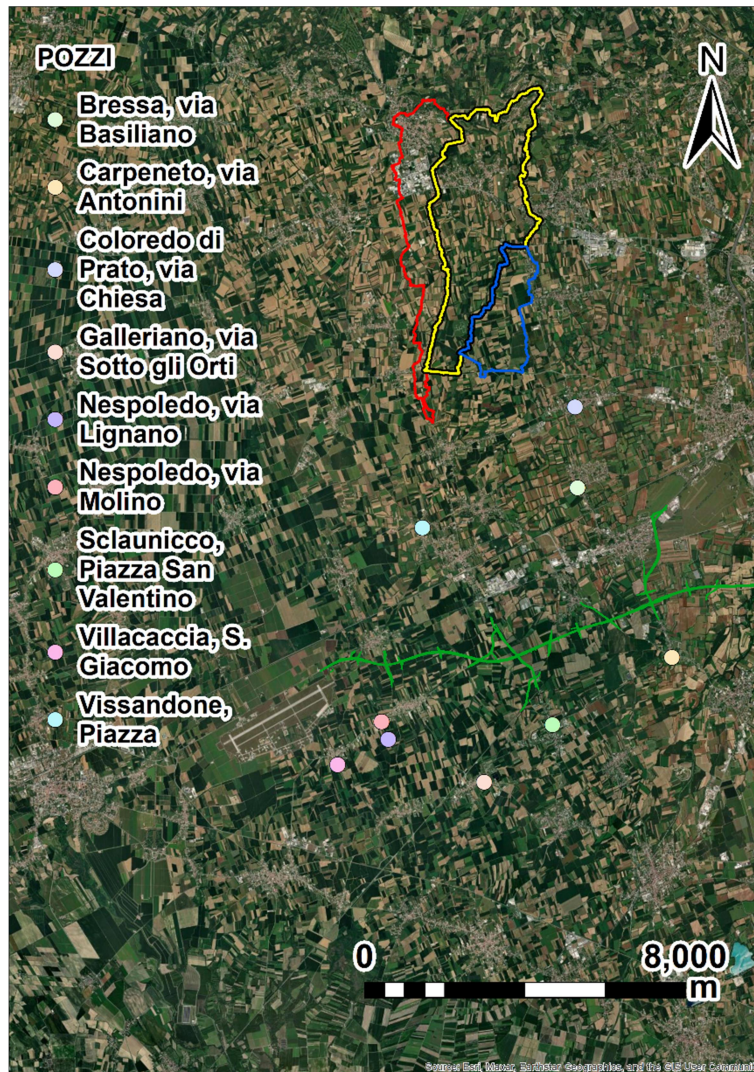


Figura 4.5 Geolocalizzazione dei pozzi monitorati

Carlo Gregoretti, Matteo Barbini, Martino Bernard

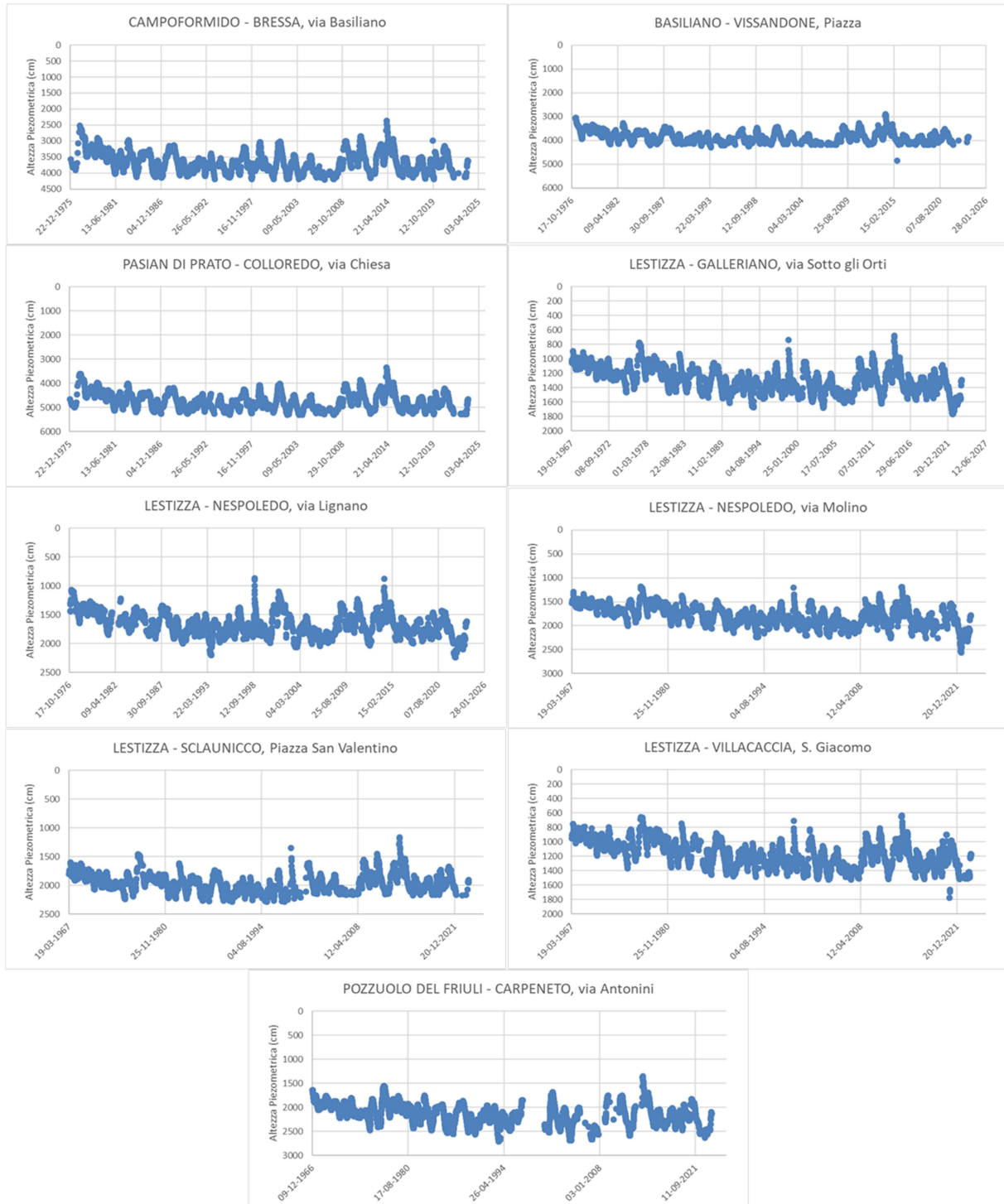


Figura 4.6 Livello di falda monitorato negli anni nei pozzi analizzati nel presente studio