

Comune di Pavia di Udine

Progetto di fattibilità tecnica ed economica:

***REALIZZAZIONE PISTA CICLABILE IN PROSSIMITÀ
DELLA ALPE ADRIA RFVG1 – ITINERARIO CICLABILE
TRA LAUZACCO E PAVIA DI UDINE – II Lotto***

Studio di compatibilità idraulica ai fini dell'invarianza idraulica

Applicazione del principio di invarianza idraulica
(art. 14, comma 1, lettera k, L.R. n.11/2015)

**ATP: arch. Federico Fabris, arch. Giuseppe Liotta, geologo
Enrico Massolino, arch. Maurizio Sittaro e ing. Paolo Spadetto**

**Progettista specialistico idraulica:
Ing Paolo Spadetto**

**Data: 23 dicembre 2021
Rev01 28-11-2022**

INDICE

1	Premesse	3
2	Descrizione della trasformazione in oggetto e dei luoghi	4
2.1	Livello di significatività dell'intervento.....	8
3	Valutazione delle caratteristiche dei luoghi ai fini della determinazione delle misure compensative.....	9
3.1	Calcolo del coefficiente di afflusso ante operam e post operam	9
3.2	Analisi pluviometrica con RainMap FVG.....	10
3.2.1	Introduzione	10
3.2.2	Il metodo di Gumbel	11
3.3	Determinazione della portata drenante dall'area in esame rispetto allo stato di fatto.....	14
3.4	Considerazioni geologiche	15
4	Determinazione dei volumi minimi di invaso	17
4.1	Metodo del serbatoio lineare (Paoletti – Rege Gianas, 1979).....	17
4.2	Metodo cinematico (Anfonsi & Orsi, 1967)	19
4.3	Verifica dei volumi di invaso.....	20
5	Tabella riassuntiva di compatibilità idraulica	22

1 Premesse

Il presente “Studio di compatibilità idraulica ai fini dell’invarianza idraulica” viene redatto nell’ambito del Progetto di fattibilità tecnica-economica per i lavori di “*Realizzazione pista ciclabile in prossimità della Alpe Adria RFVGI – Itinerario ciclabile tra Lauzacco e Pavia di Udine - II Lotto*” e della relativa variante al PRGC. Ai sensi dell’articolo 14 comma 1 lettera k) della Legge Regionale n. 11/2015 (*Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque*), le conseguenze sotto gli aspetti idrologici e idraulici derivanti da trasformazioni territoriali del territorio regionale sono disciplinate dal D.P.Reg. n. 83/2018 (*Regolamento recante disposizioni per l’applicazione del principio dell’invarianza idraulica di cui all’articolo 14 comma 1 lettera k) della Legge Regionale n. 11/2015*).

Sulla base dell’articolo 2 comma 1 del suddetto Regolamento, il presente progetto è soggetto all’applicazione del Regolamento stesso, in quanto incidono sul regime idrologico e idraulico:

- a) gli strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti, qualora comportino trasformazioni urbanistico-territoriali e necessitino di parere geologico di cui alla Legge Regionale n. 27/1988 (Norme sull’osservanza delle disposizioni sismiche ed attuazione dell’articolo 20 della Legge n. 741/1981), le cui disposizioni continuano ad applicarsi fino all’adozione dei provvedimenti attuativi indicati all’articolo 3, commi 2, 3 e 4 e all’articolo 17 della Legge Regionale n. 16/2009 (Norme per la costruzione in zona sismica e per la tutela fisica del territorio).

La presente relazione riporta, in conformità ai contenuti dell’Allegato 1 al Regolamento, i contenuti essenziali dello Studio di compatibilità idraulica, i metodi da utilizzare per il dimensionamento dei volumi di invaso e dei dispositivi idraulici, nonché i principali criteri progettuali e costruttivi dei manufatti.

Il presente Studio di compatibilità idraulica:

- dimostra che l’esistente livello di pericolosità idraulica non viene aggravato per effetto delle nuove previsioni di trasformazione;
- risulta coerente con le condizioni idrauliche del territorio;
- prevede volumi di invaso per la laminazione delle portate di piena;
- contiene la “Tabella riassuntiva di compatibilità idraulica” di cui all’articolo 3 comma 1 lettera v);
- è corredato da analisi pluviometrica eseguita con l’applicativo regionale RainMap FVG in quale indica:
 - a. le coordinate geografiche baricentriche della superficie drenante di riferimento rispetto alle quali sono state ottenute le curve di pioggia;
 - b. le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP);
 - c. i coefficienti della curva di possibilità pluviometrica a, n ed n’ in funzione del tempo di ritorno di riferimento.

2 Descrizione della trasformazione in oggetto e dei luoghi

Il Progetto prevede la realizzazione di una pista ciclabile in comune di Pavia di Udine. Il presente II lotto si sviluppa tra la frazione di Lauzacco e il capoluogo, lungo un tracciato prevalentemente parallelo alla sede stradale esistente.

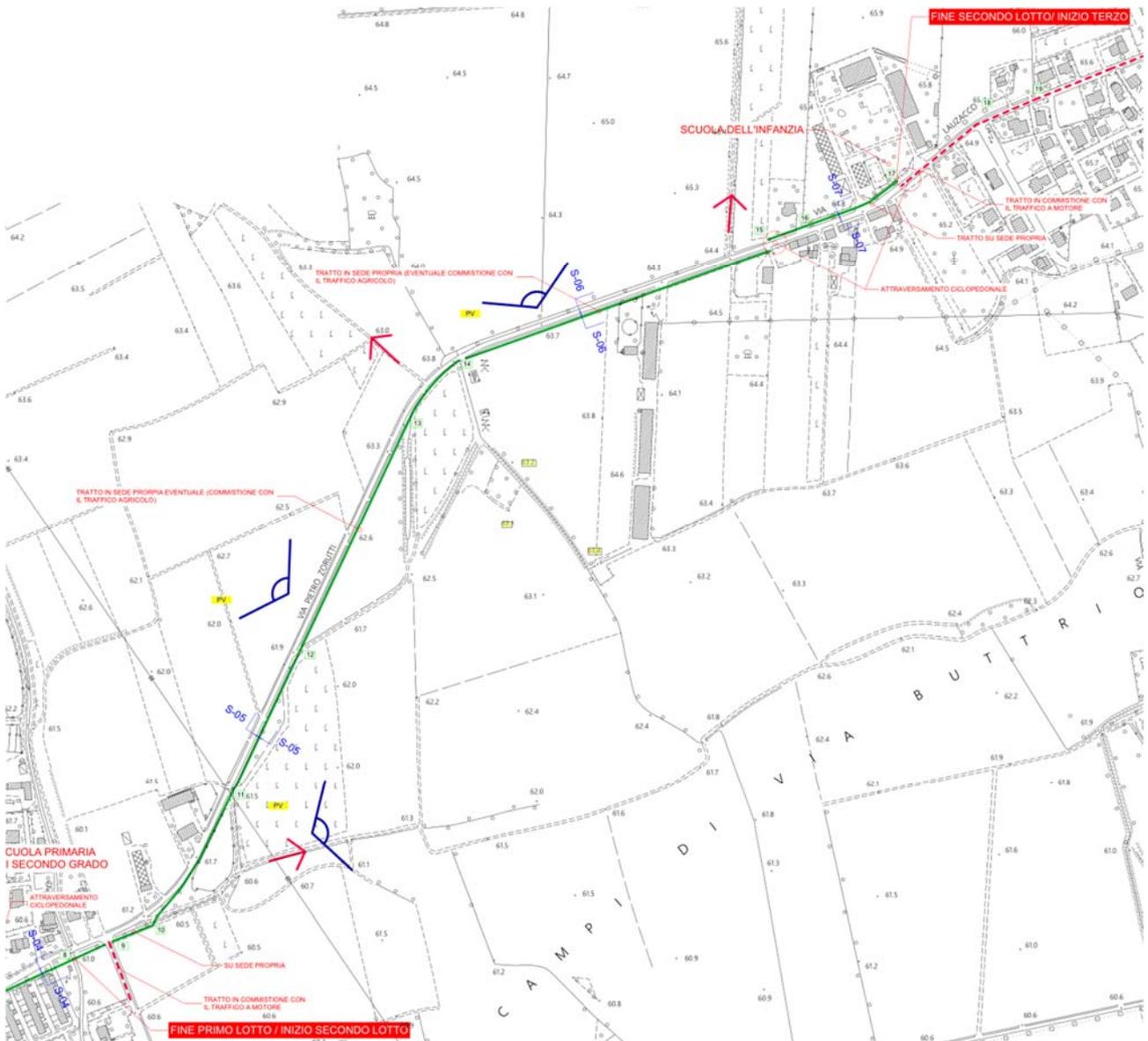


Figura 1: in verde è evidenziato il tracciato della pista ciclabile di progetto tra Lauzacco e Pavia di Udine

Tratto 8-9 via Zorutti via Stringher

Si prevede la realizzazione di ponticello sul canale esistente e successivamente un tratto di itinerario su sede propria bidirezionale utilizzando aree attualmente agricole fino a via Stringher.

Lungo via Stringher, in direzione del poliambulatorio, si prevede interventi di segnaletica orizzontale e verticale per la segnalazione della presenza di utenza ciclistica e una “porta urbana” al fine di evidenziare gli automobilisti in accesso alla via l'utilizzo promiscuo con utenze deboli.

Tratto 9-10 via Zorutti da incrocio via Stringher fino strada comunale sterrata

Si prevede la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati.

Tratto 10-11

Si prevede la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati. Si prevede la realizzazione dell'illuminazione pubblica.

Tratto 11-12

Attualmente l'area si presenta con essenze di medio fusto. Si prevede un intervento di riduzione delle essenze arboree e la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati. Si prevede la realizzazione dell'illuminazione pubblica. Verrà mantenuto il fossato a fianco della strada comunale.

Tratto 12-13

In tale tratto si prevede la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime nonché intervenire sull'impianto di irrigazione esistente. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati. Si prevede la realizzazione dell'illuminazione pubblica. Verrà mantenuto il fossato a fianco della strada comunale.

Tratto 13-14

Si prevede la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati. Si prevede la realizzazione dell'illuminazione pubblica. Verrà mantenuto il fossato a fianco della strada comunale.

Tratto 14-15

Come per il tratto 13-14 si prevede la realizzazione di un tratto ex novo di itinerario su sede propria bidirezionale sul lato sud di via Zorutti, le aree sono attualmente agricole e sarà necessario espropriare parte del sedime. Il fondo sarà in materiale granulare stabilizzato con cordoli sui lati. Si prevede la realizzazione dell'illuminazione pubblica. Verrà mantenuto il fossato a fianco della strada comunale. Inoltre si interverrà in prossimità degli accessi alle aziende agricole con adeguata segnaletica. In prossimità di Pavia di Udine si prevede l'attraversamento verso il lato nord. L'attraversamento avrà anche la funzione di “porta urbana” al fine di far percepire l'accesso all'area urbana.

Tratto 15-16

In tale tratto si prevede la realizzazione di un percorso bidirezionale su sede propria arretrando il confine di proprietà oggi esistente.

Tratto 16-17

Questo tratto corrisponde all'area antistante l'ex caserma e l'asilo comunale si prevede la realizzazione di un percorso bidirezionale su sede propria. Si prevede un attraversamento ciclopedonale di fronte alla scuola materna.

Il contesto nel quale si realizza l'intervento del II lotto è prevalentemente agricolo, compreso tra la frazione di Lauzacco e il capoluogo Pavia di Udine.



Figura 2: stato di fatto dei luoghi ove si prevede la realizzazione del II lotto della pista ciclabile da Lauzacco a Pavia di Udine

L'area dell'intervento ricade all'interno delle aree perimetrate dalla Carta di pericolosità idraulica nel Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA 2021-2027) dell'Autorità di Bacino Distrettuale delle Alpi Orientali

come area P1 a pericolosità idraulica bassa. L'opera pertanto ai sensi dell'art.14 dell'allegato V del PGRA risulta compatibile con la vigente normativa di vincolo idraulico.

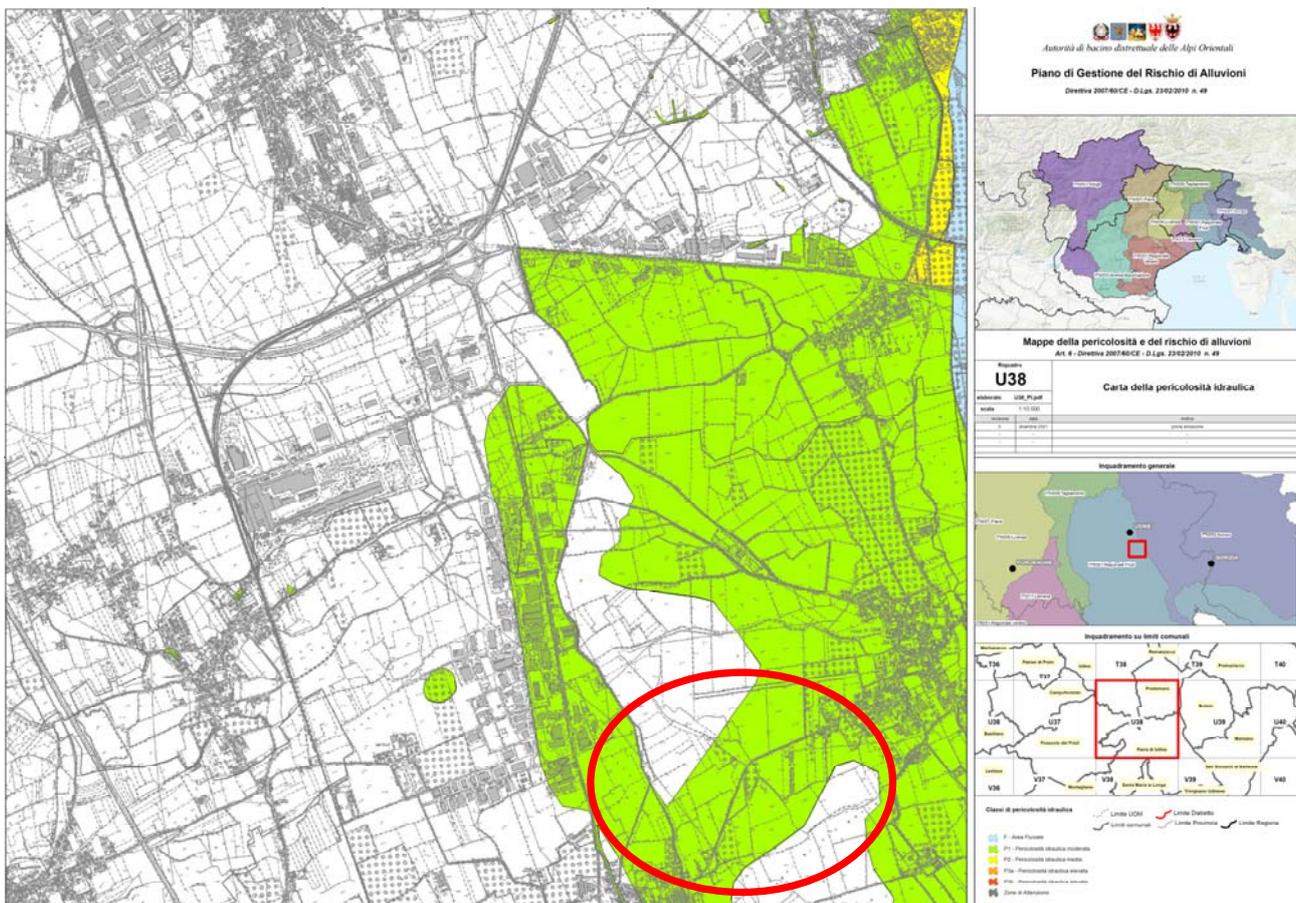


Figura 3: stralcio della cartografia vigente della normativa PGRA con indicazione dell'area di esecuzione del tracciamento in progetto

Dal momento che la pista verrà ad essere realizzata in adiacenza alla carreggiata stradale, la gestione delle acque meteoriche ricadenti sulla nuova pista ciclabile non potrà essere disgiunta da quella delle acque meteoriche ricadenti sulla carreggiata.

Il progetto prevede quindi di non limitarsi al rispetto del principio dell'invarianza idraulica andando a gestire il surplus di portata meteorica generato dall'impermeabilizzazione di aree attualmente a verde, bensì prevede di dimensionare un sistema di compensazione in grado di contenere sia il suddetto surplus, sia le portate meteoriche ricadenti su metà della carreggiata stradale esistente. Ciò è possibile poiché la carreggiata presenta una sezione tipica "a schiena d'asino".

Allo stato attuale lungo la carreggiata stradale sono presenti con continuità due fossi di guardia, con profondità e larghezza variabili.

Nello stato di progetto questi fossati verranno utilizzati per la gestione delle portate meteoriche provenienti anche dalla pista ciclabile, previa verifica della sezione del fossato ed eventuale risagomatura per il suo ripristino.

Laddove si prevede di coprire il fossato per lasciare posto al tracciato della pista, esso verrà scavato ex novo con geometria analoga a quella esistente.

La tipologia di dispositivo di invaso adottato non prevede il collegamento alla rete di drenaggio esistente né lo scarico in corpo idrico ricettore.

Allo stato attuale l'area non presenta criticità idrologiche o idrauliche.

2.1 Livello di significatività dell'intervento

In accordo con quanto riportato nel Regolamento di invarianza idraulica (tabella sottostante), per gli strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti la significatività della trasformazione risulta essere funzione sia della superficie di riferimento sia del coefficiente di afflusso medio nella condizione *post-operam* (stato di progetto).

La superficie di riferimento, nello specifico caso, viene assunta pari alla somma delle nuove superfici impermeabilizzate per la realizzazione della nuova pista ciclabile (3771.5 mq) e dell'area di metà della carreggiata stradale (3602.4 mq), ottenendo una superficie di riferimento di 7373.9 mq = 0.737 ha.

La trasformazione risulta avere un **livello di significatività MEDIO**, in quanto la superficie è compresa tra 0.5 e 1 ettaro.

4. Tabella dei livelli di significatività delle trasformazioni

Livello di significatività della trasformazione art. 5	Trasformazioni urbanistico-territoriali			Trasformazioni fondiarie art.2, c.1 lettera e)
	Strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti art.2, c.1 lettera a)	Piani territoriali infraregionali, piani regolatori portuali, piani regolatori particolareggiati comunali art.2, c.1 lettera b)	Interventi edilizi art.2, c.1, lettere c), d)	
NON SIGNIFICATIVO oppure TRASCURABILE art. 5, c. 3	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 1.0$ ha oppure $S > 1.0$ ha e Ψ_{medio} rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...
CONTENUTO	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	
MODERATO	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1.0 \text{ ha} < S \leq 10 \text{ ha}$
MEDIO	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$10 \text{ ha} < S \leq 50 \text{ ha}$
ELEVATO	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$S > 50 \text{ ha}$
MOLTO ELEVATO	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	

Figura 4: tabella dei livelli di significatività delle trasformazioni, da Regolamento invarianza idraulica

Sulla base del livello di significatività dell'intervento, il cap. 5 del Regolamento stabilisce gli interventi di mitigazione da adottare e il tipo di analisi per la determinazione del volume minimo di invaso. Nel caso in oggetto, stante il livello di significatività medio, è obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive. Inoltre, è obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando la soluzione più conservativa tra due dei proposti metodi di calcolo idrologico-idraulico scelti a piacere:

- metodo del serbatoio lineare (Paoletti – Rege Gianas, 1979);
- metodo cinematico o della corrivazione (Alfonsi & Orsi, 1967);
- metodo delle sole piogge.

3 Valutazione delle caratteristiche dei luoghi ai fini della determinazione delle misure compensative

3.1 Calcolo del coefficiente di afflusso ante operam e post operam

Dal momento che, come scritto in precedenza, non c'è una separazione idraulica tra le acque meteoriche che ricadono sulla carreggiata e quelle che ricadono sulla nuova pista, si assume fittiziamente che la superficie della carreggiata stradale, in condizioni ante operam, sia non pavimentata.

La sede ciclabile avrà una finitura in misto stabilizzato dello spessore di 15-20 cm e consentirà pertanto un certo grado di permeabilità.

La superficie di riferimento viene così suddivisa:

ANTE OPERAM	S1	3602.4	0.49	0.20	superficie pavimentata (metà carreggiata stradale)
	S2	3771.5	0.51	0.20	superficie a verde (futura pavimentazione nuova pista ciclabile)
	Stot	7373.9	1.00	0.20	
POST OPERAM	S1	3602.4	0.49	0.90	superficie pavimentata (metà carreggiata stradale)
	S2	3771.5	0.51	0.50	pavimentazione drenante nuova pista ciclabile
	Stot	7373.9	1.00	0.70	

In questo modo, il volume minimo di invaso che si andrà ad ottenere consentirà di gestire nel medesimo dispositivo di compensazione le acque provenienti dalle superfici pavimentate della strada e della pista ciclabile.

Si assume pertanto, per l'intera superficie di riferimento:

$$\varphi_{\text{ante}} = 0.20$$

$$\varphi_{\text{post}} = 0.70$$

3.2 Analisi pluviometrica con RainMap FVG

3.2.1 Introduzione

Nell'ambito delle elaborazioni statistiche due sono i concetti di fondamentale importanza: la frequenza di probabilità di un evento e il tempo di ritorno. La frequenza di probabilità è il numero di volte che l'evento si è verificato nell'ambito di un insieme di osservazioni. Se il numero di eventi statisticamente indipendenti è sufficientemente elevato ($N > 30$ anni) è lecito confondere la frequenza di un evento con la probabilità di verificarsi dello stesso.

La storia relativamente recente dell'idrologia, le difficoltà di carattere logistico di una distribuzione uniforme degli osservatori sul territorio, fanno sì che le osservazioni pluviometriche siano ridotte, nei casi più fortunati, agli ultimi trenta anni.

Questo fatto limita enormemente la certezza del modello, sottraendogli l'indispensabile substrato sperimentale. Per questo motivo si sono sviluppate successivamente delle trattazioni di verifica e dei test di validità del modello (come il test di Pearson).

Il tempo di ritorno è definito come l'inverso della probabilità di superamento:

$$TR = \frac{1}{P(X \geq x)}$$

Si intuisce quindi come una precipitazione osservata un numero ridotto di volte sarà caratterizzata da un tempo di ritorno elevato. Il tempo di ritorno non assume nessun significato premonitore, ma soltanto un utile parametro di riferimento che indica il tempo medio di ripetizione di un certo fenomeno. L'elaborazione statistica dei dati è finalizzata alla determinazione di una legge che legghi l'altezza di precipitazione h alla durata di precipitazione t , secondo una relazione del tipo:

$$h = at^n$$

Le curve che si ottengono sono dette curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica. I due coefficienti a ed n rappresentano:

- a : altezza di pioggia per la durata di precipitazione unitaria;
- n : esponente idraulico, caratteristico di una data durata di precipitazione.

I due coefficienti dipendono da:

- tempo di ritorno;
- durata della precipitazione;
- area su cui insiste la precipitazione.

Definita l'intensità di precipitazione

$$i = at^{n-1}$$

dal primo postulato dell'idrologia (l'intensità della pioggia massima diminuisce all'aumentare della durata) si può dedurre che n deve essere minore di uno. La definizione della curva di possibilità pluviometrica è di fondamentale importanza nella progettazione idraulica in quanto rappresenta il dato di input di ulteriori modelli,

i quali, concettuali o deterministici che siano, ci permettono di trasformare afflussi in deflussi. Ci consentono cioè di definire, per un assegnato bacino, la portata che consegue ad una data precipitazione.

3.2.2 Il metodo di Gumbel

Il metodo di Gumbel appartiene all'area dei modelli statistico-probabilistici tesi all'elaborazione dei dati sperimentali nel tentativo di riprodurre eventi di precipitazione per qualunque tempo di ritorno. Tale metodo rappresenta quindi una notevole estensione concettuale rispetto a quello dei casi critici, limitato ad una semplice estrapolazione dei valori già acquisiti. Gumbel ipotizza una distribuzione di probabilità di tipo doppio esponenziale:

$$P(X \leq x) = 1 - \frac{1}{TR} = e^{-e^{-y(h)}}$$

dove $y(h) = \alpha(x - u)$ è la variabile ridotta, funzione di TR , parametrizzata in t , mentre $P(X \leq x)$ è la probabilità di non superamento dell'evento.

L'equazione si può riscrivere nel seguente modo:

$$-\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] = y(TR) = b + a \cdot h$$

dove i coefficienti a e b potranno essere determinati utilizzando il metodo dei minimi quadrati.

Definiti a e b sarà possibile, per qualsiasi tempo di ritorno e per una assegnata durata di precipitazione, determinare il valore probabile di precipitazione.

Alle precipitazioni massime di data durata può applicarsi la seguente descrizione statistica, comune a molte serie idrologiche:

$$h(TR) = \bar{h} + F \cdot S_h$$

dove S_h è lo scarto quadratico medio della variabile h ed F è un fattore di frequenza al quale la distribuzione doppio esponenziale di Gumbel assegna l'espressione:

$$F = \frac{y(TR) - \bar{y}_n}{S_N}$$

essendo la grandezza $y(TR)$, funzione del tempo di ritorno, la cosiddetta variabile ridotta. Pertanto, sostituendo si ottiene:

$$h(TR) = \bar{h} + \frac{y(TR) - \bar{y}_N}{S_N} \cdot S_h$$

ovvero:

$$h(TR) = \bar{h} - \frac{S_h}{S_N} \cdot \bar{y} + \frac{S_h}{S_N} \cdot y(TR)$$

dove la quantità:

$$\bar{h} - \frac{S_h}{S_N} \cdot \bar{y}$$

è la moda della distribuzione e rappresenta il valore con massima frequenza probabile. Pertanto, tenendo conto della seguente espressione:

$$-\ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{TR} \right) \right] = y(TR)$$

Per gli scrosci si nota una dispersione di valori imputabile, oltre al numero limitato di dati a disposizione, ad inevitabili imprecisioni nella misura, legata com'è a dispositivi di registrazione adatti per piogge di durata ben maggiore di quella degli scrosci. Tale dispersione può inoltre dipendere dal fatto che gli eventi brevi ed intensi, non caratterizzano generalmente un luogo, nel senso di possibilità pluviometrica, come accade per le precipitazioni di maggiore durata.

Di seguito si riportano i valori relativi alla curva di possibilità pluviometrica in funzione dei vari tempi di ritorno per la località di via Pietro Zorutti a Pavia di Udine (UD) mediante l'applicativo RainMap FVG.

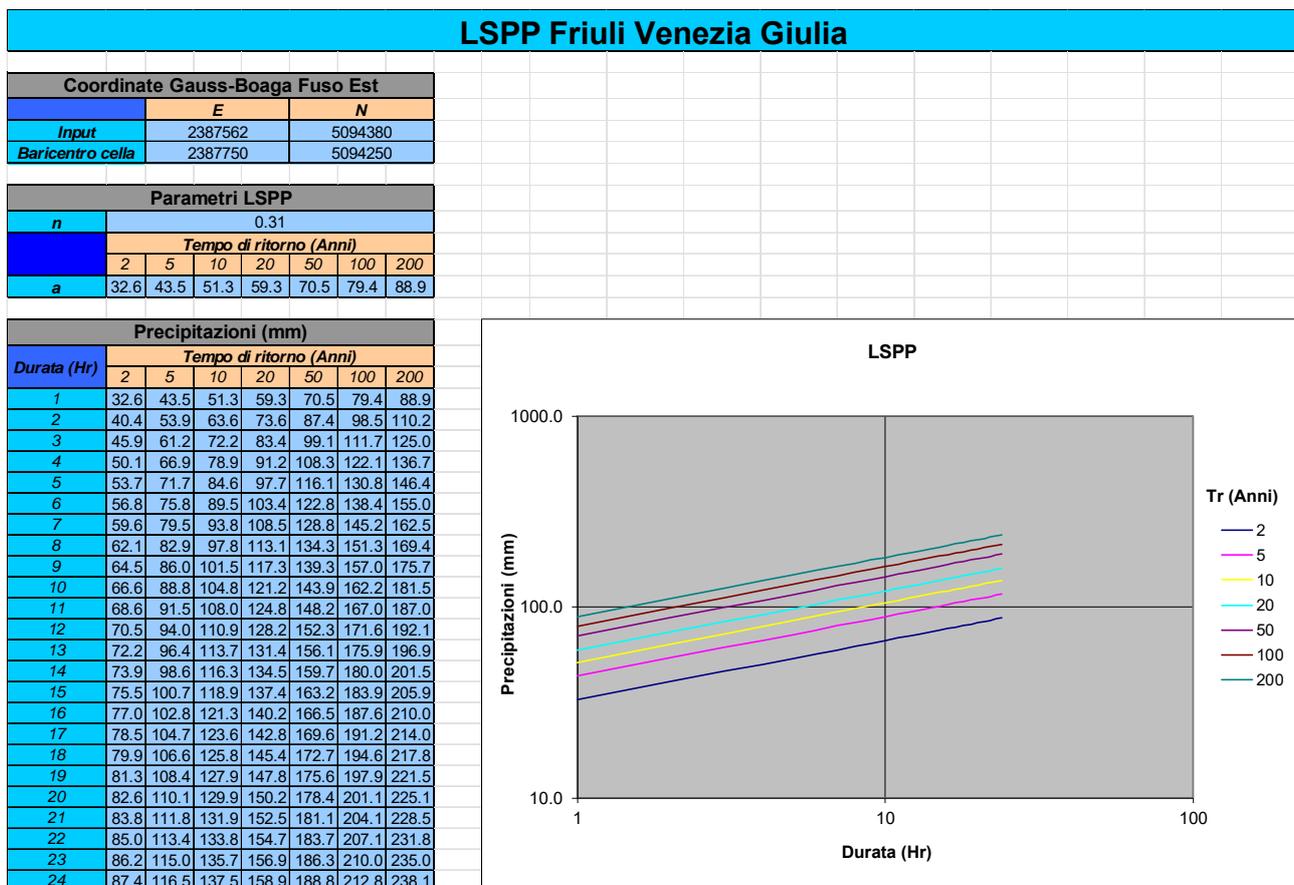


Figura 5: parametri delle CPP ottenuti dal software RainMap FVG per via Pietro Zorutti a Pavia di Udine (UD)

Siccome le piogge di durata sub-oraria sono caratterizzate da un comportamento diverso rispetto alle piogge orarie, per durate < 1 ora è stato utilizzato il parametro $n' = \frac{4}{3}n$.

Tabella 1: parametri caratteristici della curva di possibilità pluviometrica (TR = 50 anni)

TR [anni]	50	parametri CPP Pavia di Udine
a	70.5	

n	0.31	
n'	0.41	

La curva di possibilità pluviometrica relativa al tempo di ritorno di 50 anni è riportata in *Figura 6*. La *Figura 7* mostra invece l'andamento dell'intensità di precipitazione con la durata della stessa.

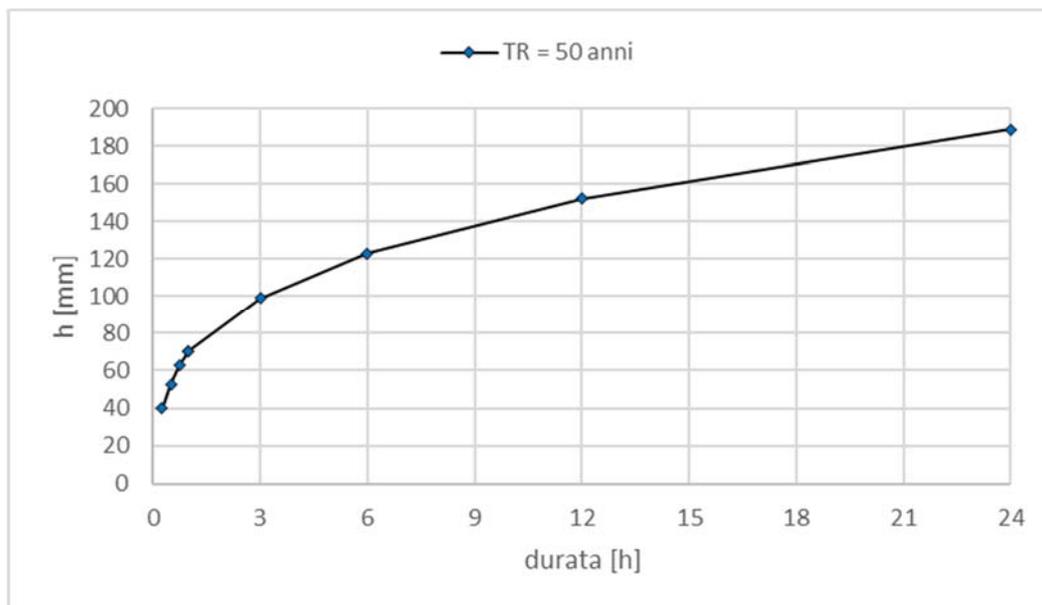


Figura 6: relazione altezza di precipitazione / durata della precipitazione per TR = 50 anni

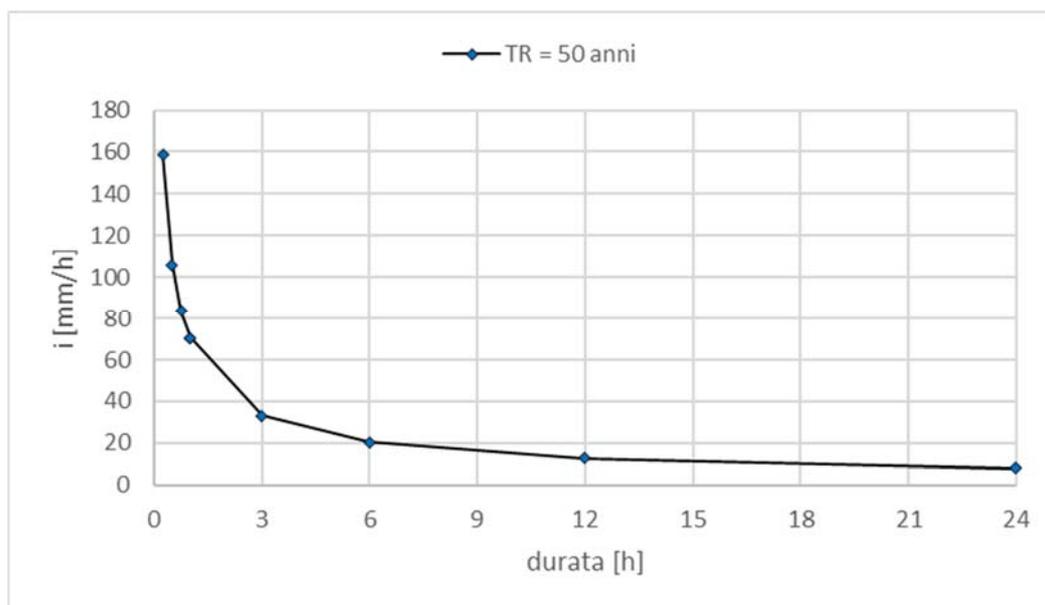


Figura 7: relazione intensità di precipitazione / durata della precipitazione per TR = 50 anni

3.3 Determinazione della portata drenante dall'area in esame rispetto allo stato di fatto

A partire dai dati di pioggia ottenuti al precedente paragrafo, è possibile stimare le portate conseguenti mediante il metodo del serbatoio lineare.

Come scritto al cap. 2, il bacino drenante è dato dalla somma dell'area di nuova impermeabilizzazione della nuova pista ciclabile e dell'area di metà della carreggiata stradale, ipotizzando in questo modo la gestione congiunta delle acque meteoriche provenienti da entrambe le superfici.

L'area in oggetto presenta un'estensione:

$$S = 0.737 \text{ ha}$$

con un coefficiente di afflusso in condizioni ante operam:

$$\varphi_{ante} = 0.20$$

Il tempo di corrivazione del bacino scolante, trattandosi di un bacino di ridotte dimensioni e senza dislivelli apprezzabili, può essere stimato in 15 minuti (= 0.25 h). Tale valore può essere pensato come la somma del tempo di accesso alla rete e del tempo di rete.

Si sottolinea che, sulla base della curva di possibilità pluviometrica relativa a un TR = 50 anni, la pioggia critica di progetto risulta essere pari a:

$$h = 70.5 \cdot 0.25^{0.41} = 39.74 \text{ mm}$$

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva del calcolo della portata di picco fluente dall'area di progetto conseguentemente ad un evento di pioggia **con un tempo di ritorno di 50 anni**.

La curva di possibilità pluviometrica considerata è quella ottenuta dall'analisi secondo il metodo di Gumbel illustrata nel precedente paragrafo.

Tabella 2: calcolo della portata critica in condizioni ante operam e post operam

METODO DEL SERBATOIO LINEARE		
a	70.48	parametri CPP
n'	0.41	
ϑ_c [h]	0.25	tempo di corrivazione
k [h]	0.175	costante di invaso
D	0.65	
φ_{ante}	0.20	coeff.afflusso ante
φ_{post}	0.70	coeff.afflusso post
S [ha]	0.737	sup. bacino
Q_{max} [l/s]	52.18	portata critica ante operam
Q_c [l/s]	181.44	portata critica post operam
ΔQ [l/s]	129.26	incremento di portata

Dal calcolo risulta che ci sarebbe un incremento della portata defluente dall'area in oggetto pari a $\Delta Q = 129.26$ l/s. Tale incremento, in seguito alla impermeabilizzazione di una parte dell'area precedentemente a verde, è dovuto alla conseguente minore quantità di portata meteorica in grado di infiltrarsi nel terreno.

La portata critica in condizioni *post operam* verrà temporaneamente invasata all'interno del fosso di guardia posto a lato della pista ciclabile.

3.4 Considerazioni geologiche

Di seguito si riporta un estratto della Carta Geologica regionale, da cui si nota che il sottosuolo tra Pavia di Udine e Lauzacco è costituito da sedimenti alluvionali e fluvioglaciali della pianura, con prevalenza di ghiaie e sabbie e locale presenza di limi.



Figura 8: estratto della Carta geologica del Friuli Venezia Giulia scala 1:150000

Sono state eseguite in data 14/12 e 18/12 2021 indagini in sito, quali penetrometrie, HVSR, perforazioni con carotiere manuale e prove di permeabilità in sito.

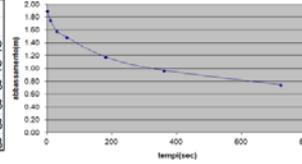
Le prove infiltrometriche tipo Lefranc a carico variabile sono state eseguite a profondità di 1.2 metri.

Si riportano i report delle due prove infiltrometriche eseguite. La prima prova ha determinato valori del coefficiente di conducibilità idraulica tipici di suoli della media pianura friulana, mentre la seconda, in cui si sono ricavati valori più bassi, ha intercettato uno strato di terreno agricolo a permeabilità minore.

PERMEABILITA' IN SITO

La prova infiltro metrica tipo Lefranc a carico variabile è stata effettuata alla profondità prevista di esecuzione dei fossati e cioè pari a -1,2 m. La perforazione è stata eseguita con un carotiere manuale. Il livello di prova risultava costituito da una miscela di limo e sabbia fine.

T (sec)	H (m)	lettura (m)	K (m/s)	K(cm/s)
0	1.90	0		
10	1.76	0.14	1.75E-04	1.75E-02
30	1.58	0.32	1.23E-04	1.23E-02
80	1.49	0.41	4.48E-05	4.48E-03
180	1.18	0.72	4.44E-05	4.44E-03
360	0.97	0.93	2.49E-05	2.49E-03
720	0.75	1.15	1.63E-05	1.63E-03



I valori registrati sono stati pari a 2×10^{-5} m/s

Questo tipo di prova risulta facilmente affetta da imprecisioni dovute all'eterogeneità dei materiali, ai diversi gradi di saturazione del terreno o a irregolarità nella formazione della tasca. Per confermare il dato si fa quindi riferimento alla classificazione granulometrica del materiale per determinare la permeabilità in sito che può essere cautelativamente definita come:

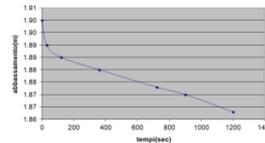
k (cm/s)	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite	Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie	Sabbie fini	Miscela di sabbie e limi	Lim. argillosi e argille limose, fanghi argillosi	Argille omogenee e compatte						
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltometri - Permeometri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeometri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)						Prove di consolidamento					

La permeabilità, caratteristica delle sabbie limose individuate, risulta pari a: $K = 2 \times 10^{-5}$ m/s

PERMEABILITA' IN SITO 2

La prova infiltro metrica tipo Lefranc a carico variabile è stata effettuata alla profondità prevista di esecuzione dei fossati e cioè pari a -1,2 m. La perforazione è stata eseguita con un carotiere manuale. Il livello di prova risultava costituito da una miscela di limo e argilla.

T (min)	T (sec)	H (m)	lettura (m)	K (m/s)	K(cm/s)
0:00	0	1.90	0		
0:50	30	1.89	0.01	4.02E-06	4.02E-04
2:00	120	1.89	0.015	6.72E-07	6.72E-05
6:00	360	1.88	0.02	2.83E-07	2.83E-05
12:00	720	1.87	0.027	2.37E-07	2.37E-05
15:00	900	1.87	0.03	2.03E-07	2.03E-05
20:00	1200	1.86	0.037	2.85E-07	2.85E-05



I valori registrati sono stati pari a 2×10^{-7} m/s

Questo tipo di prova risulta facilmente affetta da imprecisioni dovute all'eterogeneità dei materiali, ai diversi gradi di saturazione del terreno o a irregolarità nella formazione della tasca. Per confermare il dato si fa quindi anche riferimento alla classificazione granulometrica del materiale per determinare la permeabilità in sito che può essere cautelativamente definita come:

k (cm/s)	10^2	10	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile					
Tipi di terreno	Ghiaie pulite	Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie	Sabbie fini	Miscela di sabbie e limi	Lim. argillosi e argille limose, fanghi argillosi	Argille omogenee e compatte						
Determinazione diretta di K	Prove dirette in situ mediante pompaggio											
	Infiltometri - Permeometri a carico costante											
Determinazione indiretta di K	Permeometri a carico variabile											
	Analisi granulometrica (applicabile a sabbie e ghiaie pulite)						Prove di consolidamento					

La permeabilità, caratteristica delle limi sabbiosi argillosi individuati, risulta pari a: $K = 2 \times 10^{-7}$ m/s

4 Determinazione dei volumi minimi di invaso

Trattandosi di una trasformazione di livello di significatività medio si dovrà procedere al calcolo secondo due dei metodi indicati al par. 2.1. Nel caso in oggetto i metodi scelti sono:

- il metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979)
- il metodo cinematico (Alfonsi-Orsi, 1967)

4.1 Metodo del serbatoio lineare (Paoletti – Rege Gianas, 1979)

Questo metodo si basa sull'ipotesi che il bacino a monte dell'invaso si comporti come un invaso lineare e quindi che le portate in ingresso possano essere stimate mediante il modello dell'invaso. Tale approccio per la ricerca dell'evento critico dell'invaso di laminazione è stato seguito da diversi autori e, in particolare, Paoletti e Rege Gianas che hanno introdotto le seguenti ipotesi semplificative:

- isogrammi netti di pioggia a intensità costante;
- metodo dell'invaso lineare per la determinazione dell'onda di piena in arrivo all'invaso;
- laminazione ottimale.

Paoletti e Rege Gianas hanno determinato gli andamenti delle grandezze adimensionali:

$$F(n, m) = \frac{\theta_w}{k}$$
$$G(n, m) = \frac{W_0}{k + Q_c}$$

dove:

k = costante di invaso del bacino [ore] (in genere vale $k = 0.7 \theta_c$ con θ_c tempo di corrivazione;

θ_w = durata critica della pioggia per l'invaso di laminazione [ore] (ovvero quello che conduce al minimo volume di invaso W_0);

W_0 = volume di invaso [mc]

Q_c = portata critica del bacino post operam [l/s]

Le due grandezze F , G sono ricavabili da abachi in funzione del parametro n della curva di possibilità pluviometrica.

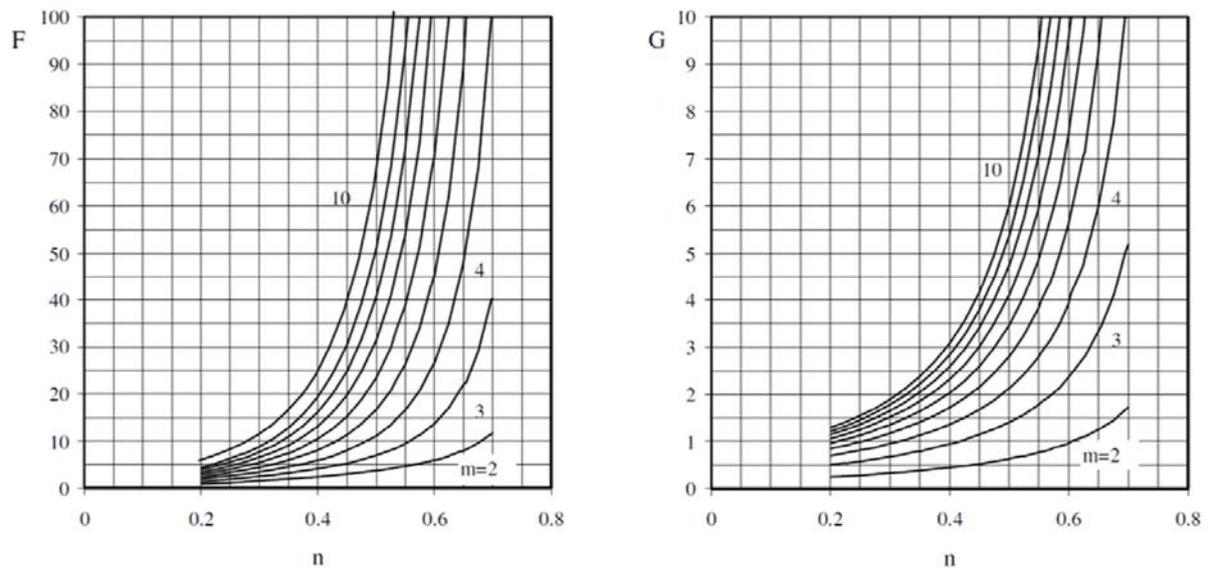


Figura 9: abachi per la determinazione dei parametri F , G

La portata critica Q_c viene calcolata seguendo il modello dell'invaso nella situazione *post-operam*:

$$Q_c = 2.78 \cdot S \cdot D(n) \cdot \Psi \cdot a \cdot k^{n-1}$$

dove $D(n)$ assume un valore medio di 0.65 per gli usuali valori di n .

La portata critica Q_{umax} è la portata massima di svuotamento della vasca, ed è calcolata seguendo il modello dell'invaso lineare nelle condizioni *ante-operam*:

$$Q_{umax} = 2.78 \cdot S \cdot D(n) \cdot \Psi_0 \cdot a \cdot k^{n-1}$$

Il rapporto fra le due portate è il parametro m :

$$m = \frac{Q_c}{Q_{umax}}$$

Noti i valori di F e G è immediato calcolare il parametro ϑ_w e il volume W_0 che rappresenta il volume minimo da adottare per l'invaso di laminazione.

Di seguito si riportano i risultati del calcolo di W_0 per il caso in esame.

DETERMINAZIONE VOLUMI MINIMI DI INVASO		
1. METODO DEL SERBATOIO LINEARE		
a	70.5	parametri CPP
n'	0.41	
ϑ_c [h]	0.25	tempo di corrivazione
k [h]	0.175	costante di invaso
D	0.65	
φ_{ante}	0.20	coeff.afflusso ante
φ_{post}	0.70	coeff.afflusso post
S [ha]	0.737	sup. bacino
Q_c [l/s]	181.44	portata critica post operam
Q_{max} [l/s]	52.18	portata critica ante operam
ΔQ [l/s]	129.26	incremento di portata

m	3.477	
F	5.116	
	0.00	controllo equazione
g	0.223	
G	1.142	
θ_w [h]	0.90	durata critica x volume
W_0 [mc]	130.54	volume di invaso

4.2 Metodo cinematico (Anfonsi & Orsi, 1967)

Il presente approccio ipotizza l'intero bacino come un sistema composto da tanti canali lineari disposti in parallelo, ovvero si considerano prevalenti all'interno del bacino i fenomeni di traslazione dell'acqua: la schematizzazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino di monte è di tipo cinematico.

Sulla base di questa impostazione, Anfonsi & Orsi (1967) hanno sviluppato un metodo pratico per il calcolo del volume critico dell'invaso di laminazione nelle seguenti ipotesi semplificative:

1. ietogrammi netti di pioggia ad intensità costante
2. curva aree-tempi lineare
3. svuotamento a portata costante pari a Q_{max} (laminazione ottimale)

Il volume W invasato può pertanto essere ottenuto in funzione della durata θ della pioggia, del tempo di corrivazione del bacino, della portata massima uscente dall'invaso, del coefficiente di afflusso, della superficie di riferimento e dei parametri pluviometrici a ed n . Adottando le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica e imponendo la condizione di massimo per il volume W , si ricava la seguente equazione:

$$2.78 \cdot n \cdot \Psi \cdot S \cdot a \cdot \theta_w^{n-1} + 0.36 \cdot (1-n) \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{-n}}{\Psi \cdot S \cdot a} - Q_u = 0$$

da cui si ricava il valore di θ_w . Il valore di tale durata è ricavabile anche dal grafico di Figura 9 in funzione del rapporto di laminazione η , del tempo di corrivazione e di n .

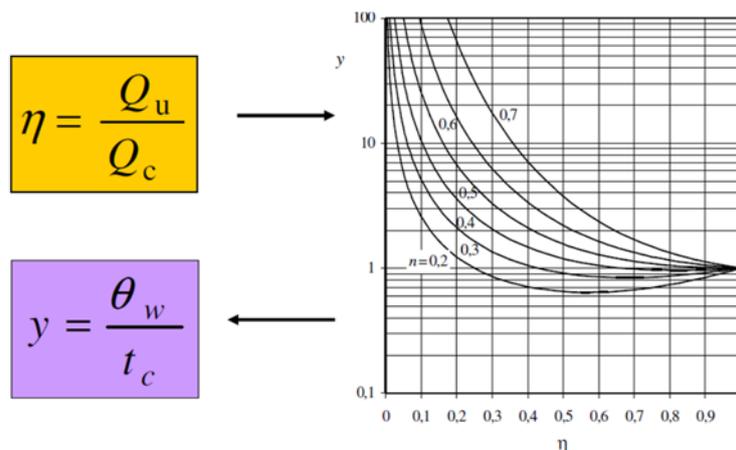


Figura 10: grafico per la determinazione di θ_w

Di seguito si riportano i risultati del calcolo di W_0 per il caso in esame.

2. METODO CINEMATICO (ALFONSI & ORSI)		
a	70.48	parametri CPP
n'	0.41	
S [ha]	0.737	sup. bacino
φ_{ante}	0.20	coeff.afflusso ante
φ_{post}	0.70	coeff.afflusso post
t_c [h]	0.25	tempo di corrivazione
Q_c [l/s]	226.43	portata critica
$Q_{u,max}$ [l/s]	65.12	portata massima ante operam
ϑ_w [h]	0.58	durata critica x volume
	0.00	controllo equazione
W_0 [mc]	121.56	volume di invaso

Come volume minimo di invaso si adotta dunque il valore più cautelativo ottenuto dai due metodi esposti:

$$W_{min} = 130.54 \text{ mc}$$

4.3 Verifica dei volumi di invaso

A fronte di un volume di invaso richiesto di 130.54 mc, il volume di invaso disponibile può essere calcolato considerando la dimensione dei fossi già presenti a lato della esistente sede stradale. Laddove la pista ciclabile andrà ad occupare la sede del fosso, si provvederà a scavare a lato della pista ciclabile un fosso di dimensioni analoghe all'esistente. Dove i fossi esistenti sono di dimensioni insufficienti oppure le tubazioni degli attraversamenti risultano interrati, si provvederà alla pulizia mediante risagomatura e approfondimento laddove necessario. I fossi raccoglieranno le acque meteoriche ricadenti sulla superficie della pista ciclabile e della metà carreggiata con pendenza trasversale verso il fosso.

Allo stato attuale i fossi sono già presenti con continuità sui due lati della strada e hanno una geometria sufficiente a garantire il soddisfacimento del principio di invarianza idraulica.

Soltanto localmente, laddove il fosso e le tubazioni di attraversamento risultino parzialmente interrati, sarà necessario provvedere alla pulizia e ripristino della sezione del fosso.



Figura 11: planimetria con indicazione del fossato esistente

Lo sviluppo del fosso è complessivamente di 1295 m e presenta una sezione trapezia di dimensioni variabili, ma che cautelativamente può essere assunta di area pari a 0.5 mq. Da cui il volume invasabile risulta:

$$W = 0.5 \text{ mq} \cdot 1295 \text{ m} = 647.3 \text{ mc}$$

che risulta ampiamente maggiore del volume minimo di invaso richiesto.

Le caratteristiche di permeabilità del sottosuolo, costituito in prevalenza da ghiaie e sabbie con locali strati superficiali maggiormente e limosi, permette ampiamente lo svuotamento dei fossi entro le 48 ore, come richiesto dal Regolamento di Invarianza Idraulica.

5 Tabella riassuntiva di compatibilità idraulica

Tabella riassuntiva di compatibilità idraulica da applicarsi ad ogni singola trasformazione	
Descrizione della trasformazione oggetto dello studio di compatibilità idraulica	
Nome della trasformazione e sua descrizione	Variante al PRGC nell'ambito dei: "Realizzazione pista ciclabile in prossimità della Alpe Adria RFVG1 – Itinerario ciclabile tra Lauzacco e Pavia di Udine"
Località, Comune	Pavia di Udine (UD)
Tipologia di trasformazione	Trattasi di una trasformazione urbanistica che prevede la realizzazione di una nuova pista ciclabile in via Pietro Zorutti tra Pavia di Udine e Lauzacco in affiancamento alla viabilità stradale esistente
Presenza di altri pareri precedenti relativamente all'invarianza idraulica sulla proposta trasformazione	no
Descrizione delle caratteristiche dei luoghi	
Bacino idrografico di riferimento	Torre
Presenza di eventuali vincoli PAI che interessa in parte o totalmente, la superficie di trasformazione S	pericolosità idraulica P1 (bassa)
Sistema di drenaggio esistente	non è presente una rete di drenaggio urbano
Sistema di drenaggio a valle	nessuno
Ente gestore	CAFC (fognatura) – Comune di Pavia di Udine (viabilità)
Valutazione delle caratteristiche dei luoghi ai fini della determinazione delle misure compensative	
Coordinate geografiche (GB est ed GB nord) del baricentro della superficie di trasformazione S	2387562 E 5094380 N
Coefficienti della curva di possibilità pluviometrica (Tr 50 anni da applicativo RainMap FVG): a (mm/ora), n, n'	a = 70.5 mm/ora n = 0.31 n' = 0.41
Estensione della superficie S espressa in ha, oggetto di trasformazione	S1 = 3602.4 mq (superficie pavimentata metà carreggiata stradale afferente al nuovo fossato, esistente) S2 = 3771.5 mq (superficie nuove pavimentazioni pista ciclabile) S = S1 + S2 = 7373.9 mq
Quota altimetrica media della superficie S	62 m slm
Valori coefficiente di afflusso Ψ_{medio} Ante Operam	0.20
Valori coefficiente afflusso Ψ_{medio} Post Operam	0.70
Livello di significatività della trasformazione ai sensi dell'art.5	MEDIO
Portata unitaria massima ammessa allo scarico (l/s-ha) e portata totale massima ammessa allo scarico (mc/s) dal sistema di drenaggio ai fini del rispetto dell'invarianza idraulica.	Q _{max} = 65 l/s, invariata nello scenario di progetto
Descrizione delle misure compensative proposte	
Metodo idrologico-idraulico per il calcolo dei volumi compensativi	- metodo del serbatoio lineare - metodo cinematico (Alfonsi & Orsi)
Volume di invaso ottenuto con il metodo idrologico-idraulico utilizzato (mc)	130.5
Volume di invaso di progetto ovvero volume che si intende adottare per la progettazione (mc)	647.3
Dispositivi di compensazione	fossi di guardia esistenti di forma trapezia a lato della pista ciclabile, di dimensioni medie:

	B = 1.50 m; b = 0.50 m; H = 0.50 m
Dispositivi idraulici	-
Portata massima di scarico di progetto del sistema ed indicazione della tipologia del manufatto di scarico	-
Buone pratiche costruttive /buone pratiche agricole	La pista ciclabile verrà realizzata con finitura superficiale in misto stabilizzato di spessore 15-20 cm con buone caratteristiche drenanti.
Descrizione complessiva dell'intervento di mitigazione (opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico) a seguito della proposta trasformazione con riferimento al piano di manutenzione delle opere.	<p>L'invarianza idraulica viene rispettata prevedendo la gestione delle acque meteoriche ricadenti sulla superficie della pista ciclabile e su metà carreggiata stradale. Ciò è possibile poiché la carreggiata presenta una sezione tipica "a schiena d'asino".</p> <p>Il sistema di compensazione, costituito da un fosso di guardia di lunghezza complessiva di 1295 metri, in gran parte già esistente e di dimensioni idonee, è in grado di contenere sia il surplus causato dall'impermeabilizzazione di nuove superfici, sia le portate meteoriche ricadenti su metà della carreggiata stradale esistente.</p> <p>Laddove il fosso di guardia attualmente presente viene ad essere coperto per consentire la realizzazione del sedime della nuova pista ciclabile, si provvederà a scavare un nuovo fossato a lato della pista, appositamente dimensionato, che consentirà l'invaso delle acque meteoriche di metà carreggiata e della pista ciclabile.</p> <p>La tipologia di dispositivo di invaso adottato non necessita di collegamento alla rete di drenaggio esistente né lo scarico in corpo idrico ricettore, in quanto le caratteristiche di permeabilità dei sottosuoli permettono lo svuotamento dei fossati entro 48 ore.</p>
NOTE	