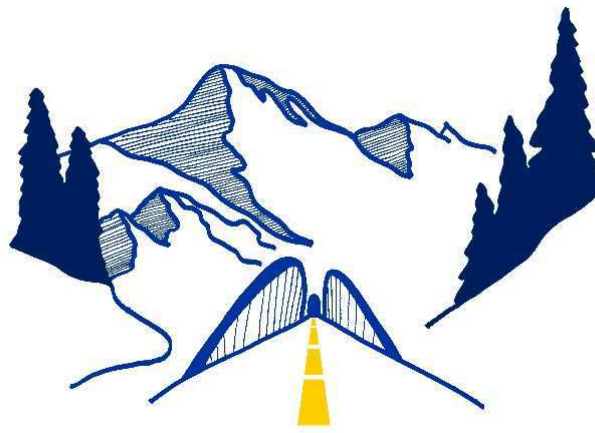


**S.S. 42 "DEL TONALE E DELLA MENDOLA"
VARIANTE EST DI EDOLO**

PROGETTO DEFINITIVO



<p>VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO</p> <p>_____</p> <p>Ing. Giancarlo Luongo</p>	<p>RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE</p> <p>_____</p> <p>Ing. Alessandro RODINO</p>	<p>PROGETTISTA SPECIALISTA</p> <p>_____</p> <p>Ing. Francesco CARNEVALE</p>	<p>IL COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE</p> <p>_____</p> <p>Dott. Domenico TRIMBOLI</p>
--	---	---	---

RELAZIONE IDROLOGICA

<p>CODICE PROGETTO</p> <p>PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.</p>	<p>NOME FILE T00ID00IDRRE01_A - Relazione Idrologica.docx</p>	<p>REVISIONE</p>	<p>SCALA:</p>
<p>COMI21 D 1810</p>	<p>CODICE ELAB T00ID00IDRRE01</p>	<p>B</p>	<p>-</p>

C					
B	Revisione a seguito istruttoria Anas e per richiesta modifica tracciato	Agosto 2021	F. Ciferri A. Cadore	F. Carnevale	A. Nardi
A	EMISSIONE	Maggio 2021	F. Ciferri A. Cadore	F. Carnevale	A. Nardi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE	pag.
1. PREMESSA	2
2. PERIMETRAZIONE DELLE AREE DI ESONDAZIONE SULLA CARTOGRAFIA ESISTENTE	2
3. STUDIO IDROLOGICO.....	4
3.1 Caratteristiche peculiari del bacino imbrifero sotteso.....	4
3.2 Stima della portata di progetto per la verifica dell'opera di attraversamento sul Fiume Oglio5	
3.2.1 Inquadramento dell'area e perimetrazione del bacino.....	5
3.2.2 Stima della portata di progetto per la verifica idraulica dell'attraversamento del fiume Oglio.....	7
3.2.3 Stima della portata di progetto per la verifica idraulica della zona di cantiere 11	
3.3 Stima delle grandezze necessarie al dimensionamento delle opere di drenaggio	13
3.3.1 Piogge di massima intensità e breve durata.....	13
3.3.2 Stima della portata di progetto.....	17

1. Premessa

La presente relazione ha lo scopo di inquadrare dal punto di vista idrologico il territorio, identificando le eventuali criticità connesse alla realizzazione dell'opera. In particolare, nel seguito si descrivono gli studi idrologici finalizzati alla:

- stima della portata di piena del Fiume Oglio, per diversi tempi di ritorno, in corrispondenza dell'attraversamento stradale previsto a monte dell'abitato di Edolo;
- stima della precipitazione per il dimensionamento del sistema di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma.

Il contenuto è stato revisionato a seguito di osservazioni in fase istruttoria da parte di Anas.

La variante Est di Edolo è realizzata per la maggior parte in galleria, sia artificiale che naturale. I tratti a cielo aperto sono sostanzialmente lo svincolo Sud e lo svincolo Nord.

2. Perimetrazione delle aree di esondazione sulla cartografia esistente

Il tratto di fiume Oglio a monte del comune di Sonico non è interessato dalla perimetrazione delle fasce PAI; in attuazione della Direttiva 2007/60/CE ("Direttiva alluvioni") secondo le specifiche del D.lgs. 49/2010, nel dicembre 2015 è stato adottato il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA).

Il PGRA-Po contiene:

- la mappatura delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, classificate in base alla pericolosità (aree allagabili) e al rischio;
- il quadro attuale dell'organizzazione del sistema di protezione civile in materia di rischio alluvioni e una diagnosi delle principali criticità;
- le misure da attuare per ridurre il rischio nelle fasi di prevenzione e protezione e nelle fasi di preparazione, ritorno alla normalità ed analisi.

Con riferimento alle mappe delle aree potenzialmente interessate da alluvioni, in questa sede si ricorda che la stesse evidenziano le aree potenzialmente interessate da eventi alluvionali secondo tre diversi scenari di evento:

1. Bassa probabilità: alluvioni rare con $T = 500$ anni;
2. Media probabilità: alluvioni poco frequenti con $T = 100-200$ anni;
3. Alta probabilità: alluvioni frequenti con $T = 20-50$ anni.

Tali mappe sono restituite per ambiti territoriali omogenei, distinti in relazione alle caratteristiche e all'importanza del reticolo idrografico nonché alla tipologia e gravità dei processi di alluvioni prevalenti ad esso associati, secondo la seguente classificazione:

- Reticolo idrografico principale (RP);
- Reticolo idrografico secondario collinare e montano (RSCM);
- Reticolo idrografico secondario di pianura artificiale (RSP);
- Aree costiere lacuali (ACL).

Con riferimento alle aree di studio oggetto della realizzazione della Variante Est di Edolo, le stesse ricadono all'interno dell'ambito territoriale RSCM per il quale è stato utilizzato l'Elaborato 2 del PAI «Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici» così come aggiornato dai comuni su base CTR (fenomeni tipo Ee, Eb, Em, Ca, Cp, Cn, aree RME per esondazione e conoide) per la perimetrazione delle aree allagabili secondo la transcodifica riportata nella tabella sottostante.

Direttiva Alluvioni		Pericolosità	Tempo di ritorno individuato per ciascun ambito territoriale			
Scenario	Tempo di ritorno		RP	RSCM*	RSP	ACL
Elevata probabilità di alluvioni (H = high)	20-50 anni (frequente)	P3 elevata	10-20 anni	Ee, Ca RME per conoide ed esondazione	Fino a 50 anni	15 anni
Media probabilità di alluvioni (M = medium)	100-200 anni (poco frequente)	P2 media	100-200 anni	Eb, Cp	50-200 anni	100 anni
Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi (L = low)	Maggiore di 500 anni, o massimo storico registrato (raro)	P1 bassa	500 anni	Em, Cn		Massimo storico registrato

* Legenda PAI

Tabella 1 - Scenari di pericolosità idraulica associati a ciascun ambito territoriale

La medesima mappatura è stata poi utilizzata dall'ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale) nella mosaicatura delle aree a pericolosità idraulica armonizzata per l'intero territorio nazionale ed effettuata sulla base delle analisi effettuate dalle Autorità di Bacino¹.

Dalla sovrapposizione del tracciato in progetto con la mappatura delle aree a diversa pericolosità (secondo la rappresentazione ISPRA) si evince, come riportato in **Figura 1**, che l'area in cui è previsto lo svincolo Sud è al di fuori delle aree di deflusso della piena mentre risulta parzialmente interessato lo svincolo Nord.

¹ <http://www.sinanet.isprambiente.it/it/sia-ispra/download-mais/mosaicature-nazionali-ispra-pericolosita-frane-alluvioni>

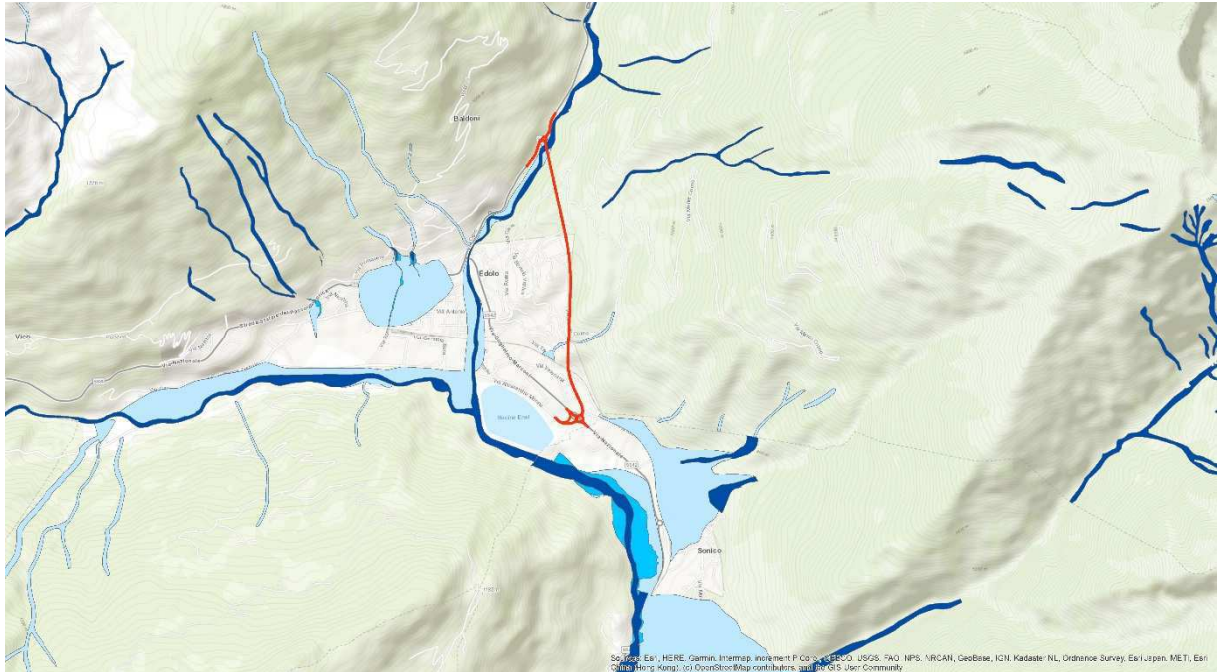


Figura 1 - Sovrapposizione dell'infrastruttura di progetto alle aree a diversa pericolosità idraulica prodotte da ISPRA.

3. Studio Idrologico

3.1 Caratteristiche peculiari del bacino imbrifero sotteso

Il bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse in corrispondenza all'imbocco nord della galleria ha caratteristiche piuttosto particolari:

- ha una parte della superficie coperta da ghiacciai e nevai (zona Adamello);
- per quanto desumibile dai dati di portata di sintesi disponibili alla sezione dell'Oglio a Temù (pubblicazione n. 17 del S.I.), le portate massime si hanno prevalentemente in concomitanza allo scioglimento nivale;
- la sua quota media è oltre i 2000 m s.l.m., con quota massima oltre i 3500 m s.l.m.;
- è soggetto a precipitazioni annuali attorno ai 1000 mm, ma piuttosto distribuite nell'arco dell'anno;
- la superficie è interessata da invasi sia naturali che artificiali (Lago d'Avio, Lago Benedetto, Lago Pantano, Lago Venerocolo).

Le peculiarità altimetriche portano ad ipotizzare che le temperature nei mesi di possibili precipitazioni prolungate (ottobre-novembre e marzo-aprile), e quindi in grado di generare deflussi notevoli, siano piuttosto basse se non addirittura sotto lo zero, perlomeno in quota (situazione confermata in parte dalla presenza dei ghiacciai e nevai), portando quindi ad una riduzione dell'effetto della precipitazione stessa a livello di generazione dei deflussi.

Le precipitazioni estive, di durata minore, seppure potenzialmente molto intense sono in generale di tipo temporalesco, quindi di breve durata, e perciò non in grado di generare normalmente deflussi notevoli, alla scala del bacino di interesse, pur sovrapponendosi eventualmente alla portata da scioglimento.

Questi fatti sembrerebbero confermare la genesi, prevalentemente riscontrata dai pochi dati disponibili, dei massimi deflussi di origine da scioglimento nivale o misto meteorico-scioglimento, con componente meteorica ridotta.

3.2 Stima della portata di progetto per la verifica dell'opera di attraversamento sul Fiume Oglio

Il tratto di fiume Oglio a monte del comune di Sonico non è interessato dalla perimetrazione delle fasce PAI; inoltre nell'area in esame non sono presenti sezioni strumentate con profondità storica consistente per poter valutare per via statistica il valore di portata al colmo per la verifica dell'opera di attraversamento in progetto (ponte ubicato all'imbocco nord della galleria). Le uniche stazioni in zona con dati disponibili sono:

- Oglio a Temù, con 5 valori di portata al colmo massima annuale pubblicati, relativi agli anni dal 1936 al 1940 (Rif.: Pubblicazione n. 17 del Servizio Idrografico Nazionale);
- Oglio a Edolo, con valori di livello idrometrico con frequenza 10', pubblicati sul sito internet di Arpa Lombardia, dal 16/07/2020 ad oggi (serie limitatissima, inferiore all'anno di acquisizione).

Pertanto, il valore della portata di piena tra le località di Rincolungo e Bosioli, nel comune di Edolo, deve essere ricavato con elaborazioni di altro tipo.

Valtazioni della portata al colmo di determinato tempo di ritorno mediante modellazione afflussi-deflussi a partire dalle precipitazioni di pari tempo di ritorno, vista anche la peculiarità del bacino idrografico, lasciano adito ad incertezze notevoli, vista l'impossibilità di taratura dei modelli stessi.

Anche l'applicazione di metodologie regionali, soprattutto in assenza di dati in base ai quali valutare la portata indice non dà certezza sui risultati.

In entrambi i casi l'eventuale ricostruzione dei parametri necessari mediante utilizzo di formulazioni a base geomorfologica, lascia notevoli dubbi, vista al solito la peculiarità del bacino.

Nei paragrafi che seguono sono riportate l'analisi delle possibilità di valutazione in base ai dati disponibili e la stima finale della portata di progetto per la verifica dell'opera di attraversamento sul Fiume Oglio.

3.2.1 Inquadramento dell'area e perimetrazione del bacino

Il territorio interessato dalla costruzione della variante Est di Edolo è compreso nel bacino idrografico del fiume Oglio. Il bacino dell'Oglio ha una superficie complessiva di circa 6.360, km² (9% della superficie del bacino del fiume Po), il 54% dei quali in ambito montano.

Il bacino del fiume Oglio si estende dal Gavia e Tonale alla confluenza del fiume Po. L'Oglio si origina a Ponte di Legno alla confluenza dei torrenti Frigidolfo, proveniente dal Gavia, e Narcanello, proveniente dalla Val Sozzine.

Per la delimitazione del bacino imbrifero sotteso alla sezione di Edolo – Rincolungo/Bosioli è stato utilizzato il modello digitale del terreno (DTM) con lato cella di 5 m di lato fornito dalla Regione Lombardia² (Figura 2). Elaborando le informazioni fornite dal DTM mediante tecniche G.I.S. (Geographical Information System) si è proceduto al tracciamento dei limiti del bacino idrografico (Figura 3) e, quindi, al calcolo dei principali parametri geomorfologici tra cui l'area

² <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/download-ricerca>

dello stesso che è risultata pari a 326.9 km², le quote massima, media e minima del bacino pari rispettivamente a 3537,7, 2068,8 e 720,6 m s.l.m., la lunghezza del percorso idraulico maggiore pari a 34,4 km. Mediante tali parametri è stata valutato il tempo di corrivazione utilizzando la classica formulazione di Giandotti, ottenendo un valore di 4,22 ore.

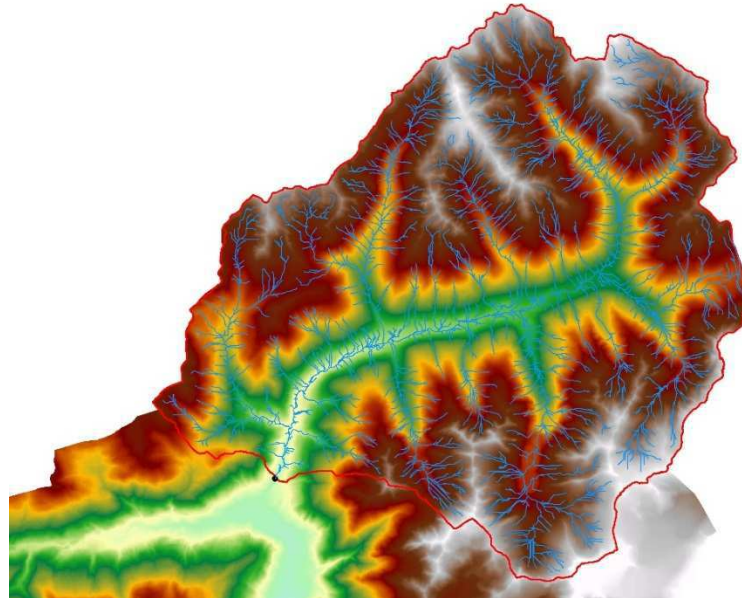


Figura 2 – DTM (cella 5x5m) utilizzato per la perimetrazione del bacino alla sezione di Edolo - Rincolungo (elaborazione G.I.S. a partire da DTM della Regione Lombardia).

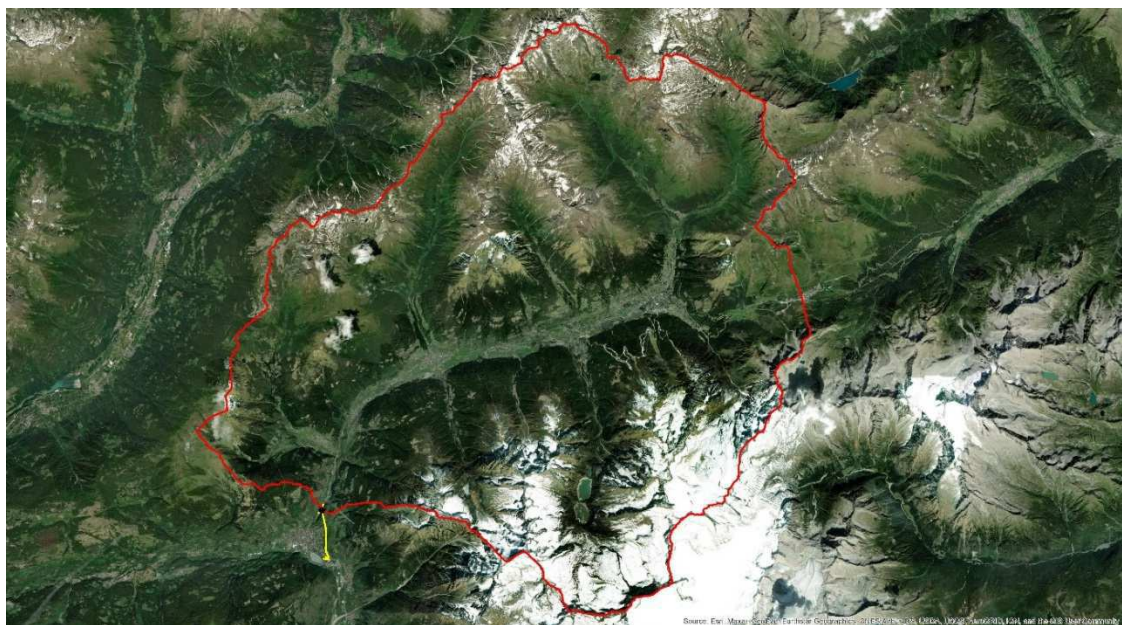


Figura 3 – Bacino imbrifero del fiume Oglio chiuso in corrispondenza dell'opera di attraversamento.

3.2.2 Stima della portata di progetto per la verifica idraulica dell'attraversamento del fiume Oglio

Visto quanto risultante dalle considerazioni eseguite in precedenza, si è proceduto alla stima della portata duecentenaria in corrispondenza al ponte dell'imbocco nord utilizzando i risultati degli studi eseguiti dall'Autorità di Bacino del fiume Po sul tratto di valle del corso d'acqua a monte del lago d'Iseo e dal Progetto Va.Pi. del CNR-GNDCI.

Stima in base alle risultanze del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)

Nell'ambito della redazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), rispetto al quadro delle conoscenze acquisite nell'ambito della redazione del PAI, sono stati fatti diversi aggiornamenti a seguito di più recenti studi di asta. Pertanto, per diverse aste fluviali sono stati aggiornati i valori delle portate al colmo di assegnato tempo di ritorno.

Le fonti degli aggiornamenti sono diverse: studi di fattibilità della sistemazione idraulica dei corsi d'acqua, studi idrologici ed idraulici nell'ambito della predisposizione dei Piani di gestione dei sedimenti o altri studi ad hoc.

Le portate al colmo sono state definite in sezioni significative dal punto di vista idrologico, scelte secondo i seguenti criteri:

- inizio del tratto di corso interessato dalla mappatura della pericolosità;
- in corrispondenza di stazioni idrometriche di misura;
- in corrispondenza di variazioni sensibili del valore della portata (ad es. in caso di confluenze o in presenza di dispositivi di moderazione dei colmi di piena).

Per il bacino del Fiume Oglio, i valori delle portate al colmo per i principali tempi di ritorno sono riportati nella Tab. 4.4 della Relazione "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" aggiornata a giugno 2019. Per comodità, di seguito, si riporta un estratto della suddetta tabella per le sezioni ubicate a monte del Lago di Iseo.

Tab 4.4: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino dell'Oglio (Oglio, Mella e Chiese)

Bacino	Corso d'acqua	Progr. (km)	Sezione		Superficie km ²	Q10 m ³ /s	Q20 m ³ /s	Q100 m ³ /s	Q200 m ³ /s	Q500 m ³ /s	Idrometro Denominazione
			Cod.	Denomin.							
Oglio	Oglio sopralac	31.209	064	Sonico	465		460		730	830	
Oglio	Oglio sopralac	47.664	048.01P	Capo di Ponte	797		570		850	960	Oglio a Capo di Ponte
Oglio	Oglio sopralac	61.557	033	Breno	953		620		960	1090	
Oglio	Oglio sopralac	76.858	012.01P	Darfo Boario	1336		680		1160	1340	Oglio a Darfo
Oglio	Oglio sopralac	85.039	001	Immissione in Lago d'Iseo	1429		710		1210	1400	

Tabella 2 – Portate di piena per le sezioni del bacino dell'Oglio a monte del Lago di Iseo (PGRA - AdBPo).

In assenza di serie storiche significative nei pressi della sezione di interesse, si è ritenuto che il calcolo della portata di progetto per la verifica dell'opera di attraversamento sul fiume Oglio sia effettuabile con un buon grado di approssimazione a partire dai valori delle portate di piena di diverso tempo di ritorno già valutate nell'ambito del PGRA e disponibili nelle sezioni di misura afferenti al bacino dell'Oglio Sopralacuale.

Nel dettaglio la portata di piena in corrispondenza della sezione di Rincolungo/Bosioli viene definita in proporzione all'area del bacino sotteso valutando il contributo unitario (specifico) per i diversi tempi di ritorno a partire dai valori delle sezioni sopra riportate (**Figura 4**).

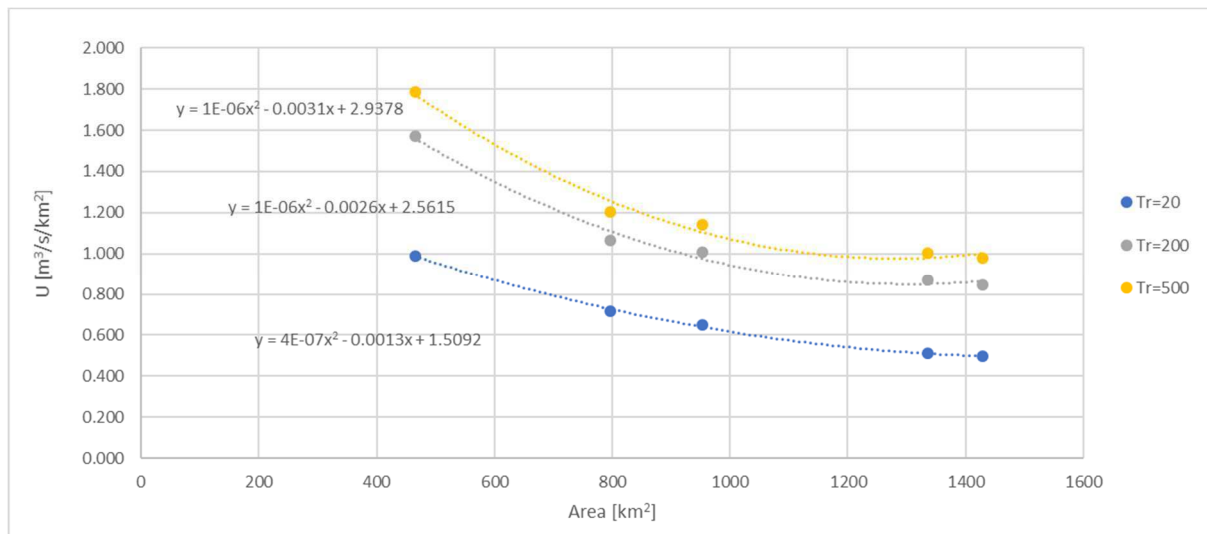


Figura 4 – Analisi del contributo unitario (specifico) in funzione dell’area del bacino per la stima della portata nella sezione del ponte sul fiume Oglio.

Utilizzando le curve di regressione di **Figura 4** è possibile valutare il coefficiente udometrico nella sezione di interesse che sottende un bacino di area pari a 326.9 km² e quindi le portate di piena di diverso tempo di ritorno.

Le suddette portate sono sintetizzate nella tabella sottostante.

Sezione	Q ₂₀ [m ³ /s]	Q ₂₀₀ [m ³ /s]	Q ₅₀₀ [m ³ /s]
Rincolungo/Bosioli	367	592	675

Tabella 3 - Portate di piena calcolate per la sezione dell’Oglio di Edolo ubicata all’imbocco nord della galleria tra le località di Rincolungo e Bosioli

Coerentemente con le NTC2018, si può assumere come portata di progetto quella corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni, pari a 592 m³/s.

Tale scelta risulta conservativa rispetto alle disposizioni del PAI che, per i corsi d’acqua non interessati dalla delimitazione delle fasce fluviali (il tratto di fiume Oglio in esame non lo è), prescrive l’utilizzo di un tempo di ritorno per la stima della piena di progetto non inferiore a 100 anni.

Applicazione della formula razionale tarata sui risultati del PGRA

A titolo di confronto con la valutazione precedente, si è proceduto all’applicazione della classica formula razionale per la stima della portata nella sezione di interesse:

$$Q = \frac{\Phi \cdot h \cdot A}{3,6 \cdot tc}$$

dove:

Q = portata (m³/s);

Φ = coefficiente di deflusso (adimensionale);

h = altezza critica di precipitazione (mm);

A = superficie bacino imbrifero (km²);
 t_c = tempo di corrivazione (ore).

Le precipitazioni medie sul bacino sono state dedotte mediando i valori della maglia delle piogge del Progetto STRADA di Regione Lombardia (vedi paragrafo successivo) interessanti il bacino chiuso alla sezione di interesse (91,6 mm), considerando una durata pari al tempo di corrivazione di 4,22 ore, stimato mediante utilizzo della classica formulazione di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_{med} - H_{min})}}$$

con:

t_c = tempo di corrivazione (ore);
 S = superficie del bacino imbrifero (km²);
 L = lunghezza del percorso idraulico maggiore (km);
 H_{med} = quota media del bacino (m s.l.m.);
 H_{min} = quota della sezione di chiusura (m s.l.m.);

in base ai valori dei parametri geomorfologici valutati in precedenza. Si è quindi presentato il problema di valutare il coefficiente di deflusso.

Per fare questa stima la stessa formula razionale è stata applicata a ritroso a partire dal valore della portata duecentennale valutata da AdB Po alla sezione di Sonico (vedi tabella PRGA) e dalle precipitazioni di pari tempo di ritorno valutabili mediando i valori della maglia di pioggia del progetto STRADA che interessano il bacino chiuso a tale sezione (precipitazione critica 108,0 mm). Anche in questo caso è stata applicata la formula di Giandotti per la stima del tempo di corrivazione (4,98 ore), a partire dai parametri geomorfologici necessari (area bacino = 465 km², lunghezza percorso idraulico maggiore = 39,35 km, quota media del bacino e quota della sezione di chiusura rispettivamente 1937,68 e 607,01 m s.l.m.).

Si è così valutato un valore del coefficiente di deflusso pari a 0,26. Tale valore, in linea con quanto rilevato a livello di caratteristiche idrologiche del bacino, è stato utilizzato per le valutazioni nella sezione di interesse ottenendo un valore della portata di 538 m³/s, assolutamente confrontabile con il valore valutato in precedenza.

Si ritiene che in questa situazione di indeterminazione dei valori a livello locale, vista la mancanza di dati di taratura e le caratteristiche peculiari del bacino, le valutazioni eseguite da AdB Po e Regione Lombardia, a partire da dati ufficiali di precipitazione e portata misurati (SIMI e successivamente ARPA), che tra l'altro sono alla base della vincolistica costruttiva in vigore (fasce PAI), possano essere di riferimento più di qualunque stima ottenuta mediante attribuzione arbitraria di parametri posta alla base di una modellistica non tarata.

Applicazione dei risultati dello studio Va.Pi.

Nelle valutazioni si è fatto anche ricorso ai risultati già ottenuti nell'ambito del Progetto Va.Pi. "Rapporto regionale per i compartimenti di Parma e Genova", promosso dal CNR-GNDICI.

Rimandando ai lavori originali per gli approfondimenti, in questa sede è sufficiente ricordare che lo studio regionale si basa sul metodo della grandezza indice, utilizzando come distribuzione probabilistica di base la distribuzione GEV definita dalla legge:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - k \cdot (x - \xi)/\alpha\right]^{\frac{1}{k}}\right\}$$

con α , ξ e k parametri della distribuzione di probabilità

In sintesi, dopo aver individuato nell'area in indagine zone idrologicamente omogenee nei riguardi della variabile d'interesse (portata), la metodologia della grandezza indice permette di determinare il valore della variabile idrologica Q_T con tempo di ritorno T mediante relazioni del tipo:

$$Q_T = K_T \cdot Q_{c,m}$$

dove $Q_{c,m}$ è il fattore di scala del sito, portata indice, e K_T il fattore di crescita. Per quanto attiene il fattore di scala o portata indice, questa è ovviamente fortemente correlata alle caratteristiche fisico-pedologiche dei bacini sottesi dalle varie stazioni, quali ad esempio la superficie totale, la superficie impermeabile, l'altitudine media e/o l'acclività. Ciò permette di stabilire relazioni di carattere statistico fra $Q_{c,m}$ ed i parametri morfometrici A_1, A_2, \dots, A_n caratteristici del bacino imbrifero del tipo:

$$Q_{c,m} = f(A_1, \dots, A_n).$$

L'esperienza operativa ha comunque evidenziato che qualora siano disponibili dati sperimentali anche con numerosità ridotta ($N \geq 8 \div 10$) è preferibile stimare $Q_{c,m}$ direttamente dai valori di portata.

Viste le caratteristiche peculiari del bacino imbrifero sotteso dalla sezione non si è ritenuto opportuno effettuare stime della portata indice utilizzando le formulazioni basate sui sopra citati parametri geomorfologici. Una stima della portata indice è stata effettuata utilizzando i 5 valori di portata al colmo disponibili per la sezione dell'Oglio a Temù.

Per quanto concerne il fattore di crescita, l'analisi effettuata nell'ambito dello studio regionale Va.Pi. citato in precedenza, che ha preso in considerazione la distribuzione di probabilità GEV con i seguenti valori dei parametri:

Zona A (Alpi e Prealpi centrali) $\alpha = 0.365$ $\xi = 0.745$ $k = -0.110$,

fornisce i valori di K_T per i diversi tempi di ritorno ed in particolare il valore 3,368 per il tempo di ritorno di 200 anni.

L'applicazione della metodologia Va.Pi., fatta considerando una portata indice (33,8 m³/s) calcolata sui pochi valori massimi annui disponibili (n. 5) per la stazione di Temù (1936-1940), posta a monte di quella di valutazione, conduce ad una stima di una portata di 313 m³/s, riscaldando, a favore di sicurezza, i valori secondo il rapporto delle superfici dei bacini rispettivamente sottesi (326,9/191).

Tale stima risulta inferiore alle precedenti, ma probabilmente è condizionata dal numero basso di valori massimi annuali considerati per la stima della portata indice.

Conclusioni

Si ritiene, in sicurezza, di considerare per le successive valutazioni idrauliche come portata di riferimento duecentennale il valore di 592 m³/s.

3.2.3 Stima della portata di progetto per la verifica idraulica della zona di cantiere

In corrispondenza all'imbocco nord della galleria è prevista da progetto un'area dedicata agli apprestamenti di cantiere. Tale area risulta in fregio all'alveo del fiume Oglio su un terrazzamento posto in corrispondenza ad un'ansa del fiume (vedi figura che segue).



Figura 5 – Zona ipotizzata per gli apprestamenti di cantiere in corrispondenza all'imbocco nord della galleria.

Al fine di valutare la sicurezza idraulica della zona di cantiere, potenzialmente esposta a possibile inondazione, è stata valutata la portata di progetto per la fase di cantierizzazione: si tratta della portata la cui probabilità di essere raggiunta o superata una volta nel periodo temporale corrispondente alle fasi di costruzione non sia superiore alla probabilità che ha la portata di progetto di essere raggiunta o superata una volta nel periodo di vita dell'opera. Dal

punto di vista statistico tutto ciò è interpretabile come la probabilità composta di non superamento che un determinato evento, caratterizzato da un tempo di ritorno T , si manifesti nel corso di un periodo temporale N , prefissato, di vita dell'opera.

In conclusione, il rischio idraulico associato all'interferenza prodotta dalle opere provvisionali nel periodo di installazione del cantiere (periodo di costruzione dell'opera), deve essere uguale alla probabilità che l'evento di progetto si manifesti nel corso della vita dell'opera.

Ne deriva la seguente espressione per il calcolo

$$T_{pr} = \frac{1}{1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{\frac{V}{c}}}$$

dove:

T_{pr} = tempo di ritorno per la verifica delle opere provvisionali;

T_r = tempo di ritorno dell'evento di riferimento;

V = vita utile dell'opera;

c = durata delle lavorazioni.

Ipotizzando 200 anni come tempo di ritorno, T_r , dell'evento di riferimento per la verifica idraulica dell'attraversamento, 100 anni la vita utile, V , dell'opera e 3 anni la durata delle lavorazioni, c , si ricava un valore di T_{pr} di 6,5 anni a cui corrisponde, da estrapolazione, in base alla curva interpolante (vedi figura che segue), derivata dai dati di tabella **Tabella 3**, una portata pari a 298 m³/s.

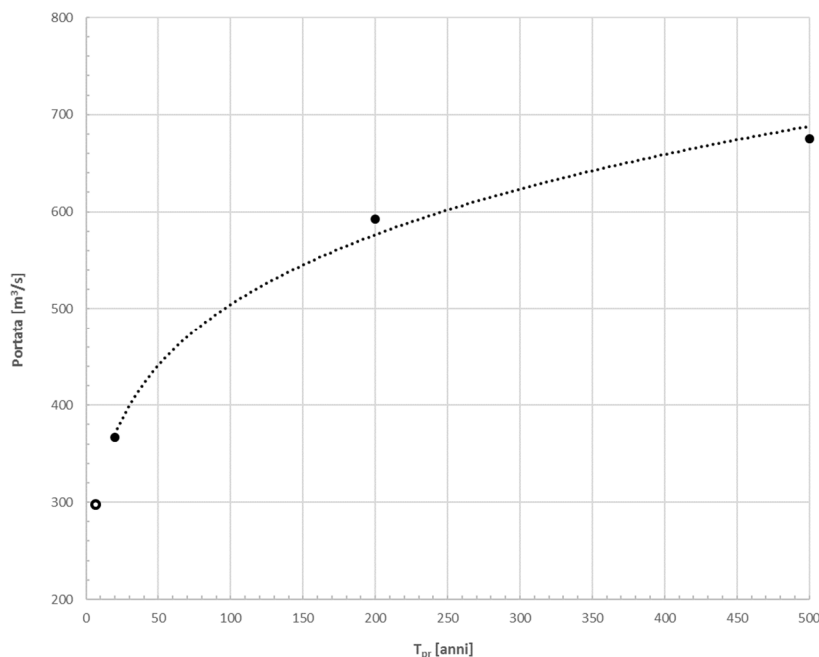


Figura 6 – Andamento stimato delle portate di diverso tempo di ritorno nella sezione di verifica idraulica.

3.3 Stima delle grandezze necessarie al dimensionamento delle opere di drenaggio

3.3.1 Piogge di massima intensità e breve durata

Nell'ambito del progetto INTERREG IV/A STRADA (Strategie di Adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero), l'ARPA Lombardia ha sviluppato l'"Atlante delle piogge intense", di fondamentale utilità per le analisi idrologiche ed il monitoraggio degli eventi meteorologici estremi. In particolare, il contesto in cui ARPA Lombardia ha svolto le attività progettuali di aggiornamento della descrizione statistica delle precipitazioni intense è quello della presenza di una base di dati strumentali già consolidata, costituita dalle osservazioni delle piogge massime annue di fissata durata di 1, 2, 3, 6, 12 e 24 ore per 105 stazioni meccaniche del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale, già utilizzate per lo sviluppo di un'attività di caratterizzazione statistica del territorio regionale mediante un modello scala-invariante secondo la distribuzione probabilistica GEV (Generalized Extreme Value), che ha prodotto la parametrizzazione delle LSPP su 69 punti strumentati e da questi su tutto il territorio regionale tramite tecniche di estrapolazione geostatistica; questo servizio è attualmente operativo e accessibile su piattaforma web-gis sul sito web istituzionale di ARPA . Il nuovo atlante delle piogge intense è stato calcolato puntualmente su una maglia di 1 km x 1 km in forma esplicita per durate da 1 a 24 ore e per tempi di ritorno dai 10 ai 200 anni.

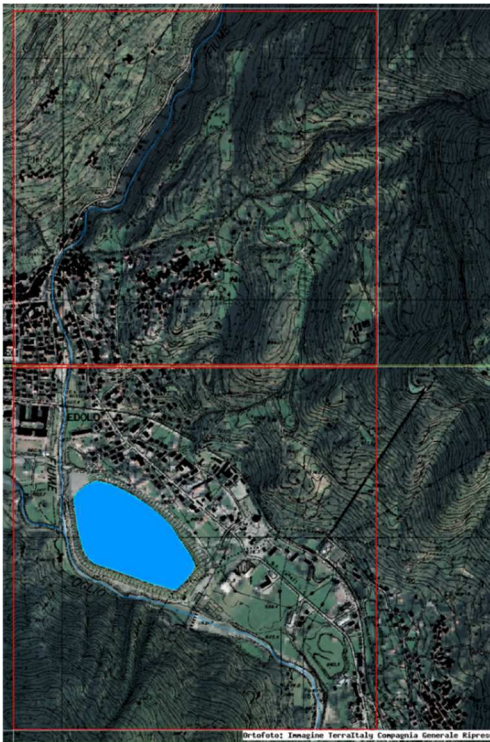
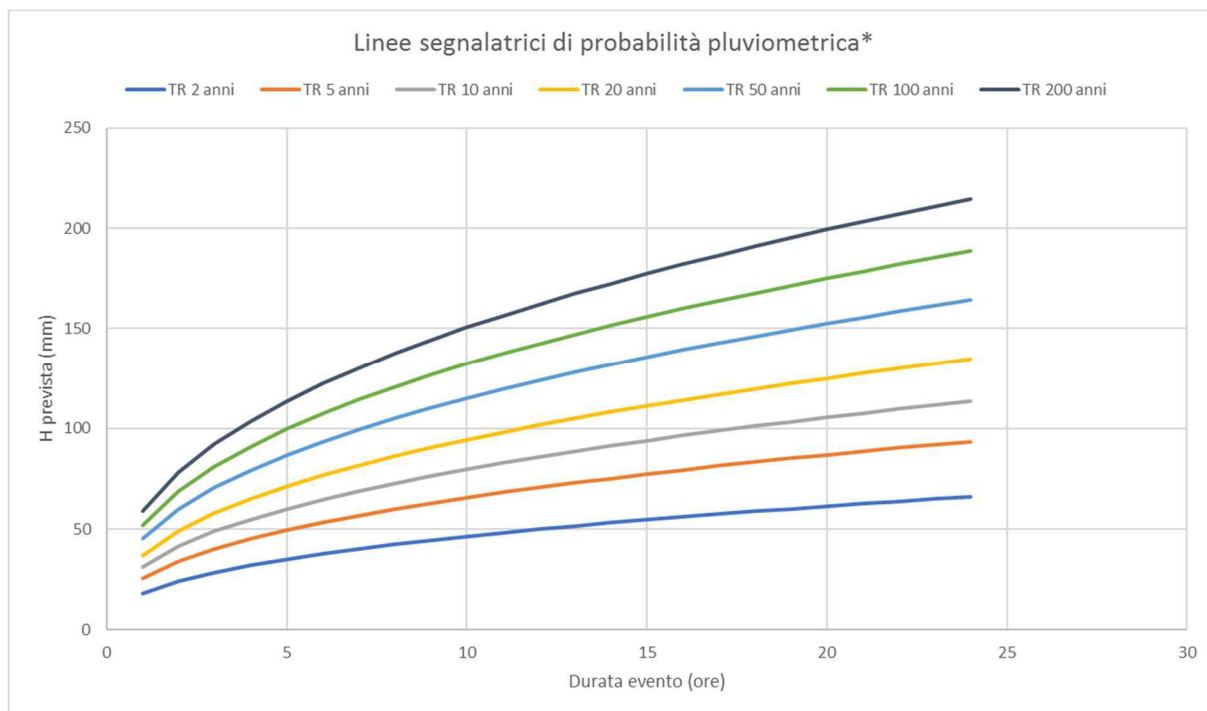


Figura 7 – Atlante delle Piogge Intense: maglia 1 x 1 km utilizzata per il calcolo delle precipitazioni

L'area interessata dal progetto è compresa in due differenti celle dell'atlante (in rosso nella **Figura 7**), una in corrispondenza dello Svincolo Sud ed una in corrispondenza dello Svincolo Nord. Per ciascuna maglia del reticolo, sono disponibili i valori dei parametri della curva segnalatrice di probabilità pluviometrica (**Figura 8**) e dei quantili della distribuzione GEV. Inoltre è possibile consultare anche i valori della precipitazione di massima intensità per diversi tempi di ritorno. Per la stima delle portate di progetto del sistema di raccolta e smaltimento delle acque, si è scelto di utilizzare i valori di precipitazione media delle due celle e, come da capitolato speciale d'appalto Anas, tempi di ritorno differenziati in base alle caratteristiche delle singole opere in progetto: 25 o 100 anni, per la verifica dei manufatti di raccolta e convogliamento delle acque di piattaforma, e 50 o 200 anni, per quelle di versante. I valori della precipitazione di massima intensità per gli intervalli 1, 3, 6, 12 e 24 associati ad un tempo di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni sono riportati nella tabella sottostante. I valori relativi al tempo di ritorno di 25 anni sono stati calcolati per interpolazione sulla base dei dati forniti da ARPA Lombardia.



* ARPA Lombardia - Atlante delle piogge intense. Valori medi tra le due celle

Figura 8 - Curve di possibilità pluviometrica per eventi meteorici superiori ad 1 ora in corrispondenza alla zona di intervento.

Durata [ore]	H [mm]				
	1	3	6	12	24
20 anni	37.0	57.8	76.6	101.6	134.6
25 anni	37.2	58.1	77.0	102.1	135.3
50 anni	45.2	70.6	93.5	123.9	164.3
100 anni	51.9	81.0	107.4	142.3	188.6
200 anni	59.1	92.3	122.3	162.0	214.7

Tabella 4 – Precipitazione di massima intensità per gli intervalli 1, 3, 6, 12 e 24 associati, mediata sulle due celle di interesse.

Tali valori sono stati confrontati con quelli provenienti dall'analisi statistica delle precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di Edolo e disponibili per gli anni 1949 – 1982 e 1994 – 2018. L'analisi è stata condotta utilizzando il metodo della grandezza indice, impiegando come distribuzione probabilistica di base la distribuzione GEV con parametri caratteristici desunti dallo studio VAPI (GNDCI Linea 1. Rapporto di Sintesi sulla valutazione delle piene in Italia – Sintesi del rapporto regionale per i compartimenti di Parma e Genova) che per Edolo fornisce i seguenti valori.

$$k = 0.027$$

$$\varepsilon = 0.872$$

$$\alpha = 0.232$$

Per la stima dell'altezza di pioggia indice si è adottata la media del campione delle precipitazioni di massima intensità registrate al pluviografo di Edolo i cui valori sono riportati

in **Tabella 7**.

Durata [ore]	1	3	6	12	24
H [mm]	16.4	25.3	35.7	50.3	71.7

Tabella 5 – Valori medi della precipitazione di massima intensità per gli intervalli 1, 3, 6, 12 e 24 registrati al pluviografo di Edolo.

Sulla base dei fattori di crescita desunti dallo studio VAPI e dei valori di precipitazione indice sopra specificati, si sono calcolati i valori dell'altezza di pioggia attesi ad Edolo corrispondenti ad un tempo di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni. Tali valori sono riportati nella **Tabella 8**.

Durata [ore]	H [mm]				
	1	3	6	12	24
25 anni	25.9	40.0	56.5	79.5	113.5
50 anni	28.3	43.8	61.8	87.0	124.1
100 anni	30.7	47.4	66.9	94.3	134.5
200 anni	33.0	51.0	72.0	101.3	144.6

Tabella 6 – Precipitazione di massima intensità per gli intervalli 1, 3, 6, 12 e 24, valutata utilizzando il metodo della grandezza indice.

Come si evince dalle tabelle, le analisi eseguite conducono a valori di pioggia oraria inferiori a quelli proposti da ARPA Lombardia per l'area in esame e, a favore di sicurezza, nel seguito si farà riferimento ai valori di precipitazioni di massima intensità riportati in **Tabella 4**.

I dati analizzati, però, non consentono di effettuare un'analisi statistica significativa delle misure di pioggia di durata inferiore all'ora, ritenute più significative per il dimensionamento del sistema di raccolta e smaltimento delle acque di piattaforma.

Si è pertanto scelto di ricavare le massime altezze di pioggia di durata inferiore all'ora a partire dal dato disponibile delle altezze massime di durata oraria, prendendo a riferimento studi effettuati in altre località italiane. È noto infatti da letteratura [Bell, 1969] che i rapporti r_8 tra le altezze di durata d molto breve e l'altezza oraria sono relativamente poco dipendenti dalla località. A partire dalla massima pioggia di durata oraria, si ricavano le corrispondenti altezze di pioggia di durata pari a frazioni di ora mediante l'utilizzo di un opportuno coefficiente correttivo $[r_8]$. Tale coefficiente può essere assunto sulla base delle indicazioni disponibili in letteratura tecnica e supportate da ricerche svolte su alcune stazioni di misura italiane appartenenti ad aree pluviometriche con diverse caratteristiche, in particolare i pluviografi di Milano Monviso e Roma Macao (riportati in "Sistemi di fognatura – Manuale di progettazione" del Centro Studi Deflussi Urbani).

Prendendo in considerazione il pluviografo di Milano Monviso, i valori del rapporto tra le altezze di durata d molto breve e l'altezza oraria sono riportati in **Tabella 7**.

Durata [min]	1	2	3	4	5	10	15	30	45
r_6	0.130	0.180	0.229	0.272	0.322	0.489	0.601	0.811	0.913

Tabella 7 – Coefficienti riduttivi pluviografo di Milano Monviso (campione 17 anni – Piga et al. 1990)

L'espressione della curva di possibilità pluviometrica, che permette di definire l'altezza di pioggia massima prevedibile nell'area considerata in funzione del tempo di ritorno e della durata della pioggia, è definita dalla seguente formula:

$$h = a \cdot d^n \quad (1)$$

dove:

- h rappresenta la precipitazione in mm per un determinato tempo di ritorno;
- d rappresenta la durata della precipitazione in ore;
- a, n sono i coefficienti delle curve segnalatrici per un assegnato tempo di ritorno.

Utilizzando i valori di r_6 riportati in **Tabella 7** e i valori di pioggia oraria (**Tabella 4**) si ottengono le altezze di pioggia relative ad eventi pluviometrici di durata inferiore all'ora (**Tabella 8**) e, quindi, la relativa curva di possibilità pluviometrica (**Figura 9**) espressa, per ciascun tempo di ritorno, dalle seguenti equazioni:

$$25 \text{ anni} \quad h = 41.181 \cdot d^{0.5033} \quad (2)$$

$$50 \text{ anni} \quad h = 49.996 \cdot d^{0.5033} \quad (3)$$

$$100 \text{ anni} \quad h = 57.352 \cdot d^{0.5033} \quad (4)$$

$$200 \text{ anni} \quad h = 65.316 \cdot d^{0.5033} \quad (5)$$

Durata [ore]	H [mm]					
	1	5	10	15	30	45
25 anni	4.8	12.0	18.2	22.4	30.2	34.0
50 anni	5.9	14.6	22.1	27.2	36.7	41.2
100 anni	6.7	16.7	25.4	31.2	42.1	47.3
200 anni	7.7	19.0	28.9	35.5	47.9	53.9

Tabella 8 – Precipitazioni di massima intensità per gli intervalli 1, 5, 10, 15, 30, 45 e 60 minuti associati a tempi di ritorno di 25, 50, 100 e 200 anni.

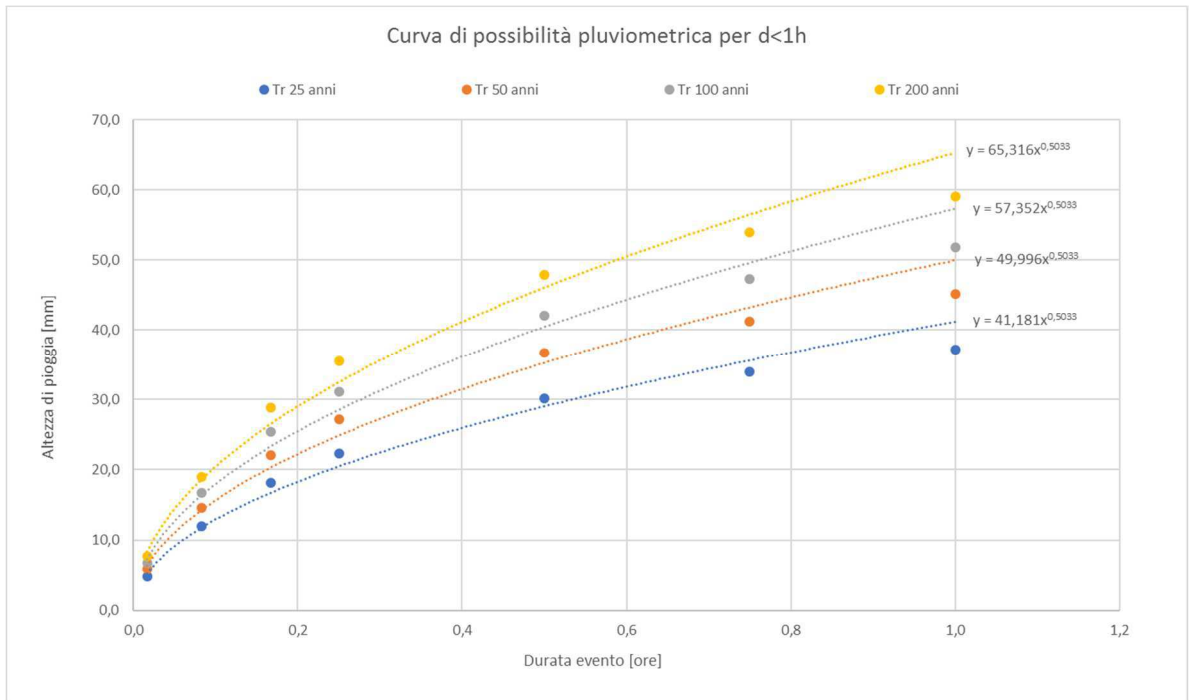


Figura 9 – Curve di possibilità pluviometrica per eventi meteorici inferiori ad 1 ora adottate per la stima della precipitazione nell’area oggetto di intervento.

3.3.2 Stima della portata di progetto

La stima della portata di progetto di canalette e tubazioni del sistema di smaltimento di piattaforma e di versante è contenuta nella relazione idraulica di progetto.