

S.S 685 "DELLE TRE VALLI UMBRE"
TRATTO SPOLETO - ACQUASPARTA
1° stralcio: Madonna di Baiano-Firenzuola

PROGETTO ESECUTIVO

COD. **PG143**

PROGETTAZIONE: ATI SINTAGMA - GDG - ICARIA

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Nando Granieri
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A351

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. Federico Durastanti
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Terni n° Terni n°A844

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Giorgio Cerquiglini
 Ordine dei Geologi della Regione Umbria n°108

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Filippo Pambianco
 Ordine degli Ingegneri della Prov. di Perugia n° A1373

Il Responsabile di Progetto

Arch. Pianificatore Marco Colazza

Il Responsabile del Procedimento

Dott. Ing.
 Alessandro Micheli

PROTOCOLLO

DATA

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

MANDATARIA:

MANDANTI:



Dott.Ing. N.Granieri
 Dott.Arch. N.Kamenicky
 Dott.Ing. V.Truffini
 Dott.Arch. A.Bracchini
 Dott.Ing. F.Durastanti
 Dott.Ing. E.Bartolucci
 Dott.Geol. G.Cerquiglini
 Geom. S.Scopetta
 Dott.Ing. L.Sbrenna
 Dott.Ing. E.Sellari
 Dott.Ing. L.Dinelli
 Dott.Ing. L.Nani
 Dott.Ing. F.Pambianco
 Dott. Agr. F.Berti Nulli

Dott. Ing. D.Carlaccini
 Dott. Ing. S.Sacconi
 Dott. Ing. G.Cordua
 Dott. Ing. V.De Gori
 Dott. Ing. C.Consorti
 Dott. Ing. F.Dominici

Dott. Ing. V.Rotisciani
 Dott. Ing. F.Macchioni
 Geom. C.Vischini
 Dott. Ing. V.Piunno
 Dott. Ing. G.Pulli
 Geom. C.Sugaroni



04.STUDIO IDROLOGICO IDRAULICO
04.01 IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO			NOME FILE	REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	ANNO	T00ID00IDRRE01A		
DTPG143	E	23	CODICE ELAB. T00ID00IDRRE01	A	-
A	Emissione		Ago 2023	F.Macchioni	V.Rotisciani N.Granieri
REV.	DESCRIZIONE		DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

1	INTRODUZIONE	2
2	DESCRIZIONE DEL TRACCIATO STRADALE	5
3	INTERFERENZA DEL TRACCIATO STRADALE CON IL TORRENTE MARROGGIA	6
4	ANALISI IDROLOGICA	12
4.1	METODO AUTORITÀ DI BACINO DEL TEVERE – LINEE GUIDA DEFINIZIONE FASCE FLUVIALI	13
4.1.1	<i>Stima della portata al colmo di piena</i>	13
4.1.2	<i>Stima dell'altezza di pioggia di progetto</i>	14
4.1.3	<i>Stima del coefficiente k_r di ragguaglio all'area</i>	16
4.1.4	<i>Calcolo del tempo di corrivazione</i>	16
4.1.5	<i>Stima del coefficiente di deflusso k_d</i>	19
4.2	METODO CINEMATICO E ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN UMBRIA (2016)	23
5	ANALISI DEI BACINI IDROGRAFICI	28
5.1	TORRENTE MARROGGIA (KM 1+354).....	29
5.2	CANALE DEI MOLINI I (KM 2+400)	34
5.3	CANALE DEI MOLINI II (KM 3+300)	35
5.4	FOSSO DI S. ANTONIO (KM 3+525)	36
5.5	CALCOLO DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO CON IL METODO AUTORITÀ DI BACINO DEL TEVERE	42
5.6	CALCOLO DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO CON IL METODO RAZIONALE E ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI IN UMBRIA.....	45
5.7	PORTATE DI PROGETTO SINTESI DEI RISULTATI	47
6	PRECIPITAZIONI METEORICHE DI RIFERIMENTO PER DURATE INFERIORI A 1 ORA	50
6.1	METODOLOGIA DELL'AUTORITÀ DI BACINO DEL FIUME TEVERE	50
6.2	METODOLOGIA ANALISI DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE IN UMBRIA (2016)	53
7	CALCOLO DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO PER TOMBINI E FOSSI DI GUARDIA ..	56
8	BIBLIOGRAFIA	58

1 INTRODUZIONE

Nell'ambito del progetto di completamento della strada delle tre valli è prevista la realizzazione di numerosi attraversamenti su corsi d'acqua demaniali e sul reticolo di scolo minore.

Il principale obiettivo dell'analisi idrologica è la determinazione delle portate al colmo di piena per assegnato tempo di ritorno in corrispondenza di prefissate sezioni dell'asta fluviale principale che dovranno essere utilizzate nella successiva analisi idraulica finalizzata al dimensionamento delle opere idrauliche di attraversamento del corpo stradale e delle opere di presidio e drenaggio delle acque che insistono sulla piattaforma stradale.

La determinazione degli idrogrammi di progetto attraverso metodi diretti, ossia mediante un'analisi statistica delle portate massime annuali osservate, non è praticabile in quanto nel reticolo idrografico oggetto del presente studio non sono presenti un numero sufficiente di sezioni fluviali strumentate e operanti da un numero di anni adeguato a garantire risultati affidabili per le sezioni idrauliche di interesse.

L'uso di una modellistica afflussi-deflussi è quindi ritenuta indispensabile in questo studio anche se basata sull'ipotesi che la portata defluente associata ad uno specifico tempo di ritorno è determinata da una sollecitazione meteorica di pari probabilità di accadimento.

Si deve comunque sottolineare che, al contrario dei dati di portata, i dati di pioggia sono disponibili per numerose località del territorio interessato e per un numero di anni idoneo ad ottenere una buona caratterizzazione climatica in termini di Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica (LSPP).

Queste ultime forniscono i dati di ingresso per il modello idrologico che può essere caratterizzato da differenti gradi di complessità a seconda del livello di dettaglio che si vuole determinare sull'onda di piena e sulla sua distribuzione lungo l'asta fluviale.

In ogni caso, gli elementi che devono essere valutati al fine di determinare le portate al colmo di piena e/o gli idrogrammi di progetto sono:

- Stima delle Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica;

- Calcolo dell'evento pluviometrico critico di assegnato tempo di ritorno;
- Stima della pioggia effettiva;
- Stima della portata al colmo di assegnato tempo di ritorno.

La caratterizzazione del reticolo idrografico di interesse è stata condotta tramite una approfondita indagine su base cartografica IGM 1:25.000 integrata dalla Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000 e 1:5.000. Il quadro riassuntivo dei bacini idrografici con l'individuazione degli spartiacque, del reticolo idrografico principale e delle stazioni pluviometriche presenti nel territorio, è riportato nelle planimetrie idrauliche che completano la presente relazione.

Le opere in progetto prevedono principalmente la realizzazione di viadotti per tutte le intersezioni con i torrenti e fossi principali, e la realizzazione di ponti e tombini per i corsi d'acqua di minore importanza.

Per quanto riguarda le interferenze tra la strada e la rete di scolo marginale, fossi camperecci o formelle, il dimensionamento delle opere di attraversamento verrà condotto sulla base di scrosci di pioggia con tempo di ritorno centennale con l'obiettivo principale di garantire l'attuale continuità del reticolo idrografico marginale.

In via generale gli obiettivi che saranno in ogni caso perseguiti nella definizione delle opere e delle sistemazioni idrauliche dell'area interessata dal nuovo tracciato stradale saranno principalmente quelle di:

- assicurare il deflusso delle acque meteoriche ricadenti sulle superfici utilizzate per la sede e le pertinenze stradali;
- dare continuità a tutta la rete idrografica naturale e di scolo superficiale evitando di concentrare i deflussi e conservando, per quanto possibile, l'originaria disposizione del reticolo minore;
- evitare che l'opera arrechi modifiche al regime dei corsi d'acqua tali da creare un aumento del rischio idraulico nelle aree di monte o di valle;
- difendere le opere stradali e le relative opere di sostegno dall'azione erosiva delle acque;

In particolare le acque meteoriche ricadenti sulla superficie stradale saranno convogliate in fossi di guardia posti a margine della sede stradale che saranno poi connessi con l'attuale sistema di drenaggio minore costituito da fossi di scolo delle aree agricole.

2 DESCRIZIONE DEL TRACCIATO STRADALE

Il tracciato stradale oggetto della presente analisi si sviluppa da S. Giovanni di Baiano fino alla galleria Romanella mediante la realizzazione della sola corsia sud del progetto definitivo originale della “Strada delle tre valli umbre” che andava da Eggi ad Acquasparta.

Il tracciato si origina dall’attuale collegamento fra la tre valli e la SP 418 in località S. Giovanni di Baiano, e si sviluppa in direzione ovest verso acquasparta mediante un tratto iniziale in rilevato (circa 400 m) un secondo tratto in viadotto (viadotto Mulino Vecchio 750 m), un terzo tratto in rilevato (circa 600 m), un quarto tratto in viadotto (viadotto Marroggia I 990 m), un tratto in galleria artificiale (galleria Colle del Vento 480 m), rilevato e galleria artificiale Romanella (210 m) e rilevato per la realizzazione dello svincolo di fine intervento.

Le principali interferenze con il reticolo idrografico principale sono rappresentate dal Torrente Marroggia, dal Canale dei Mulini e dal Fosso di S. Antonio.

Il Torrente Marroggia ed il Fosso di S. Antonio vengono superati tramite viadotto, pertanto le problematiche idrauliche risultano essere limitate all’interferenza delle pile dei viadotti con la corrente di piena fuori alveo. Il Canale dei Mulini, invece, attraversa il rilevato stradale una prima volta in corrispondenza della progressiva 2+400, e poi alla progressiva 3+300 nel tratto in cui il tracciato stradale sarà realizzato su viadotto.

3 INTERFERENZA DEL TRACCIATO STRADALE CON IL TORRENTE MARROGGIA

Il tracciato stradale in progetto nel tratto oggetto del presente intervento interferisce con il Torrente Marroggia in corrispondenza del viadotto Marroggia I alla progressiva km 1+354, per poi proseguire in destra idraulica lungo la valle del Marroggia fino allo svincolo di S. Giovanni di Baiano alla progressiva km 4+370 di fine intervento.

Nell'area è stato recentemente concluso uno studio sulle mappe di allagabilità del Torrente Marroggia redatto all'interno del Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del Fiume Tevere e redatto da Regione Umbria, Consorzio della Bonificazione Umbra e Università degli Studi di Firenze "Mappe di Pericolosità e Rischio Idraulico nel bacino del Fiume Topino e del Torrente Marroggia – 1° e 2° Lotto funzionale".

Lo studio alla base delle mappe di allagabilità è molto dettagliato sia dal punto visto idrologico che idraulico. Il modello idrologico prende in considerazione varie metodologie mettendo a confronto i risultati di modelli cinematici e di modelli basati sull'idrogramma unitario, tenendo in considerazione per la taratura l'analisi delle serie storiche e dei singoli eventi di piena registrati dalla rete di monitoraggio idropluviometrica presente nel bacino Topino-Marroggia.

Il modello idraulico è stato costruito in moto vario avendo in ingresso gli idrogrammi definiti alla chiusura dei bacini minori e lungo le aste principali del reticolo idrografico.

Uno stralcio della planimetria delle aree di esondazione del Torrente Marroggia nel tratto interessato dal presente progetto stradale è riportato di seguito.



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

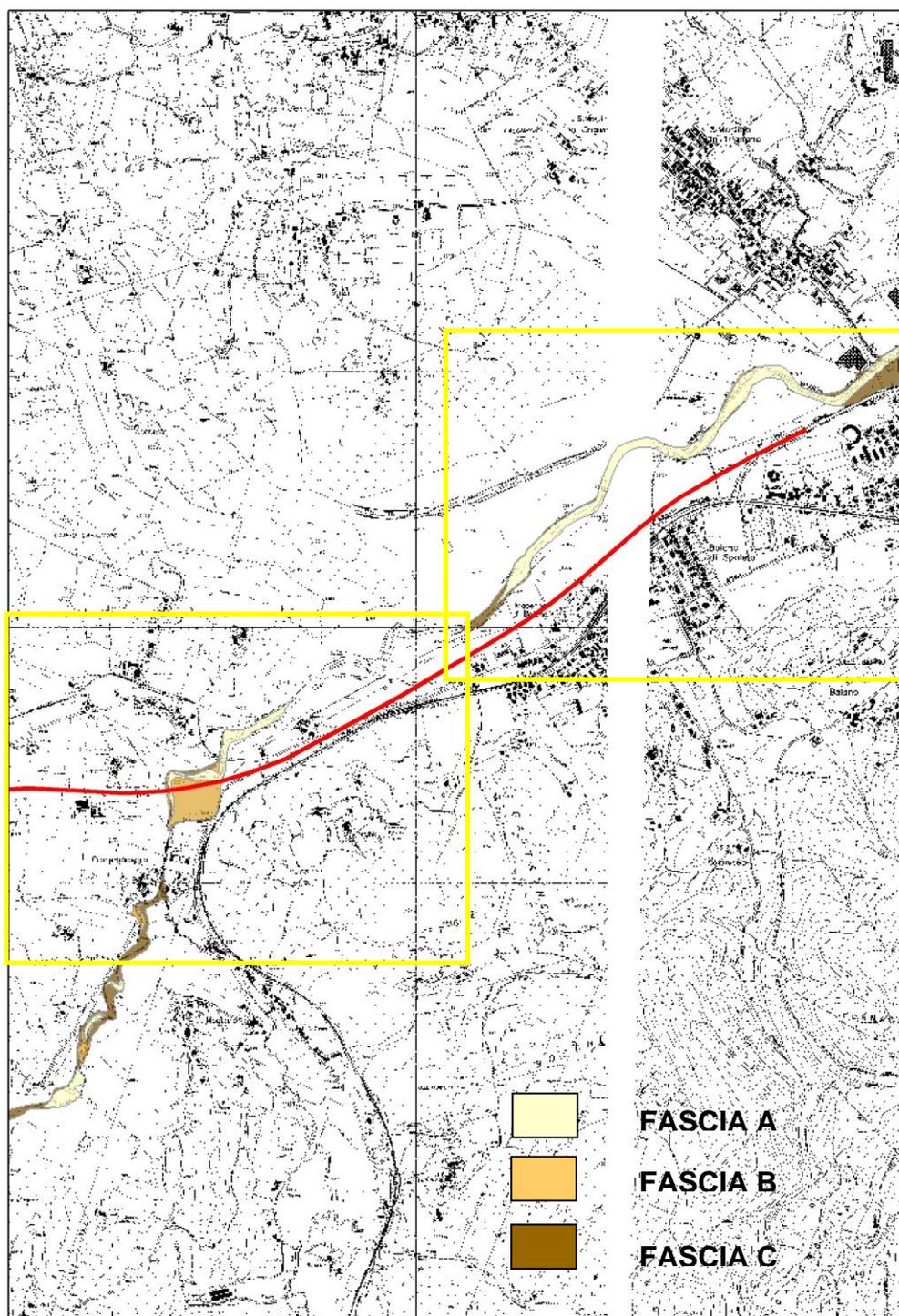


Figura 3.1. Interferenza del tracciato stradale con le aree di esondazione definite dal PAI.

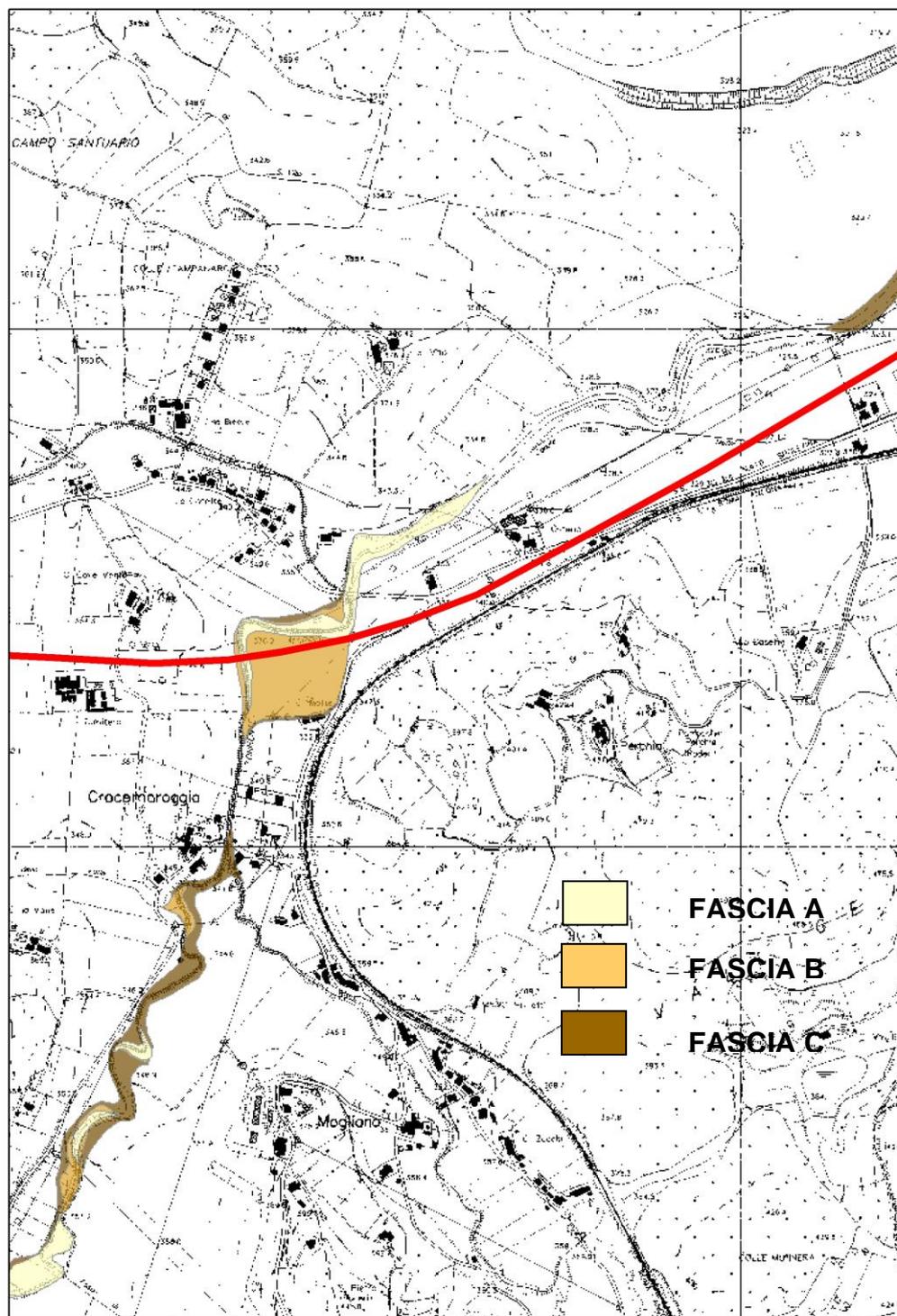


Figura 3.2. Interferenza del tracciato stradale con le aree di esondazione definite dal PAI.

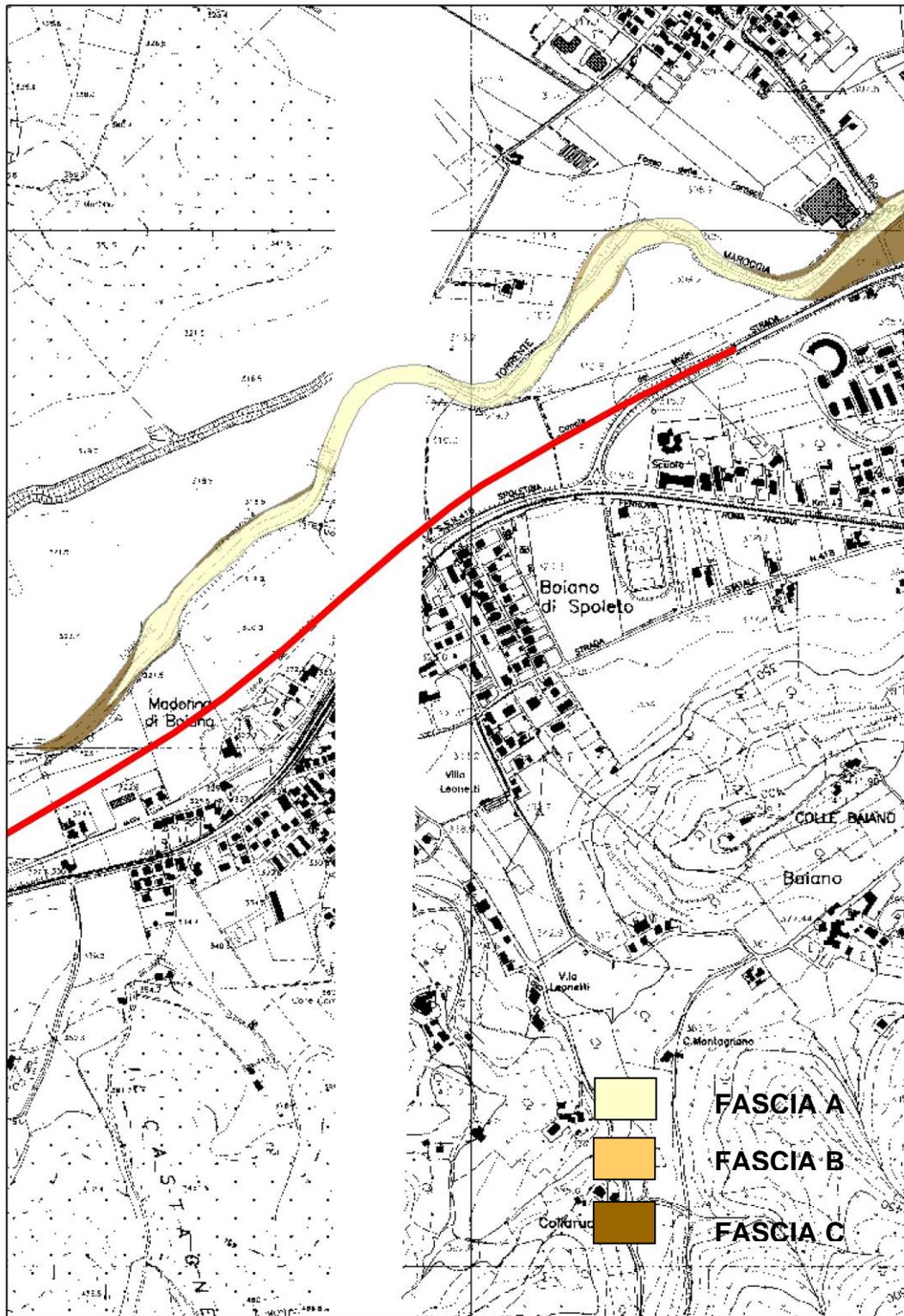


Figura 3.3. Interferenza del tracciato stradale con le aree di esondazione definite dal PAI.

Da quanto definito nel PAI le aree interessate dall'espansione della piena a valle dell'attraversamento esistente della S.R. 418, nei pressi del viadotto Marroggia, risultano essere molto disitanti dall'area su cui insiterà l'opera viaria in progetto.

Pertanto il presente studio idraulico si limiterà a valutare gli effetti dell'intervento sul regime idraulico del Torrente Marroggia in corrispondenza del viadotto Marroggia I nel quale le opere possono essere interessate dalla corrente di piena sia dentro che fuori alveo.

4 ANALISI IDROLOGICA

Per i corsi d'acqua oggetto del presente studio non sono disponibili stazioni di misura idrometrica prossime alle sezioni di interesse, pertanto per la ricostruzione delle portate al colmo di piena per i tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni si deve ricorrere all'uso di metodi indiretti, e cioè all'utilizzo di un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

Per la determinazione delle portate di progetto si fa riferimento a due metodologie:

- il metodo definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel disciplinare tecnico allegato al Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio – Capitolo I Direttive tecniche per la definizione delle aree inondabili – Appendice A.I.1 – Procedura per il calcolo della piena di riferimento.
- Il metodo razionale dove l'analisi pluviometrica delle piogge intense è trattato nello studio "Analisi delle precipitazioni intense in Umbria" (2016, Università degli Studi di Perugia e Regione Umbria), che determina le LSPP per ciascun pluviometro regionale.

Entrambe le metodologie si basano sul metodo razionale con associato il metodo SCS per la stima delle perdite per infiltrazione. La differenza principale è data dalla variabile pluviometrica presa a riferimento: nel primo caso si fa riferimento ad un modello di regionalizzazione TCEV con dati aggiornati al 1995, nel secondo caso ad un modello di tipo GEV con dati aggiornati al 2016.

La procedura sviluppata dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere (ABT, 1995), si basa sull'ipotesi che la distribuzione di probabilità assunta è quella del valore estremo a due componenti TCEV (Rossi et al., 1984, Fiorentino et al., 1985), largamente usata sul territorio nazionale (Progetto Valutazione Piene in Italia, VAPI, CNRGNDCI). Il modello TCEV si basa sull'osservazione empirica che le serie storiche dei massimi annuali di pioggia presentano alcuni valori largamente superiori agli altri e tali da far supporre che provengano da una diversa popolazione. Dal punto di vista statistico si assume che il processo delle piogge (e quindi dei valori estremi delle precipitazioni) possa essere schematizzato attraverso due sequenze di

variabili casuali: la prima legata ad eventi “ordinari”, la seconda legata ad eventi “estremi”, interpretate singolarmente dalla legge di Gumbel. La tecnica di regionalizzazione è di tipo gerarchico, cioè si basa sulla considerazione che esistono zone geografiche che possono ritenersi omogenee relativamente a specifici parametri statistici della distribuzione.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica ottenute mediante questo metodo hanno una validità locale e non possono quindi essere adottate per l'intero bacino. E' noto che le piogge di elevata intensità si concentrano in aree piccole e che, a parità di durata e di tempo di ritorno, l'altezza di pioggia decresce con l'area. Su tali basi l'altezza di pioggia media su un bacino si determina moltiplicando l'altezza di pioggia puntuale relativa al centroide del bacino stesso per un opportuno coefficiente di riduzione (o coefficiente di ragguglio all'area) che dipende principalmente dall'area del bacino, dal tempo di ritorno e dalla durata. L'uso di tale coefficiente di riduzione implica che il regime delle precipitazioni sia alquanto uniforme per l'intero bacino idrografico. Tale condizione è sicuramente soddisfatta quando le aree considerate non sono troppo grandi e quando lo sviluppo orografico non è molto accentuato.

Di seguito viene illustrata in dettaglio la metodologia per la stima delle portate al colmo di piena definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel disciplinare tecnico allegato al Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio – Capitolo I Direttive tecniche per la definizione delle aree inondabili – Appendice A.I.1 – Procedura per il calcolo della piena di riferimento.

Il metodo razionale dove l'analisi pluviometrica delle piogge intense è trattato nello studio “Analisi delle precipitazioni intense in Umbria” (2016, Università degli Studi di Perugia e Regione Umbria), si differenzia dal precedente per la sola componente di pioggia e per l'assenza del coefficiente di ragguglio all'area K_r indicato nel precedente metodo.

Entrambi definiscono in modo analogo il calcolo del tempo di corrivazione ed il coefficiente di deflusso mediante il metodo SCS.

4.1 Metodo Autorità di Bacino del Tevere – Linee guida definizione fasce fluviali

4.1.1 Stima della portata al colmo di piena

Il metodo utilizzato per la stima della portata al colmo di piena è quello Razionale o Cinematico, ritenuto il più cautelativo ed affidabile per i bacini italiani.

La durata della pioggia deve essere tale che ogni parte del bacino contribuisca al deflusso nella sezione di chiusura e questa condizione critica si raggiunge quando la pioggia cade per un tempo pari almeno al tempo di corrivazione, il quale rappresenta la durata del cammino di una particella di acqua piovuta nel punto idraulicamente più distante dalla sezione di chiusura del bacino. Il calcolo della portata si effettua con la formula seguente:

$$Q_{\max} = \frac{h_{d,t} \times k_r \times k_d \times A}{3.6 \times t_c}$$

con :

- A area del bacino (km²).
- h_{d,t} altezza massima di precipitazione per un tempo pari alla durata critica (mm).
- k_r coefficiente di ritardo.
- k_d coefficiente di deflusso superficiale.
- t_c tempo di corrivazione (ore).

4.1.2 Stima dell'altezza di pioggia di progetto

Il metodo prevede la valutazione delle massime altezze di pioggia per i diversi tempi di ritorno per le durate caratteristiche di 1, 3, 6, 12 e 24 ore in funzione della latitudine del centroide del bacino idrografico. Una volta determinata la latitudine in gradi e millesimi, si ricavano dalla Tabella 4.21 sotto riportata i valori dei parametri Z/L e Z/Y da inserire poi nella relazione seguente per la determinazione del parametro s₁.

$$s_1 = 90 \cdot \frac{Z}{L} - 11.4 \cdot \frac{Z}{Y}$$

Tabella 4.2.1. valori di Z/L e Z/Y per le latitudini del bacino del Fiume Tevere.

Latitudine [°,0]	Z/L	Z/Y	Latitudine [°,0]	Z/L	Z/Y
41.233	0.02941	0.21948	42.650	0.01903	0.14899
41.283	0.02919	0.21770	42.683	0.01868	0.14684
41.450	0.02838	0.21140	42.717	0.01833	0.14465
41.467	0.02829	0.21073	42.767	0.01779	0.14133
41.617	0.02744	0.20451	42.850	0.01688	0.13569
41.667	0.02714	0.20234	42.867	0.01669	0.13454
41.683	0.02704	0.20160	42.900	0.01631	0.13224
41.750	0.02661	0.19860	42.950	0.01574	0.12873
41.783	0.02639	0.19706	42.967	0.01554	0.12754
41.833	0.02606	0.19471	43.017	0.01495	0.12397
41.900	0.02559	0.19150	43.033	0.01475	0.12277
41.917	0.02547	0.19068	43.050	0.01455	0.12156
41.967	0.02510	0.18819	43.083	0.01415	0.11912
42.417	0.02133	0.16346	43.150	0.01333	0.11418
42.433	0.02117	0.16247	43.167	0.01312	0.11293
42.450	0.02101	0.16147	43.183	0.01291	0.11168
42.467	0.02085	0.16046	43.200	0.01270	0.11041
42.517	0.02037	0.15740	43.233	0.01228	0.10788
42.550	0.02004	0.15533	43.267	0.01184	0.10531
42.567	0.01988	0.15429	43.317	0.01119	0.10142
42.583	0.01971	0.15325	43.350	0.01075	0.09880
42.600	0.01954	0.15219	43.450	0.00940	0.09080
42.633	0.01920	0.15007			

Da quest'ultima si ricava il valore della pioggia unitaria di riferimento, espressa in mm, pari a:

$$E[h_1] = (s_1 + 1) \cdot 29$$

Valutato poi in Tabella 4.2.2 il valore del termine K_T , fattore di frequenza, in funzione del tempo di ritorno assegnato, la pioggia caratteristica per le diverse durate d (1, 3, 6, 12, e 24 ore) si ottiene dalla seguente relazione:

$$h_{d,T} = K_T \cdot E[h_1] \cdot d^{0.29}$$

Tabella 4.22. Valori del fattore di frequenza K_T in funzione del tempo di ritorno.

Tr (anni)	K _T
25	1.7679
50	2.0601
100	2.3760
200	2.7036
500	3.1442

4.1.3 Stima del coefficiente kr di ragguaglio all'area

La metodologia dell'Autorità di Bacino del Tevere per la quantificazione delle piene di riferimento propone la seguente relazione per la stima del coefficiente kr di ragguaglio all'area della pioggia puntuale, funzione dell'altezza di pioggia, del tempo di corrivazione e della superficie del bacino scolante:

$$kr = 1 - \exp(-0.033 \times E[h_1] \times 1.1 \times t_c^{0.25}) + \exp(-0.033 \times E[h_1] \times 1.1 \times t_c^{0.25} - 0.01 \times S)$$

Come risulta evidente dalla relazione sopra riportata il coefficiente di ragguaglio tende ad uno al diminuire delle dimensioni, pertanto per i bacini di modeste dimensioni tale coefficiente è praticamente pari all'unità.

4.1.4 Calcolo del tempo di corrivazione

La durata della pioggia critica viene assunta pari al tempo di corrivazione specifico del singolo bacino idrografico e calcolato secondo la classica relazione di Giandotti:

$$T_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{0.8 \times \sqrt{H}}$$

dove:

A = area del bacino (km²)

L = lunghezza dell'asta principale (km)

H = altezza media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

L'altezza media del bacino idrografico rispetto alla sezione di chiusura sarà stimata mediante l'analisi della curva ipsografica per i bacini di maggiori dimensioni, mentre per quelli minori sarà determinata in base all'altezza massima, H_{\max} , e minima, H_{\min} , del bacino stesso impiegando la seguente relazione:

$$H = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{2} + H_{\min}$$

Per il calcolo del tempo di corrivazione, in particolare in riferimento ai bacini idrografici di minori dimensioni, si farà riferimento anche alle formulazioni proposte da Pezzoli, Ventura, Kirpich, Pasini e Pugliesi riportate di seguito.

Pezzoli
$$T_c = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale;

L = lunghezza dell'asta principale;

Ventura
$$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale;

S = superficie del bacino idrografico;

Kirpich
$$T_c = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left[1000 \cdot \frac{L}{(H_{\max} - H_{\min})} \right]^{0.385}$$

dove:

H_{\max} = quota massima del bacino;

H_0 = quota della sezione di chiusura;

L = lunghezza dell'asta principale;

Pasini

$$T_c = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{i^{0.5}}$$

dove:

i = pendenza media dell'asta principale;

S = superficie del bacino idrografico;

L = lunghezza dell'asta principale;

Puglisi

$$T_c = 6 \cdot L^{(2/3)} \cdot (H_{MAX} - H_{MIN})^{1/3}$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale;

 H_{max} = altezza massima del bacino idrografico H_{min} = altezza della sezione di chiusura

4.1.5 Stima del coefficiente di deflusso kd

La pioggia netta, ovvero del volume della piena, viene calcolata mediante il metodo SCS-CN, formulato dal Soil Conservation Service degli U.S.A (1972).

Secondo il metodo SCS-CN la formazione del deflusso di piena è determinata fondamentalmente dai seguenti fattori:

- caratteristiche di permeabilità dei terreni superficiali e degli strati geologici immediatamente sottostanti;
- uso del suolo e copertura vegetale;
- condizioni di umidità iniziale del suolo all'inizio della precipitazione meteorica.

Questo metodo viene adottato sempre più spesso per la stima del deflusso di piena in quanto consente di tenere in considerazione tutti i fattori che effettivamente influiscono sul fenomeno della formazione della piena, che spesso sono trascurati dai metodi tradizionali, come ad esempio l'uso del suolo, e che sono determinabili sulla base di un numero limitato di informazioni facilmente reperibili.

Secondo il metodo SCS-CN, il volume di deflusso superficiale (altezza di pioggia effettiva) per un evento isolato di piena è dato da:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P + S_{CN} - I_a}$$

dove:

- P spessore totale di pioggia per l'intero evento;
- P_e spessore totale di pioggia effettiva per l'intero evento;
- S_{CN} massima ritenzione potenziale del suolo.
- I_a spessore di assorbimento iniziale del suolo, in genere $I_a = \beta S_{CN}$ con $0 < \beta < 1$

Il metodo SCS-CN lega la pioggia lorda e la pioggia netta tramite una grandezza, S, che è funzione dalle caratteristiche del suolo, in particolare tipo e uso, e dalle condizioni di umidità iniziali.

L'assorbimento iniziale I_a rappresenta il volume specifico di pioggia sottratto inizialmente per l'intercettazione della vegetazione, l'accumulo nelle depressioni superficiali e l'assorbimento iniziale del terreno. Sulla base di dati sperimentali di numerosi bacini statunitensi, il Soil Conservation Service ha suggerito per la stima di I_a un valore di $\beta=0.2$.

Per un fissato stato iniziale di umidità del suolo, la *massima ritenzione potenziale* S del bacino è funzione del tipo di terreno e dell'uso del suolo, il cui effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale CN, $0 < CN < 100$, che per condizioni di umidità intermedie è espressa tramite il Curve Number, CN II, dalla relazione che segue

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

Una volta determinato il parametro S_{CN} in base al tipo e uso del suolo è quindi possibile per ogni evento meteorico determinare lo spessore di pioggia contribuente al deflusso superficiale.

In via generale per determinare il parametro CN occorre stabilire anche il grado iniziale di umidità del terreno attraverso tre tipologie: AMC Tipo I, in caso di bacino asciutto; AMC Tipo III, in caso di bacino fortemente imbibito; e AMC Tipo II, per condizioni intermedie. Lo stato di umidità iniziale viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena, API5 (Antecedent Precipitation Index). In numerosi studi applicati alle realtà italiane è stato evidenziato che tale criterio non presenta particolare affidabilità (Borselli, 1989; Melone et. al., 2001). La prassi consolidata nell'applicazione del metodo SCS-CN rivolta alla determinazione delle portate di massima piena è ormai orientata verso la scelta di condizioni intermedie per lo stato iniziale di umidità del terreno.

La determinazione della natura idrologica del suolo è basata su un sistema di classificazione in quattro classi di tipo di suolo ordinate dalla A alla D con potenzialità di deflusso crescente indicate in Tabella 4.5.2, mentre la Tabella 4.5.1 riporta i valori di CN per condizioni iniziali intermedie (AMC Tipo II), in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo stesso.

Tabella 4.5.1. "Curve Number" CN (II), per condizioni intermedie di contenuto d'acqua iniziale del suolo, in funzione del tipo di suolo e dell'uso del suolo.

Tipo di copertura	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato				
Senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
Con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo				
Cattive condizioni	68	79	86	89
Buone condizioni	39	61	74	80
Praterie				
Buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati				
Terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
Sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi				
Buone condizioni con almeno il 75% dell'area con copertura erbosa	39	61	74	80
Condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media%)				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	72	81	86
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabilizzati, tetti	98	98	98	98
Strade				
Pavimentate, con cordoli e fognature	98	98	98	98
Inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
In terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 4.5.2. "Gruppo idrologico del suolo" in funzione del tipo di suolo.

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

La stima del CN II all'interno di ogni bacino idrografico viene effettuata considerando la media pesata delle singole porzioni areali aventi differente tipo di suolo o differente copertura, venendo così a determinare un CN II unico per l'intero bacino idrografico.

Sulla base della relazione che definisce la pioggia effettiva (P_e) in funzione del CN II individuato si riesce a stimare il coefficiente di deflusso k_d da utilizzare nella formula razionale per la stima della portata al colmo di piena.

4.2 Metodo Cinematico e Analisi delle precipitazioni intense in Umbria (2016)

Il metodo Razionale o Cinematico è stato già descritto in generale nel paragrafo 4.1.

Nella presenta formulazione il calcolo della portata si effettua con la seguente:

$$Q_{\max} = \frac{h_{d,T} \times k_d \times A}{3.6 \times t_c}$$

con :

- A area del bacino (km²).
- $h_{d,t}$ altezza massima di precipitazione per un tempo pari alla durata critica (mm).
- k_d coefficiente di deflusso superficiale.
- t_c tempo di corrivazione (ore).

La stima dei parametri k_d e t_c avviene secondo quanto indicato ai paragrafi 4.1.4 e e 4.1.5.

La stima del parametro $h_{d,t}$, ovvero l'altezza massima di precipitazione per i bacini di studio, è stata eseguita sulla base dello studio Analisi delle precipitazioni intense in Umbria, redatto nel 2016 a cura dell'Università degli Studi di Perugia e della Regione dell'Umbria.

Lo studio ha analizzato i dati di pioggia di tutte le stazioni appartenenti alla rete pluviometrica gestita dal Servizio Idrografico Regionale dell'Umbria, costituita da 91 stazioni poste internamente al territorio regionale e due stazioni posizionate nel territorio di Toscana ed Emilia Romagna.

Nell'analisi sono stati utilizzati anche i dati pubblicati negli Annali Idrologici del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici, ed in particolare la globalità delle informazioni originali registrate dalle varie stazioni pluviometriche comprese fra il 1916 ed il 2015.

Lo studio ha individuato gli spessori di pioggia massimi annuali che la determinazione delle curve di possibilità pluviometrica per 46 stazioni nelle quali la numerosità del campione è stata considerata sufficiente a non produrre scadenti approssimazioni.

La distribuzione probabilistica utilizzata è la GEV (Generalized Extreme Value) caratterizzata dalla variabilità di tre parametri che assume la forma:

$$P(x) = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x-u)}{\sigma} \right]^{(1/k)} \right\}$$

Con k , σ ed u parametri della distribuzione che possono stimarsi con varie tecniche, tra le quali è stata individuata quella dei momenti pesati di probabilità. Il parametro k è un fattore di forma e governa il comportamento della coda della distribuzione. La distribuzione coincide con quella di Gumbel per k che tende a zero, con la distribuzione di Frechét per $k < 0$ e con la distribuzione di Weibull per $k > 0$. Il parametro σ è un fattore di scala e assume valori positivi, mentre il parametro u è un fattore di posizione ed assume valori reali.

Lo studio per ciascuna stazione pluviometrica analizzata definisce i parametri della c.p.p.

Per l'area di intervento si fa riferimento ai dati delle c.p.p. dei pluviometri di Spoleto, Ancaiano, Casigliano e San Gemini che racchiudono i bacini del Torrente Marroggia e del Fosso S. Antonio, nonché l'area di intervento. L'area di influenza del pluviometro di Ancaiano racchiude un'area marginale del bacino del Torrente Marroggia e pertanto può essere trascurato.

Nelle figure seguenti si riportano i poligoni Thiessen che individua le aree di competenza di ciascun pluviometro ed i relativi coefficienti delle CPP.

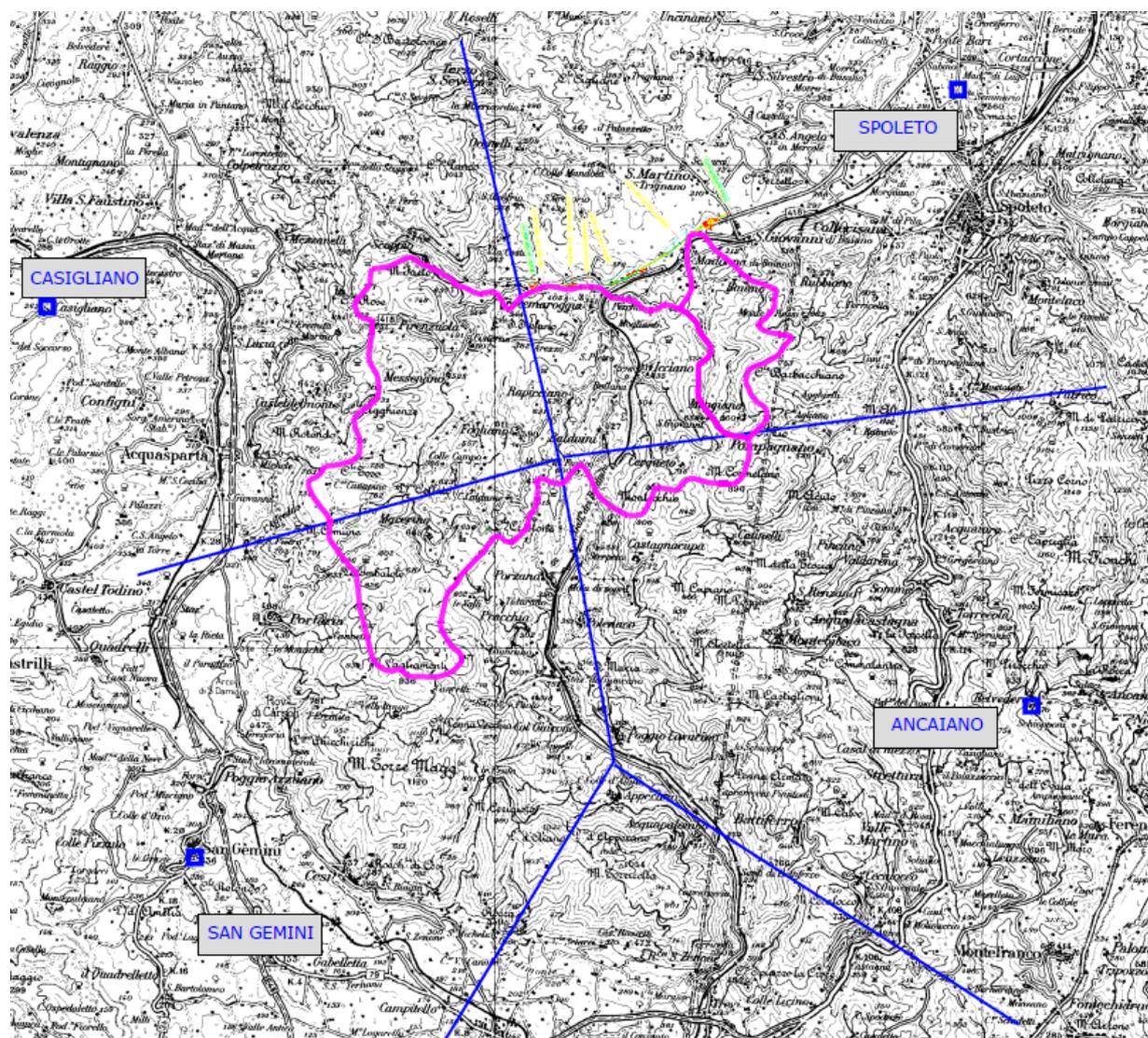


Figura 4.2.1. Corografia dei bacini con la localizzazione dei pluviometri.

Pluviometro di riferimento	Superficie bacino Torrente Marroggia		Superficie bacino Fosso S. Antonio	
	(kmq)	(%)	(kmq)	(%)
Spoleto	13.8	35%	5.3	100%
Casigliano	16.2	41%	0.0	0%
San Gemini	9.6	24%	0.0	0%

Stazione di SPOLETO - Curve di probabilità pluviometrica

$R_d(T_r) = a d^{b'}$ (in mm)	valida nell'intervallo di durate	$0 < d \leq 1$ ora
$R_d(T_r) = a d^b$ (in mm)	valida nell'intervallo di durate	$1 \text{ ora} \leq d \leq 48$ ore

dove:

T_r (anni)	5	10	25	50	100	200
a	32,61	37,83	44,47	49,44	54,41	59,39
b'	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
b	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278

Figura 4.2.2 – C.P.P. Stazione pluviometrica di Spoleto

Stazione di CASIGLIANO - Curve di probabilità pluviometrica

$R_d(T_r) = a d^{b'}$ (in mm)	valida nell'intervallo di durate	$0 < d \leq 1$ ora
$R_d(T_r) = a d^b$ (in mm)	valida nell'intervallo di durate	$1 \text{ ora} \leq d \leq 48$ ore

dove:

T_r (anni)	5	10	25	50	100	200
a	41,55	49,46	60,09	68,48	77,24	86,42
b'	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381	0,381
b	0,243	0,243	0,248	0,255	0,263	0,272

Figura 4.2.3 – C.P.P. Stazione pluviometrica di Casigliano.

Stazione di SAN GEMINI - Curve di probabilità pluviometrica

$R_d(T_r) = a d^b$ (in mm) valida nell'intervallo di durate 1 ora \leq d \leq 48 ore

dove:

T_r (anni)	5	10	25	50	100	200
a	40,03	45,27	51,36	55,53	59,39	62,99
b	0,274	0,296	0,326	0,348	0,371	0,394

Figura 4.2.4 – C.P.P. Stazione pluviometrica di San Gemini.

5 ANALISI DEI BACINI IDROGRAFICI

Nei paragrafi seguenti si procede all'analisi delle principali caratteristiche morfologiche, geologiche e della copertura del suolo dei bacini idrografici afferenti ai corsi d'acqua ritenuti significativi ai fini del dimensionamento e verifica dei principali attraversamenti ed opere d'arte che interessano l'asse viario in progetto.

Il bacino idrografico più esteso è rappresentato dal bacino del Torrente Marroggia che presenta una significativa variabilità geologica e morfologica: nelle porzioni più in quota sono presenti i calcari massicci fratturati, le scaglie rosse ed i detriti di falda, suoli caratterizzati quindi da una buona o elevata permeabilità (tipi A e B della classificazione SCS) con significativa presenza di formazioni a media permeabilità quali le scaglie cineree (suolo tipo B) ed in misura minore a bassa permeabilità quali la marnoso arenacea ed il bisciario (tipi C e D).

Nella parte media e valliva dei bacini dei torrenti maggiori, così come nella quasi totalità dei fossi minori, prevalgono i suoli con permeabilità media o medio-bassa (suolo tipo B e C) quali le alluvioni recenti ed antiche, i conoidi e i detriti di falda.

L'altro corso d'acqua significativo è costituito dal Fosso di S. Antonio che ha un'estensione di circa 5 kmq. La variabilità geologica è comunque marcata ed è costituita da calcari fratturati nella parte alta e da formazioni alluvionali nella parte bassa, con la presenza del Bischiario nella parte media del bacino.

Le grandezze caratteristiche ai fini della valutazione del deflusso delle portate di piena saranno condotte in riferimento al metodo del Curve Number (SCS), per classe di umidità intermedia del suolo AMC II considerando sia la classe idrologica del suolo in funzione della geologia, sia l'uso del suolo determinato dall'analisi delle foto aeree e dalla conoscenza diretta del territorio.

5.1 Torrente Marroggia (km 1+354)

Il Torrente Marroggia è un affluente di sinistra del Fiume Topino nel quale confluisce nei pressi della città di Cannara dopo aver accolto le acque del Fiume Clitunno ed aver preso il nome di Fiume Tima. Il tratto di studio è relativo alla porzione iniziale del bacino complessivo.

In questo tratto il corso d'acqua presenta caratteristiche pedemontane, con pendenze del fondo intorno allo 0.8% ed alveo inciso sul fondovalle, piuttosto che di corso d'acqua di pianura con robuste arginature, caratteristiche che assumerà nei tratti di valle attraversando la Valle Umbra a nord di Spoleto.

Il Torrente Marroggia interferisce con l'opera in progetto in corrispondenza del viadotto Marroggia I alla progressiva km 1+354 in un tratto in cui l'asta ha un andamento rettilineo.

Il bacino idrografico ha un'estensione di oltre 39 kmq, è prevalentemente coperto da bosco e caratterizzato da suoli con permeabilità da elevata a medio-bassa.

Tabella 5.1.1. Principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico del Torrente Marroggia.

Superficie	Lunghezza asta principale	H _{max}	H _{min}	H _{med}	D H _{ASTA}	i _{ASTA}	i _{VERSANTI}
(kmq)	(Km)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m)	(m/m)	(m/m)
39.3	11.3	911	335	592	448	0.0397	0.277

Le formazioni geologiche presenti all'interno del bacino idrografico sono prevalentemente riconducibili a suoli di tipo A, B e C, con la presenza della formazione alluvionale solo nella parte terminale del fondovalle, mentre nella parte alta sono presenti formazioni calcaree fratturate con differente grado di permeabilità.

Tabella 5.1.2. Classificazione del tipo e uso del suolo del bacino idrografico del Torrente Marroggia.

Torrente Marroggia					
Geologia	% sul bacino	CLASSE SUOLO	USO SUOLO	(%)	CN II
alluvionale	3%	B	AGRICOLO	100%	76
Formazione del Bisciario	44%	C	AGRICOLO	35%	80
			BOSCO	65%	72
flysh marnoso-arenaceo	9%	C	AGRICOLO	80%	82
			BOSCO	20%	72
Calcari permeabili	45%	B	BOSCO	100%	68
			CN II MEDIO		72

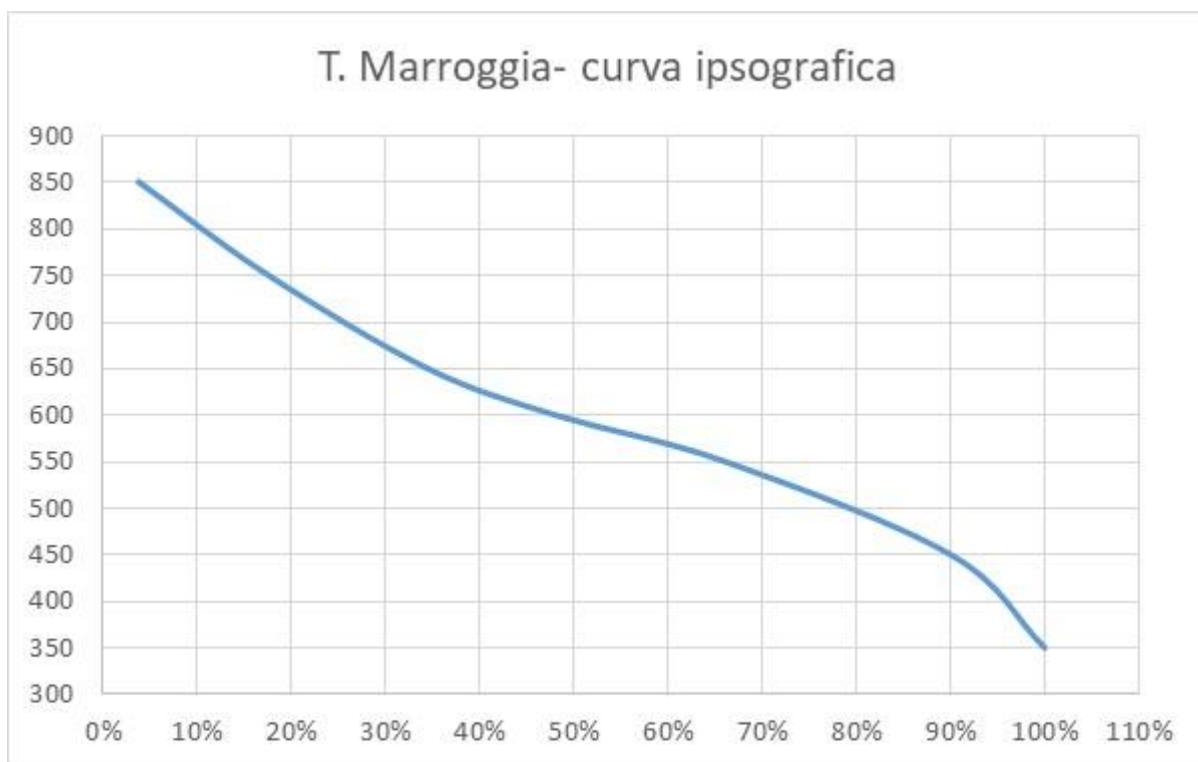
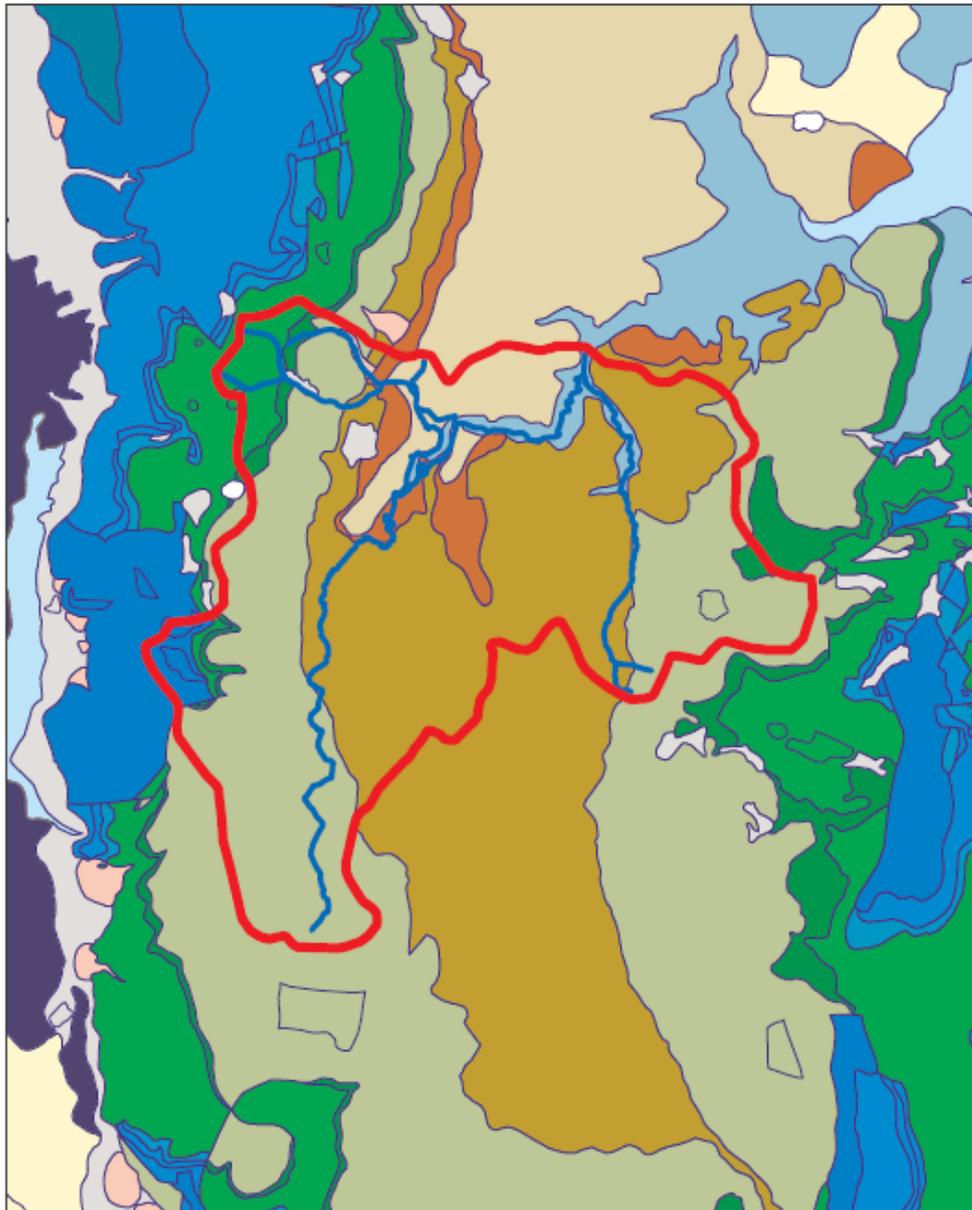


Figura 5.1.1. Curva Iposografica del Torrente Marroggia.

La curva ipsografica è stata definita a partire dalla cartografica Tecnica Regionale in scala 1:5.000



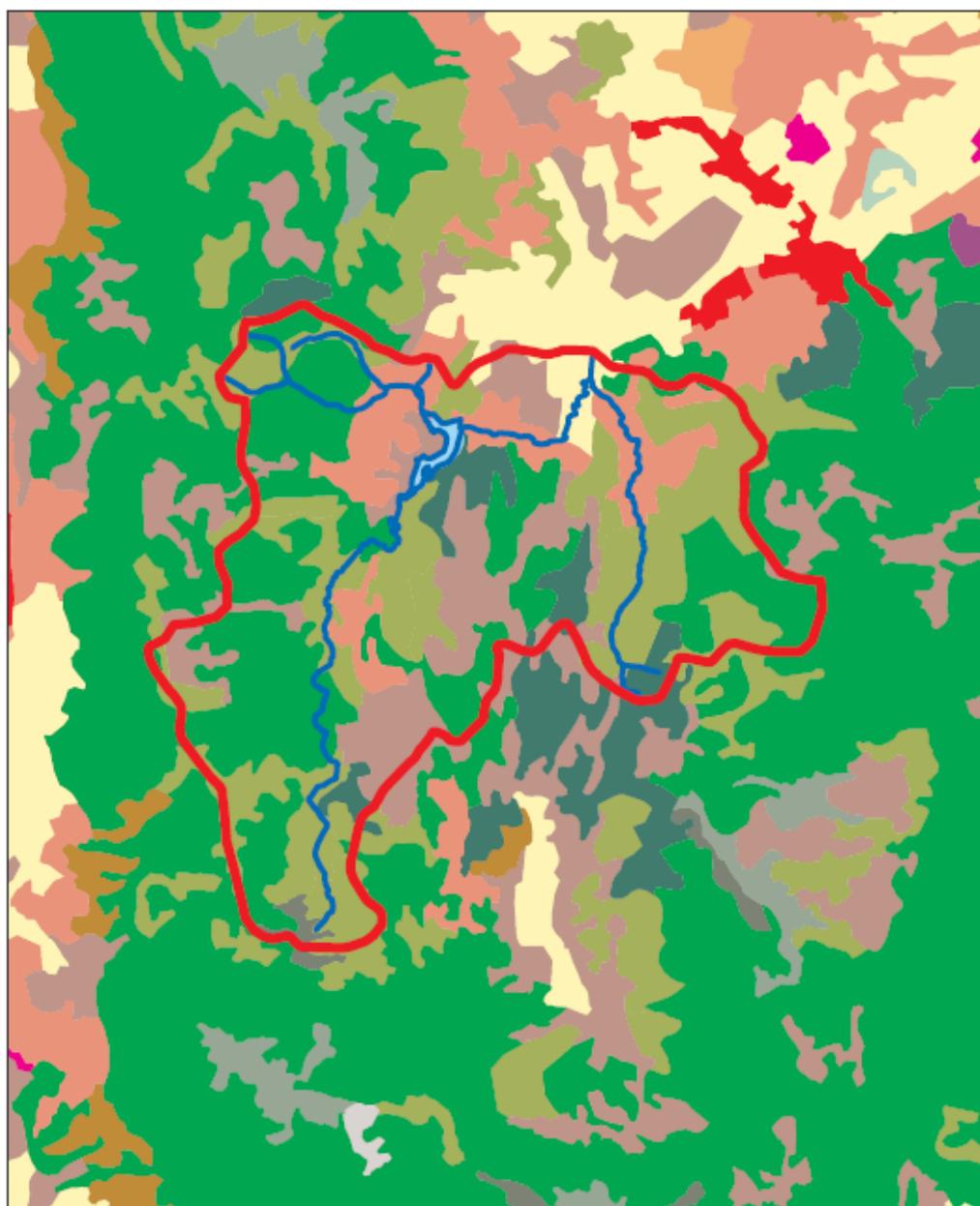
0 500 1,000 2,000 3,000 4,000
Meters



- Calcare massiccio, Calcare a Paleodasycladus
- Corniola
- Scaglia
- Flysch argilloso arenaceo e marnoso arenacea
- Alluvioni attuali e recenti

- Bisciario
- Scaglia cinerea
- Marna a Fucoidi
- Maiolica

Figura 5.1.2. Geologia del bacino del Torrente Marroggia.



0 650 1,300 2,600 3,900 5,200 Meters



	Boschi di latifoglie		Seminativi in aree non irrigue
	Boschi di conifere		Sistemi colturali e particellari complessi
	Boschi misti		Aree prevalentemente occupate da colture agrarie

Figura 5.1.3. Uso del suolo del bacino del Torrente Marroggia.

5.2 Canale dei Molini I (km 2+400)

Il Canale dei Molini interferisce una prima volta con l'opera in progetto in corrispondenza del Km 2+400 nel tratto in rilevato compreso fra viadotto "Marroggia I" ed il viadotto "Canale dei Molini".

Il canale in questo tratto riceve esclusivamente le acque che un tempo erano derivate dal Torrente Marroggia e convogliate tramite il canale stesso a dei vecchi molini situati lungo la valle in destra idraulica. La sua antica funzione è attualmente in disuso in particolare per questo tratto del canale in cui le aree scolanti sono praticamente nulle a monte dell'attraversamento del rilevato di progetto. Al contrario la sua parte terminale, in corrispondenza del secondo attraversamento alla progressiva 3+300, è attualmente utilizzato come collettore di scarico delle acque bianche provenienti dall'abitato di S. Giovanni di Baiano.

Pertanto si adotteranno le portate di progetto definite da uno studio redatto dal Consorzio della Bonificazione Umbra di Spoleto ed approvato dalla Regione dell'Umbria con D.G.R. n. 1791 del 16 marzo 1992: in tale studio vengono individuate le portate critiche per i diversi tratti del canale, nonché gli eventuali diametri per i tratti oggetto di copertura con condotta circolare.

5.3 Canale dei Molini II (km 3+300)

In corrispondenza della progressiva 3+300 il Canale dei Molini interferisce una seconda volta con l'opera in progetto in corrispondenza del viadotto "Canale dei Molini".

In questo tratto il canale assolve la funzione di collettore di scarico delle acque bianche provenienti dall'abitato di S. Giovanni di Baiano.

Il bacino è di ridotte dimensioni, circa 0.2 kmq con morfologia pianeggiante, e la formazione geologica prevalente è quella alluvionale del fondovalle, mentre la copertura del suolo è caratterizzata da un tessuto urbano discontinuo e da seminativo.

5.4 Fosso di S. Antonio (km 3+525)

Il Fosso di S. Antonio interferisce con l'opera in progetto in corrispondenza della progr. 3+525 Km in corrispondenza del viadotto "Molino Vecchio".

L'interferenza del Fosso con l'opera in progetto è relativa alla sovrapposizione di una parte delle pile del viadotto con l'attuale asse del corso d'acqua.

Il Fosso di S. Antonio è un affluente di destra del Torrente Marroggia nel quale confluisce circa 200 m valle del tratto di studio. Il bacino idrografico in corrispondenza della sezione di interferenza con le opere in progetto ha una superficie pari a 5.3 Km² per la maggior parte coperta da boschi nella parte alta, e da terreni agricoli e insediamenti urbani nella parte bassa. Le formazioni geologiche presenti all'interno del bacino idrografico sono prevalentemente riconducibili a suoli di tipo A e B, con la presenza prevalente di formazioni carbonatiche nella maggior parte del bacino idrografico.

Tabella 5.4.1. Principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico del Fosso di S. Antonio.

Superficie	Lunghezza asta principale	H _{max}	H _{min}	H _{med}	D H _{ASTA}	i _{ASTA}	i _{VERSANTI}
(kmq)	(Km)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m.s.l.m.)	(m)	(m/m)	(m/m)
5.3	4.2	802	315	567	269	0.0611	0.291

Tabella 5.4.2. Classificazione del tipo e uso del suolo del bacino idrografico del Fosso S. Antonio.

Fosso di S. Antonio					
Geologia	% sul bacino	CLASSE SUOLO	USO SUOLO	(%)	CN II
alluvionale	15%	B	AGRICOLO	100%	76
Formazione del Bisciario	11%	C	AGRICOLO	100%	80
Calcari permeabili	74%	B	BOSCO	86%	68
			AGRICOLO	14%	76
			CN II MEDIO		71



*Direzione Progettazione e
Realizzazione Lavori*

STRADA DELLE TRE VALLI UMBRE
Tratto Eggi-Acquasparta – 1° Stralcio Baiano-Firenzuola

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA

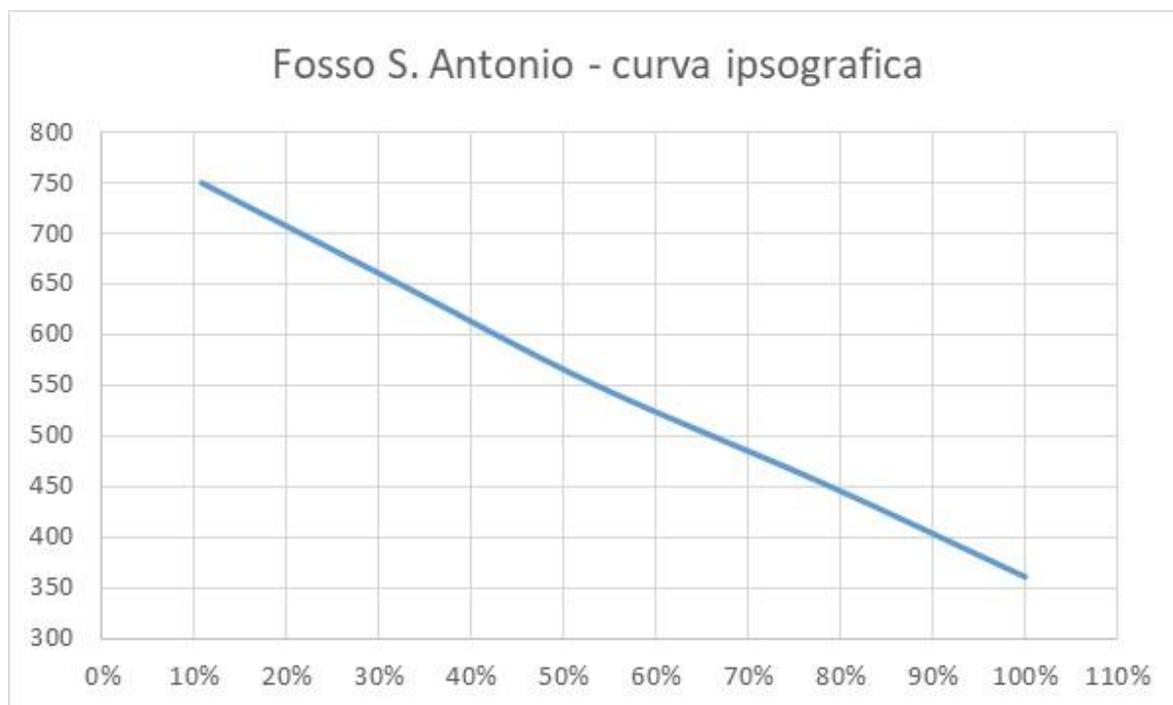
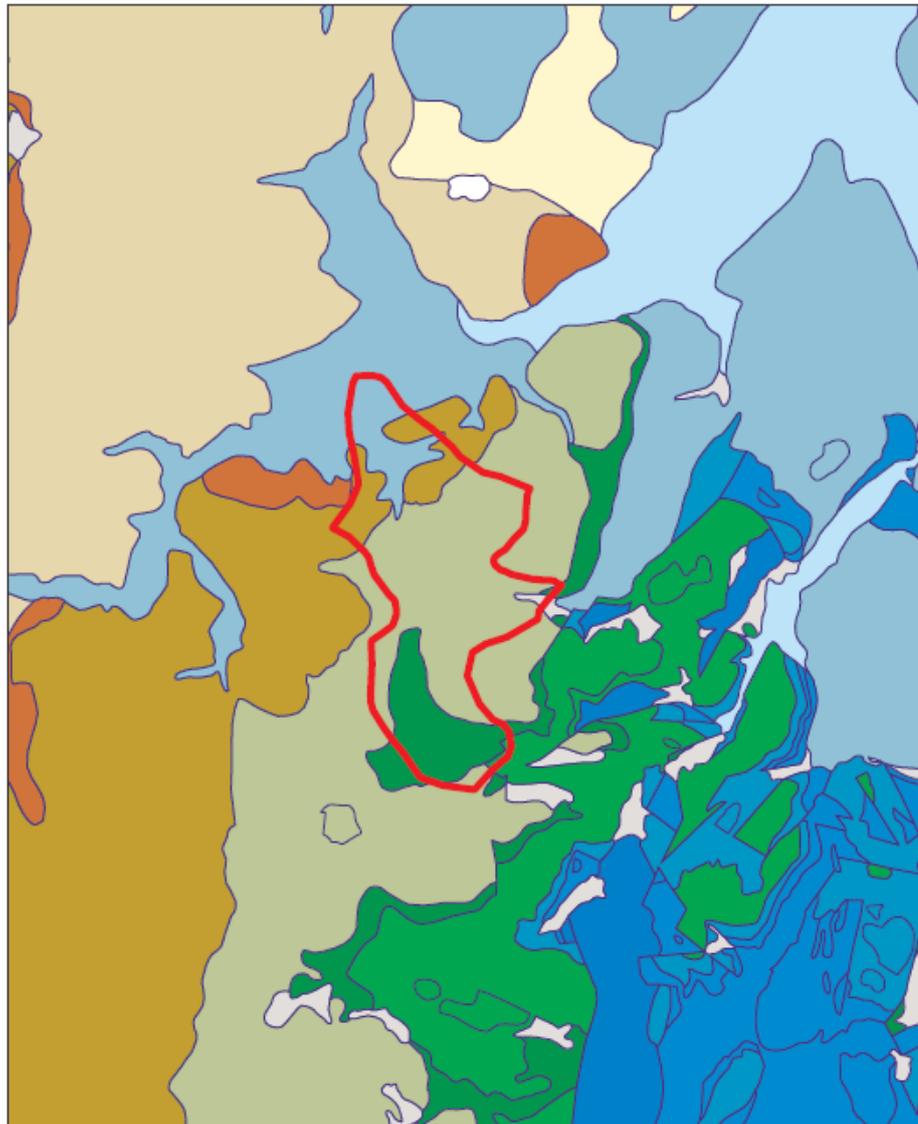


Figura 5.4.1. Curva ipsografica del Fosso S. Antonio.

La curva ipsografica è stata definita a partire dalla cartografica Tecnica Regionale in scala 1:5.000



0 475 950 1,900 2,850 3,800 Meters



	Calcarea massiccio, Calcarea a Paleodasycladus		Bisciario
	Comiola		Scaglia cinerea
	Scaglia		Marna a Fucoidi
	Flysch argilloso arenaceo e mamoso arenacea		Maiolica
	Alluvioni attuali e recenti		

Figura 5.4.2. Geologia del bacino del Fosso S. Antonio.



0 475 950 1,900 2,850 3,800 Meters



	Boschi di latifoglie		Seminativi in aree non irrigue
	Boschi di conifere		Sistemi colturali e particellari complessi
	Boschi misti		Aree prevalentemente occupate da colture agrarie

Figura 5.4.3. Uso del suolo del bacino del Fosso S. Antonio.

5.5 Calcolo delle portate di riferimento con il Metodo Autorità di Bacino del Tevere

La determinazione delle portate di progetto è stata effettuata in riferimento al metodo definito dall’Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel disciplinare tecnico allegato al Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio – Capitolo I Direttive tecniche per la definizione delle aree inondabili – Appendice A.I.1 – Procedura per il calcolo della piena di riferimento.

Dall’analisi dei bacini idrografici di cui al paragrafo precedente si possono individuare le principali caratteristiche dei bacini idrografici scolanti necessari alla definizione delle portate di progetto riassunte nella tabella seguente.

Per quanto riguarda il Canale dei Molini I, viste le ridotte dimensioni delle aree scolanti e l’importanza del deflusso di base inteso come portata derivata dal Torrente Marroggia, si adotteranno i valori determinati dal Consorzio della Bonificazione Umbra.

Lo studio di dettaglio è stato redatto dal Consorzio Bonificazione Umbra ed approvato dalla Regione dell’Umbria con D.G.R. n. 1791 del 16 marzo 1992: in tale studio vengono individuate le portate critiche per i diversi tratti del canale, nonché gli eventuali diametri per i tratti oggetto di copertura con condotta circolare. Le interferenze sono cinque: la prima in prossimità della progressiva 2+400, appena superato il viadotto Marroggia I e la seconda alla progressiva 3+300 in corrispondenza del viadotto Molino Vecchio.

Per il Canale dei Molini II viene adottata la portata idrologica duecentennale determinata per un tempo convenzionale di 15 minuti.

Tabella 5.5.1. Caratteristiche principali dei corsi d’acqua di studio.

Bacino Idrografico	Lat (°,0)	Area (km ²)	L (Km)	H _{max} (m.s.l.m.)	H _{min} (m.s.l.m.)	H _{med} (m.s.l.m.)	DH ASTA (m)	i _{ASTA} (m/m)	i _{VERSI} (m/m)
Torrente Marroggia I	42.7	39.3	11.3	911	335	592	448	0.0397	0.277
Fosso S. Antonio	42.7	5.3	4.2	802	315	567	269	0.0611	0.291

Applicando la metodologia proposta dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere descritta nei paragrafi precedenti, si ottengono i seguenti valori caratteristici dei tempi di corrivazione dei diversi bacini idrografici ed i valori delle portate al colmo di piena per T_r pari a 25, 50, 100, 200 e 500 anni.

Tabella 5.5.2. Tempo di corrivazione caratteristici dei corsi d'acqua di studio.

Bacino Idrografico	Giandotti (ore)	Pezzoli (ore)	Ventura (ore)	Kirpich (ore)	Pasini (ore)	Puglisi (ore)
Torrente Marroggia I	3.32	3.12	4.00	1.34	4.14	3.63
Fosso di S.Antonio	1.24	0.91	1.16	0.45	1.20	1.98

Tabella 5.5.3. Portate di riferimento Torrente Marroggia.

Torrente Marroggia											
T_r	Area	S	T_c	K_t	$E[h_1]$	h_T	$P_e(h,T)$	K_r	Q	U	Cd
(anni)	(km ²)	(mm)	(ore)		(mm)	(mm)	(mm)		(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	
25	39.4	98.8	3.32	1.77	29.02	72.66	18.45	0.92	55.9	1.4	0.25
50	39.4	98.8	3.32	2.06	29.02	84.67	25.74	0.92	78.0	2.0	0.30
100	39.4	98.8	3.32	2.38	29.02	97.65	34.34	0.92	104.1	2.6	0.35
200	39.4	98.8	3.32	2.70	29.02	111.11	43.90	0.92	133.0	3.4	0.40
500	39.4	98.8	3.32	3.14	29.02	129.22	57.54	0.92	174.4	4.4	0.45

Tabella 5.5.4. Portate di riferimento Canale dei Molini II.

Canale dei Molini II				
Tr	S	J(15,Tr)	Cd	Q
(anni)	(kmq)	(mm/ora)		(mc/s)
25	0.2	110.82	0.30	1.84
50	0.2	129.13	0.33	2.36
100	0.2	148.94	0.37	3.06
200	0.2	169.47	0.40	3.78

Tabella 5.5.5. Portate di riferimento Fosso di S. Antonio.

Fosso di S. Antonio											
Tr	Area	S	Tc	Kt	E[h ₁]	h _T	P _e (h,T)	Kr	Q	U	Cd
(anni)	(km ²)	(mm)	(ore)		(mm)	(mm)	(mm)		(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	
25	5.3	103.7	1.24	1.77	29.02	54.61	8.33	0.98	9.7	1.8	0.15
50	5.3	103.7	1.24	2.06	29.02	63.63	12.54	0.98	14.6	2.8	0.20
100	5.3	103.7	1.24	2.38	29.02	73.39	17.72	0.98	20.7	3.9	0.24
200	5.3	103.7	1.24	2.70	29.02	83.51	23.66	0.98	27.6	5.2	0.28
500	5.3	103.7	1.24	3.14	29.02	97.12	32.38	0.98	37.8	7.1	0.33

5.6 Calcolo delle portate di riferimento con il Metodo razionale e Analisi delle precipitazioni in Umbria

Applicando il metodo razionale descritto al paragrafo 4.2 si ottengono i seguenti valori caratteristici dei tempi di corrivazione dei diversi bacini idrografici ed i valori delle portate al colmo di piena per T_r pari a 25, 50, 100 e 200 anni.

Tabella 5.6.1. Portate di riferimento Torrente Marroggia.

Torrente Marroggia								
T_r	Area	S	T_c	h_T	$P_e(h,T)$	Q	U	Cd
(anni)	(km ²)	(mm)	(ore)	(mm)	(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	
25	39.4	98.8	3.32	71.11	17.57	57.8	1.5	0.25
50	39.4	98.8	3.32	78.98	22.20	73.0	1.9	0.28
100	39.4	98.8	3.32	86.86	27.15	89.3	2.3	0.31
200	39.4	98.8	3.32	94.74	32.36	106.4	2.7	0.34

Tabella 5.6.2. Portate di riferimento Canale dei Molini II.

Canale dei Molini II				
Tr	S	J(15,Tr)	Cd	Q
(anni)	(kmq)	(mm/ora)		(mc/s)
25	0.2	127.87	0.30	2.12
50	0.2	142.18	0.33	2.59
100	0.2	156.48	0.37	3.21
200	0.2	170.80	0.40	3.80

Tabella 5.6.3. Portate di riferimento Fosso di S. Antonio.

Tr	Area	S	Tc	h _T	P _e (h,T)	Q	U	Cd
(anni)	(km ²)	(mm)	(ore)	(mm)	(mm)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	
25	5.3	103.7	1.24	47.21	5.38	6.4	1.2	0.11
50	5.3	103.7	1.24	52.49	7.43	8.8	1.7	0.14
100	5.3	103.7	1.24	57.76	9.73	11.6	2.2	0.17
200	5.3	103.7	1.24	63.05	12.25	14.5	2.7	0.19

5.7 Portate di Progetto Sintesi dei risultati

Uno studio della Regione dell'Umbria e del Consorzio della Bonificazione Umbra, svolto in collaborazione con l'Università degli Studi di Firenze all'interno del P.A.I. per la definizione del rischio idraulico nel reticolo secondario, ha individuato nel bacino del Topino-Marroggia le portate idrologiche sulla maggior parte del reticolo idrografico compresa l'area di intervento.

Nelle seguenti tabelle è riportato per ciascun tempo di ritorno il valore della portata definita dal P.A.I. (Q PAI) e quelle definite nel presente studio: la prima è la metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere descritta al paragrafo 4.1 (indicata in tabella come Metodo 1 Procedura AdB), la seconda è la metodologia che utilizza il metodo razionale e l'analisi pluviometrica dello studio Analisi delle Precipitazioni in Umbria 2016 descritta al paragrafo 4.2 (indicata in tabella come Metodo 2 Pluviometri).

Torrente Marroggia			
Tr	Q PAI	Q Metodo 1 Procedura AdB	Q Metodo 2 Pluviometri
(anni)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
25	51	55.9	57.8
50	66	78.0	73.0
100	83	104.1	89.3
200	101	133.0	106.4
500	127	174.4	-

Fosso di S. Antonio			
Tr	Q PAI	Q Metodo 1 Procedura AdB	Q Metodo 2 Pluviometri
(anni)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
25	6	9.7	6.4
50	9	14.6	8.8
100	13	20.7	11.6
200	17	27.6	14.5
500	23	37.8	-

Canale dei Mulini II			
Tr	Q PAI	Q Metodo 1 Procedura AdB	Q Metodo 2 Pluviometri
(anni)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)
25	-	1.84	2.12
50	-	2.36	2.59
100	-	3.06	3.21
200	-	3.78	3.80

Dal confronto dei dati riportati nella tabella precedente emerge che il Metodo 1 determina in generale valori di portata più elevati del Metodo 2, pertanto sarà utilizzato il primo per la definizione della portata di progetto. Per il Canale dei Mulini II i due metodi risultano equivalenti. Inoltre il Metodo 1 fornisce valori di portata duecentennale decisamente superiori a quelli definiti dal Piano di Assetto Idrogeologico del Fiume Tevere, confermando che le ipotesi utilizzate nella presente relazione risultano ampiamente a favore di sicurezza.

Alla luce di quanto sopra saranno assunte le seguenti portate di progetto:

Corso d'Acqua	Q₂₀₀
	(m³/s)
Torrente Marroggia	133.0
Fosso di S. Antonio	27.6
Canale dei Mulini II	3.80

6 PRECIPITAZIONI METEORICHE DI RIFERIMENTO PER DURATE INFERIORI A 1 ORA

Per il dimensionamento e la verifica delle opere relative al sistema di raccolta, allontanamento e recapito delle acque meteoriche ricadenti direttamente nell'ambito della piattaforma stradale o di piccoli versanti afferenti ai fossi di guardia e piccoli attraversamenti, è necessario prendere in considerazione durate delle piogge inferiori all'ora.

Nei paragrafi successivi sono riportate le due metodologie a confronto:

- La metodologia per la stima delle portate al colmo di piena definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel disciplinare tecnico allegato al Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio.
- Lo studio "Analisi delle precipitazioni intense in Umbria (2016)" redatto a cura dell'Università degli Studi di Perugia e della Regione dell'Umbria basato sui dati di pioggia di tutte le stazioni appartenenti alla rete pluviometrica gestita dal Servizio Idrografico Regionale dell'Umbria.

6.1 Metodologia dell'Autorità di Bacino del Fiume Tevere

La metodologia per la stima delle portate al colmo di piena definito dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere nel disciplinare tecnico allegato al Progetto di Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI) Procedura per la definizione delle fasce fluviali e delle zone di rischio, è stato condotto su dati di pioggia con durata compresa tra 1 e 24 ore, pertanto è utilizzabile, a rigore, solamente entro questo campo di valori temporali.

Si rende pertanto necessario definire una curva di possibilità pluviometrica a due parametri del tipo:

$$h = a \cdot d^n$$

in cui entrambi i parametri a ed n siano validi per durate delle piogge critiche variabili da 5 a 60 minuti.

Tale relazione può essere dedotta a partire dal valore della pioggia di riferimento per la durata di un'ora deducibile con il metodo proposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Tevere ampiamente discusso nei paragrafi precedenti.

Per tutto l'asse stradale si può considerare una latitudine media pari a $42^{\circ},7$ a cui corrispondono i valori di Z/L e di Z/Y pari a rispettivamente 0.01833 e 0.14465.

Dalla relazione seguente si determina il valore del parametro s_1 .

$$s_1 = 90 \cdot \frac{Z}{L} - 11.4 \cdot \frac{Z}{Y} = -0.00069$$

Da questo ultimo valore si ricava il valore della pioggia unitaria di riferimento, espressa in mm, pari a:

$$E[h_1] = (s_1 + 1) \cdot 29 = 29.02$$

Una volta individuato il valore del termine K_T per i tempi di ritorno da 25 a 200 anni secondo i valori indicati nella tabella seguente

Tabella 6.1.1. Valori del fattore di frequenza K_T in funzione del tempo di ritorno.

Tr (anni)	K_T
25	1.7679
50	2.0601
100	2.3760
200	2.7036

si possono determinare i valori delle altezze di pioggia per i tempi di ritorno da 25 a 200 anni per durata pari a 1 ora

$$h_{d,T} = K_T \cdot E[h_1] \cdot d^{0.29}$$

Tabella 6.1.2. Altezze di pioggia per d=1 ora in funzione del tempo di ritorno.

Tr (anni)	a_T
25	51.30
50	59.78
100	68.95
200	78.46

Per la definizione della Curva di Possibilità Pluviometrica per durate inferiori all'ora si può fare riferimento alla relazione che lega i rapporti dei valori medi delle massime altezze di pioggia annue di brevissima durata rispetto al valor medio della massima altezza oraria dell'anno dei dati registrati al pluviometro di Roma Macao (Calenda G., Cioffi F., Guercio R., Petaccia A. - "Rainfall assessment with inadequate data" – Urban Storm Drainage, Water Resources Publications, Hyland Ranch, USA, pp. 23-44), i cui risultati sono elencati di seguito.

Tabella 6.1.3. Rapporto fra le altezze di pioggia per d = 1 ora e d < 1 ora.

δ (minuti)	5	10	15	20	25	30
h_δ / h_1	0.278	0.435	0.537	0.632	0.709	0.758

Le altezze di pioggia e le intensità determinate per durate inferiori ad 1 ora sono riportate di seguito.

Tabella 6.1.4. Altezze di pioggia per d < 1 ora.

T (min.)	h(t,25)	h(t,50)	h(t,100)	h(t,200)
5	14.37	16.74	19.31	21.97

10	22.57	26.31	30.34	34.52
15	27.70	32.28	37.23	42.37
30	38.99	45.44	52.40	59.63

Tabella 6.1.5. Intensità di pioggia per $d < 1$ ora.

T (min.)	j(t,25)	j(t,50)	j(t,100)	j(t,200)
5	172.38	200.87	231.68	263.62
10	135.44	157.83	182.03	207.13
15	110.82	129.13	148.94	169.47
30	77.98	90.87	104.81	119.26

6.2 Metodologia Analisi delle precipitazioni intense in Umbria (2016)

Le caratteristiche principali dello studio sono state descritte al paragrafo 5.2 al quale si rimanda per la trattazione.

Per l'area di intervento si fa riferimento ai dati delle c.p.p. del pluviometro di Spoleto, distante circa 5 km dall'area di intervento.

Stazione di SPOLETO - Curve di probabilità pluviometrica

$$R_d(T_r) = a d^{b'} \text{ (in mm)} \quad \text{valida nell'intervallo di durate} \quad 0 < d \leq 1 \text{ ora}$$

$$R_d(T_r) = a d^b \text{ (in mm)} \quad \text{valida nell'intervallo di durate} \quad 1 \text{ ora} \leq d \leq 48 \text{ ore}$$

dove:

T_r (anni)	5	10	25	50	100	200
a	32,61	37,83	44,47	49,44	54,41	59,39
b'	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238	0,238
b	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278	0,278

Figura 6.2.1 – C.P.P. Stazione pluviometrica di Spoleto

Le altezze di pioggia e le intensità determinate per durate inferiori ad 1 ora sono riportate di seguito.

Tabella 6.2.1. Altezze di pioggia per $d < 1$ ora.

T (min.)	h(t,25)	h(t,50)	h(t,100)	h(t,200)
5	24.62	27.37	30.12	32.88
10	29.03	32.28	35.52	38.77
15	31.97	35.55	39.12	42.70
30	37.71	41.92	46.14	50.36

Tabella 6.2.2. Intensità di pioggia per $d < 1$ ora.

T (min.)	j(t,25)	j(t,50)	j(t,100)	j(t,200)
5	295.40	328.41	361.42	394.50
10	174.19	193.66	213.12	232.63
15	127.89	142.18	156.48	170.80

30	75.41	83.84	92.27	100.72
----	-------	-------	-------	--------

7 CALCOLO DELLE PORTATE DI RIFERIMENTO PER TOMBINI E FOSSI DI GUARDIA

Il presente paragrafo riporta lo studio idrologico svolto per il dimensionamento dei tombini quali manufatti per il recapito finale delle portate di origine meteorica, e per i fossi di guardia quale opera di protezione del rilevato stradale per la raccolta e l'allontanamento delle acque di versante.

I fossi di guardia assolvono lo scopo di intercettare le acque meteoriche del terreno circostante al corpo stradale di progetto. Il recapito finale dei fossi di guardia può essere costituito da tombini o da corsi d'acqua. I tombini costituiscono l'opera di attraversamento idraulico del corpo stradale recapitando le acque a valle dell'opera.

Le portate al colmo $Q_{max,T}$ (m³/s) sono state valutate tramite la formula razionale

$$Q = \frac{\phi \cdot h_T \cdot S}{3.6 \cdot t_c}$$

In cui S è la superficie del bacino in Km², Φ il coefficiente di deflusso dell'area, h_T è l'altezza di pioggia in mm avente durata pari al tempo di corrivazione del bacino e tempo di ritorno T_r .

Per la definizione dei valori di h_T si farà riferimento a quanto determinato al paragrafo 6.2 - Metodologia Analisi delle precipitazioni intense in Umbria (2016), in quanto fornisce valori leggermente più cautelativi di quelli indicati al paragrafo 6.1 – Metodologia dell'Autorità di Bacino del Tevere.

Per il tempo di ritorno si assume un valore del T_r pari a 100 anni per i fossi di guardia e 200 anni per i tombini.

Viste le ridotte dimensioni delle aree scolanti si assume un tempo di corrivazione pari a 15 min. e un coefficiente di deflusso pari a 0.4. I valori delle portate di progetto in riferimento al tempo di ritorno di progetto è riportato di seguito.

Tabella 7.1. Dati idrologici di riferimento per i fossi di guardia.

progr. Iniziale	progr. Finale	L	Cd	Tipo	Area	j (15,100)	Q ₁₀₀
(Km)	(Km)	(m)		Sezione	(mq)	(mm/ora)	(l/s)
0+355	0+570	220	0.4	trap. 50x50	3500	156.48	61
0+900	1+025	125	0.4	trap. 50x50	2400	156.48	42
2+280	2+440	160	0.4	trap. 50x50	5000	156.48	87
2+440	2+850	405	0.4	trap. 50x50	15000	156.48	261
3+660	3+950	290	0.4	trap. 50x50	18000	156.48	313
4+050	4+370	320	0.4	trap. 50x50	25000	156.48	435

Tabella 7.2. Dati idrologici di riferimento per i tombini.

progr. Iniziale	L	Cd	Sezione	Area	j (15,200)	Q ₂₀₀
(Km)	(m)			(mq)	(mm/ora)	(l/s)
0+566	20	0.4	DN1500	14000	170.80	266
2+850	30	0.4	DN1500	22000	170.80	418
3+950	40	0.4	DN800	18000	170.80	342
4+025	30	0.4	DN800	20000	170.80	380

8 BIBLIOGRAFIA

Autorità di Bacino del F. Tevere (ABT), “Piano di assetto Idrogeologico (P.A.I.)” - (2002).

Autorità di Bacino del F. Tevere (ABT), “Quaderno idrologico del Fiume Tevere” supplemento a “Tevere” n.2, 1996 – Rivista quadrimestrale dell’Autorità di Bacino del Tevere.

Autorità di Bacino del F. Tevere (ABT), *Quaderno idrologico del bacino del Fiume Tevere*, Rapporto finale, Roma, 1995.

Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W., Applied Hydrology, McGraw Hill International Edition, 1988.

Corradini, C., F. Melone, V.P. Singh and L. Ubertini, Geomorphologic approach to synthesis of direct runoff hydrograph from the Upper Tiber River basin, *Scale Problem in Hydrology*, Gupta VK., Rodriguez-Iturbe I., Wood EF. (eds), D. Reidel: Dordrecht; 57-79, 1986.

Corradini, C., F. Melone and V.P. Singh, Some remarks on the use of GIUH in the hydrological practice, *Nordic Hydrology* **26**, 297-312, 1995a.

Corradini, C., F. Melone and L. Ubertini, A semi-distributed model for direct runoff estimate, in: *Applied Simulation and Modelling*, Hanza MH (ed.), IASTED ACTA Press: Anaheim (CA); 541-545, 1995b.

Kirpich Z.P., Time of concentration of small agricultural watersheds, *Civil Engineering*, 1940, 10(6), 362.

Melone, F., N. Neri, R. Morbidelli and C. Saltalippi, A conceptual model for flood prediction in basins of moderate size, *Applied Hydrology and Modelling*, Hanza MH (ed.), IASTED ACTA Press: Anaheim (CA); 461-466, 2001.

Soil Conservation Service, Hydrology, Chapter 9, Hydrologic Soil Cover Complex, *SCS National Engineering Handbook*, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, Sect. 4, 1972.

Soil Conservation Service, Hydrology, *SCS National Engineering Handbook*, Washington D.C., U.S. Department of Agriculture, Sect. 4, 1986.