



## COMUNE DI TREVIGNANO ROMANO

Città Metropolitana di Roma Capitale

### DELIBERAZIONE DELLA GIUNTA COMUNALE

#### COPIA

n. 45 del 08-03-2018

**OGGETTO:** PRESA D'ATTO DELLA RELAZIONE IDRAULICA REDATTA DA PARTE DELLA SOC. ACEA ELABORI SPA, PER LA DEMOLIZIONE DEL PONTE STRADALE E SISTEMAZIONE SPONDALE DEL FOSSO DETTO "RIO", SU VIA DELLA RENA.

L'anno **duemiladiciotto** il giorno **otto** del mese di **Marzo** a partire dalle ore **09:00** nella Sala delle adunanze del Comune suddetto, convocato con appositi avvisi, si è riunita la Giunta Comunale.

Sono presenti i Signori:

N	Cognome e Nome	Carica	Presenze
1	MACIUCCHI CLAUDIA	SINDACO	Presente
2	GALLONI LUCA	VICE SINDACO	Presente
3	GAZZELLA ELIO	ASSESSORE	Presente
4	MORICHELLI CHIARA	ASSESSORE	Assente
5	SIMEONI ALESSIA	ASSESSORE	Assente

Ne risultano presenti n. 3 e assenti n. 2.

Presiede l'adunanza la **DOTT.SSA CLAUDIA MACIUCCHI** in qualità di **SINDACO**.

Partecipa il **SEGRETARIO GENERALE, DOTT. WALTER GAUDIO**.

CONSIDERATO che il Comune di Trevignano Romano è stato interessato da un evento atmosferico eccezionale verificatosi in data 16/09/2016, con precipitazioni temporalesche classificate come "Bombe d'Acqua";

CONSIDERATO che sono state interessate quattro zone distinte del territorio comunale tra cui quella in Loc. Capocroce sul Fosso detto "Rio";

CONSIDERATA l'entità delle precipitazioni cadute in poco tempo;

VISTA l'Ordinanza Sindacale n° 22 del 16/09/2016 ai sensi dell'art. 50 comma 5 e 54 del D.lgs. n. 267/2000 per "Interventi di Ripristino Viabilità Stradale";

VISTE le Ordinanze della Polizia Locale n°37/2016 e 38/2016 di chiusura e divieto di transito in Via della Rena da Via di Capocroce a Via di Pratolungo per l'esondazione del Fosso detto "Rio", che ha interessato e danneggiato le strutture portanti del ponte stradale che sovrappassa Via della Rena in prossimità del corso d'acqua;

VISTA la Deliberazione di Giunta Comunale n°152 del 22/09/2016 con cui il Comune di Trevignano Romano ha fatto richiesta alla Regione Lazio dello Stato di Calamità Naturale per gli eventi successi nel mese di Settembre 2016;

VISTO il Fonogramma del Comando dei Vigili del Fuoco di Roma del 19/09/2016 n° 0053939 inviato a seguito del sopralluogo effettuato in data 16/09/2016 su richiesta del Comune di Trevignano Romano, sul ponte di Via della Rena all'altezza del civico 6, in esito al quale emergeva la necessità di intervenire con ogni possibile urgenza sulle strutture del ponte esistente sul Fosso detto "RIO", che si allega alla presente come Allegato sub 1);

VISTA la nota della Regione Lazio, Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo, Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione del 13/10/2016 n° 0512828 che si allega alla presente come Allegato sub 2), inviata a seguito del sopralluogo effettuato in data 03/10/2016 su richiesta del Comune di Trevignano Romano, sul ponte di Via della Rena all'altezza del civico 6, in esito al quale emergeva la necessità di intervenire con ogni possibile urgenza sulle strutture del ponte sul Fosso detto "RIO" con l'eliminazione dello stesso per un maggior deflusso, la quantificazione delle portate ed i tempi di corrivazione del bacino e l'allargamento della foce;

CONSIDERATO che la Soc. ACEA Ato 2 Spa si è impegnata con il Comune a realizzare le opere di messa in sicurezza del tratto interessato, al fine di salvaguardare il Lago di Bracciano in quanto riserva idrica del Comune di Roma, tenuto conto soprattutto dell'esistenza al di sotto dell'alveo del fosso, del braccio primario della rete fognante circumlacuale del C.O.B.I.S., che raccoglie i liquami dei comuni lacustri e non

CONSIDERATO che un'eventuale danneggiamento del sottoservizio causerebbe conseguenze enormi dal punto di vista dell'inquinamento delle acque lacustri;

VISTA la Relazione Idraulica prodotta da parte della Soc. ACEA ATO 2 Spa, attraverso la consorella ACEA ELABORI SPA, che si allega alla presente come Allegato sub 3), relativa ai calcoli della portata del corso d'acqua, alla demolizione del ponte e alla sistemazione spondale a valle ed a monte di Via della Rena;

CONSIDERATO che il Comune di Trevignano Romano intende far propria la Relazione Idraulica sopra richiamata, sotto il consenso formale di ACEA Ato 2 Spa, per la trasmissione agli enti ed organi competenti, in modo da metterli a conoscenza della problematica attraverso uno studio dettagliato degli interventi da eseguire per la messa in sicurezza delle persone presenti nella zona e dell'opera primaria nel sottosuolo;

CHE lo studio fatto da ACEA Ato 2 Spa dimostra la pericolosità del corso d'acqua, che si

ripete quando eventi atmosferici di particolare importanza si abbattano sul bacino del fosso, in considerazione che il Comune di Trevignano Romano è l'ultimo in ordine di scorrimento dell'acqua prima dell'immissione nel lago di Bracciano, per un percorrenza del territorio comunale di circa 800 ml, contro una lunghezza di circa 8 km in totale, risultando di fatto come Comune ricettore delle acque provenienti dai Comuni a monte, come Bracciano, Sutri, Bassano Romano e Capranica;

Visto lo Statuto comunale;

Visto il vigente regolamento degli Uffici e dei Servizi;

Visto il d.lgs. 18.8.2000, n. 267;

Con votazione unanime espressa nei modi di legge

### **DELIBERA**

DI FAR PROPRIA la Relazione Idraulica prodotta da parte dalla Soc. ACEA ATO 2 Spa, attraverso la consorella ACEA ELABORI SPA, sui calcoli della portata del corso d'acqua, sulla demolizione del ponte e sulla sistemazione spondale a valle ed a monte, su Via della Rena, che si allega alla presente come Allegato sub 3);

DI DARE MANDATO all'Ufficio Gestione del Territorio per la trasmissione agli enti ed agli organi competenti della presente deliberazione con l'allegata Relazione Idraulica.

Inoltre, considerata l'urgenza di provvedere in merito, con separata votazione ed all'unanimità

### **DELIBERA**

Di rendere il presente atto immediatamente eseguibile ai sensi dell'art. 134 comma 4 del D.Lgs. n. 267/2000.

**SETTORE III - GESTIONE DEL TERRITORIO:**

Ai sensi dell'art. 49, del D.Lgs 267/2000, il Responsabile sulla presente proposta in ordine alla sola regolarità tecnica esprime parere **Favorevole**.

Trevignano Romano, 06-03-2018

**IL RESPONSABILE DEL SETTORE III**  
F.TO ARCH. ROBERTO MARIOTTI

---

Il presente verbale viene letto, approvato e sottoscritto.

**IL SINDACO**  
F.TO DOTT.SSA CLAUDIA MACIUCCHI

**IL SEGRETARIO GENERALE**  
F.TO DOTT. WALTER GAUDIO

---

**ATTESTATO DI PUBBLICAZIONE**

La presente deliberazione viene pubblicata all'albo pretorio on line del sito web istituzionale di questo Comune per quindici giorni consecutivi (art. 32 comma 1, della legge n. 69 del 18 giugno 2009).

**IL MESSO COMUNALE**  
F.TO DOTT.SSA DONATELLA DE SANTIS

Il sottoscritto Segretario Comunale certifica che la presente deliberazione è divenuta esecutiva per il decorso del termine di dieci giorni dalla pubblicazione.

| X | è dichiarata immediatamente eseguibile (art. 134 comma 4 del D.L.gs n. 267/2000).

**IL SEGRETARIO GENERALE**  
F.TO DOTT. WALTER GAUDIO

---

**\*\*\*COPIA CONFORME AD USO AMMINISTRATIVO\*\*\***

**IL SEGRETARIO GENERALE**  
DOTT. WALTER GAUDIO



REGIONE  
LAZIODirezione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione

Prot. n. GR/23/12/ \_\_\_\_\_

Roma \_\_\_\_\_

Fasc. \_\_\_\_\_

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Ing. Mauro Lasagna - SEDEComune di Trevignano Romano  
Piazza Vittorio Emanuele III° n. 1  
00069 Trevignano Romano (Roma)

PEC: protocollo@pec.trevignanoromano.it

Regione Lazio  
Autorità dei Bacini Regionali - SEDERegione Lazio  
Genio Civile di Roma Città Metropolitana  
Via Capitan Bavastro, 109 - 00154 Roma  
PEC: infrastrutture@regione.lazio.legalmail.it

Oggetto: richiesta d'intervento per la messa in sicurezza del Fosso Morichella, detto RIO, iscritto nelle acque pubbliche del Comune di Trevignano Romano (RM). Relazione di sopralluogo.

Si trasmette in allegato la Relazione redatta a seguito del sopralluogo operato in data 03/10/2016 dietro la segnalazione del Comune di Trevignano Romano per dissesti provocati dai fenomeni meteorologici estremi del 16/09/2016.

Si rappresenta la necessità di un concreto intervento al fine di prevenire l'aggravamento della situazione con l'approssimarsi della stagione autunnale, solitamente caratterizzata da copiosi eventi meteorologici.

Geol. Fulvio Colasanto

Il Dirigente dell'Area  
Dot. Paolo Menna

FC/sopralluoghi/Trevignano Romano Fosso Morichella.doc051016



### RELAZIONE DI SOPRALLUOGO

Come risposta alla nota prot. 11892 trasmessa dal comune di Trevignano Romano in data 17/09/2016, è stato effettuato un sopralluogo sui luoghi in esame, in data 03/10/2016.

Al sopralluogo, oltre ai sottoscritti, hanno partecipato l'Arch. Roberto Mariotti (Ufficio Tecnico Territorio), il Vice Sindaco, Dott. Luca Galloni e il Sindaco, Dott.ssa Claudia Maciucchi; sul luogo è intervenuto, in un secondo momento, anche l'Assessore ai Lavori Pubblici, Elio Gazzella.

Il sito, ubicato sul lungolago presso il confine col comune di Bracciano, presenta l'immissione (foto 1) del Fosso Morichella, detto Rio, nel lago di Bracciano, livello di base del corso d'acqua.

Al momento del sopralluogo, il sito presenta un esteso fan-delta (foto 2-3) originato dal trasporto solido e liquido operato dal Rio a seguito degli eventi atmosferici estremi e intensi del 16/09/2016.

La foce del Fosso presenta tre criticità fondamentali:

1. Sponde irrigidite a causa di muretti di contenimento in pietrame (foto 4-5-6).
2. Strada lungolago con attraversamento del Fosso Morichella di luce molto limitata a causa della contemporanea presenza della strada e dei sottoservizi, in particolare l'acquedotto (foto 7-8).
3. Il fondo dell'alveo nel punto d'immissione sotto l'attraversamento stradale, è irrigidito da un solettone in calcestruzzo, che protegge la condotta fognaria diretta al depuratore (foto 7-8).

Ai punti sopra elencati si aggiungono altre tre criticità:

4. L'attraversamento del fosso da parte della Strada Provinciale, circa un km a monte del punto in questione, di luce altrettanto ridotta (foto 13-14-15).
5. Il bacino d'alimentazione, di svariati kmq, al momento non contabilizzati esattamente (fig. 1), è impostato su sedimenti vulcanici dell'apparato Sabatino, costituito da coni di scorie, tufi e tufti a volte rimaneggiati, particolarmente presso il Lago di Bracciano.
6. L'alveo presenta fondo piatto (Foto 4-5 -6 -7), indice di prevalenza del trasporto dei sedimenti con tempi di corrvazione ridotti.

L'evento del 16/09 u.s. ha condotto alla foce, oltre all'evidente apporto liquido, anche un consistente apporto solido nella misura di tronchi interi, ramaglie e, soprattutto, consistenti sedimenti, al punto da creare una deposizione anche di 1,60 m di spessore in destra e sinistra idrografica della foce (foto 2-8-9-10-11-12), ripuliti al momento del sopralluogo, ma con segni e accumuli di materiale ancora evidenti.

Da quanto sopra esposto, si ravvisano gli estremi per un intervento urgente preliminare all'arrivo delle piogge autunnali, per prevenire il ripetersi delle condizioni di dissesto.

Per un qualsiasi intervento volto a prevenire futuri eventi calamitosi, si suggerisce:



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione

- A. Quantificazione dell'apporto liquido e dei tempi di corrivazione del bacino, al fine di dimensionare la più idonea luce dei ponti (quello sulla SP e quello in questione sul lungolago Via della Rena).
- B. Taglio dell'attuale ponte, al fine di consentire il regolare deflusso delle acque e del relativo trasporto solido, senza che questi vadano a deteriorare la condotta fognaria sottostante il lungolago, sostituendolo con un passaggio temporaneo di ampia luce.
- C. Allargamento della foce, al fine di consentire un più agevole deflusso delle acque e del relativo trasporto solido negli eventi estremi.

Infine, si fa rilevare che il Fosso Morichella, come ribadito dall'arch. Mariotti, è un corso d'acqua pubblico, cui si applicano le norme ai sensi del R.D. 523/1904, con particolare riguardo alla fascia di rispetto dalle sponde, che nel caso in esame non è stata mantenuta, con le conseguenze evidenziate nell'occasione.

Dott. geol. Alessandro Pascoli

Dott. geol. Fulvio Colasanto

Visto: Il Dirigente dell'Area  
Dott. Paolo Menna

Segue: Allegati fotografici



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 1



Foto 2



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 3



Foto 4



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 5



Foto 6



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 7



Foto 8



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 9



Foto 10



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 1



Foto 2



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 13



Foto 14



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



Foto 15

**SEGUE: FIG. 1 - STRALCIO DELLA CARTA DELLA REGIONE VULCANICA SABATINA, dai tipi IGM 1:100.000, fuori scala.** In evidenza il bacino idrografico del Lago di Bracciano, in cui si rileva la testata del Fosso Morichella.



REGIONE  
LAZIO

Direzione Regionale Risorse Idriche e Difesa del Suolo  
Area Difesa del Suolo e Consorzi di Irrigazione



ALL. SU33)



ACEA ELABORI SPA

Ingegneria

**ACEA ATO2 S.p.A.**

**RELAZIONE IDRAULICA**

**DEMOLIZIONE DEL PONTE STRADALE E SISTEMAZIONE  
SPONDALE DEL FOSSO DELLA MORICHELLA NEL COMUNE DI  
TREVIGNANO ROMANO (RM)**

Progettazione a cura:  
**Acea Elabori spa**

**Sommario**

1	Premessa .....	2
2	Localizzazione .....	3
3	Bacino idrografico di interesse .....	4
3.1	Inquadramento territoriale .....	4
4	Analisi idrologica .....	10
4.1	Caratteristiche dei bacini di riferimento .....	11
4.2	Aspetti climatici .....	13
4.2.1	Calcolo intensità di pioggia per il bacino del Fosso Morichella .....	18
4.3	Stima dei deflussi superficiali .....	20
4.3.1	Fosso Morichella - stima della capacità idrica massima del suolo e delle perdite iniziali .....	25
4.3.2	Tempo di corrivazione .....	25
4.4	Analisi della portata al colmo .....	26
5	Verifica idraulica delle sezioni e degli attraversamenti .....	30
5.1	Il software HEC-RAS: equazioni ed ipotesi di calcolo .....	30
5.2	Studio idraulico del Fosso Morichella - condizione attuale .....	33
5.2.1	Le portate .....	33
5.2.2	Coefficiente di scabrezza di Manning .....	33
5.2.3	La pendenza di fondo .....	33
5.2.4	Risultati del calcolo .....	33

## **1 Premessa**

La presente relazione di sintesi concerne gli aspetti idrologici e idraulici riguardanti la verifica della compatibilità idraulica dell'alveo identificato come "Fosso Morichella", ubicato nel comune di Trevignano Romano (RM).

In particolare, la verifica di compatibilità idraulica con la portata di massima piena nell'alveo riguarderà alcune sezioni strategiche nel "Fosso Morichella" tra cui i ponti e la foce.

## 2 Localizzazione

L'opera in esame si colloca all'interno del Comune di Trevignano Romano.

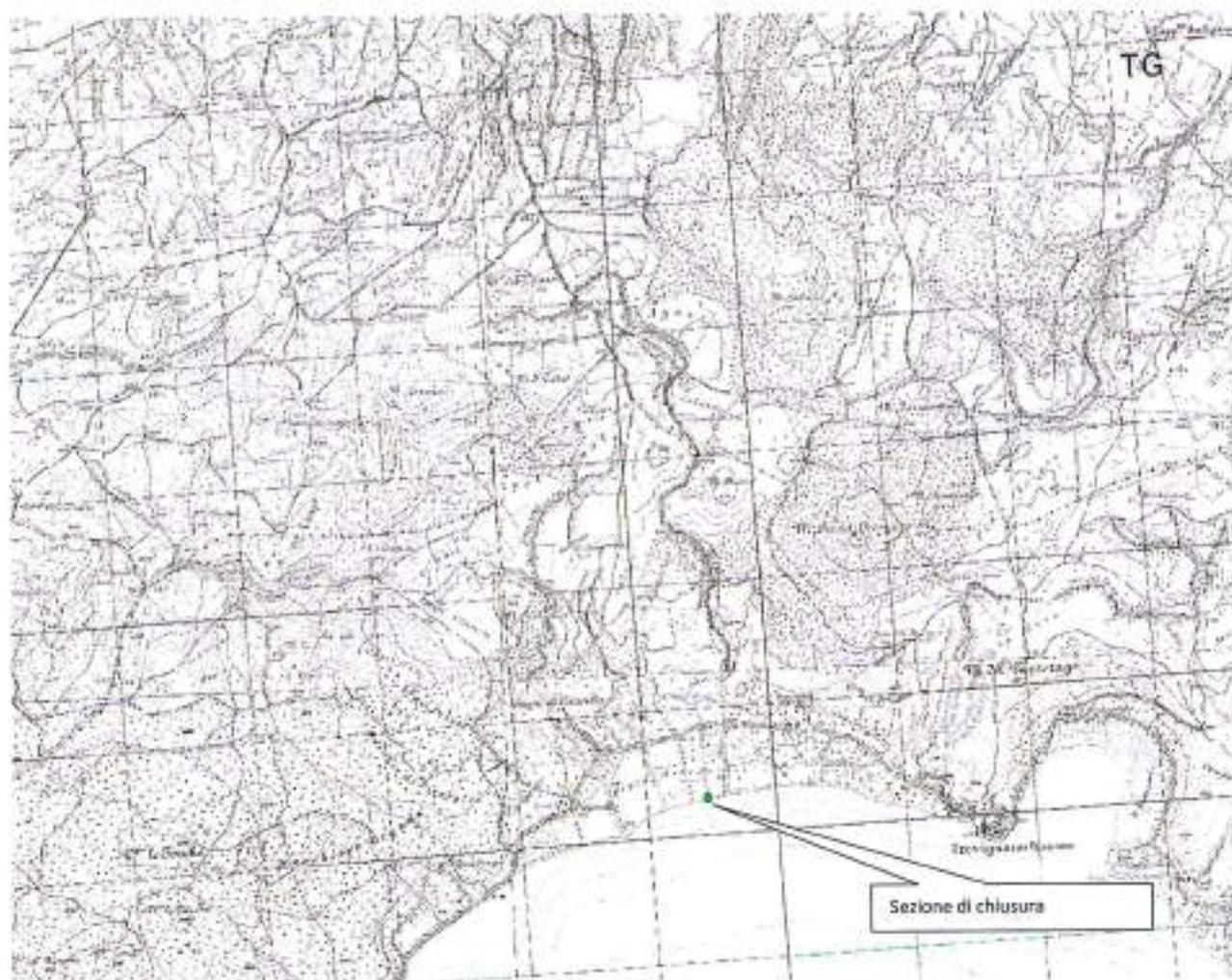
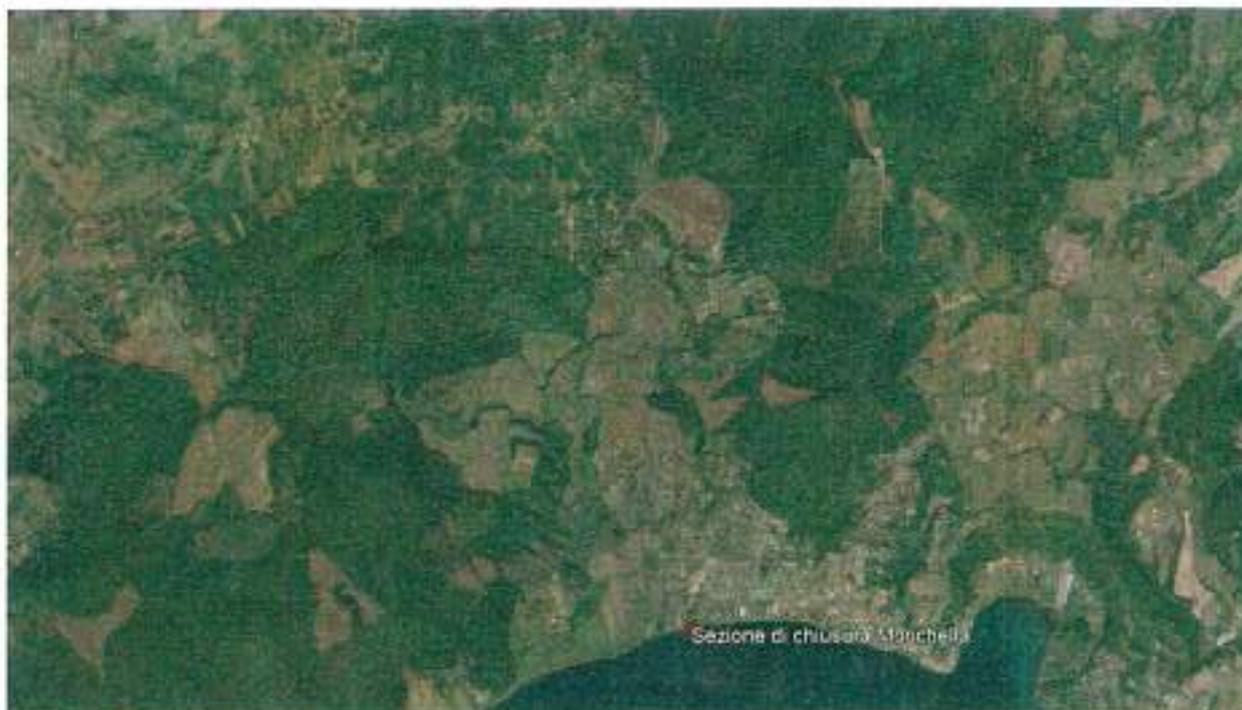


Figura 1 - Inquadramento generale



*Figura 2 - Localizzazione degli interventi su artafoto a colori*

L'alveo oggetto di studio interessa il Comune di Trevignano Romano, e la sezione di chiusura alla foce è caratterizzati dalle seguenti coordinate:

Lat.: 42° 9'28.44"N; Lon.: 12°13'15.74"E

### 3 Bacino idrografico di interesse

#### 3.1 Inquadramento territoriale

Il sotto-bacino idrografico di interesse (relativo al Fosso Morichella) occupa una piccola regione del bacino dell'Arrone (ARS\_100 – VAPI TCEV A10 e B42).

ACEA ELABORI SPA

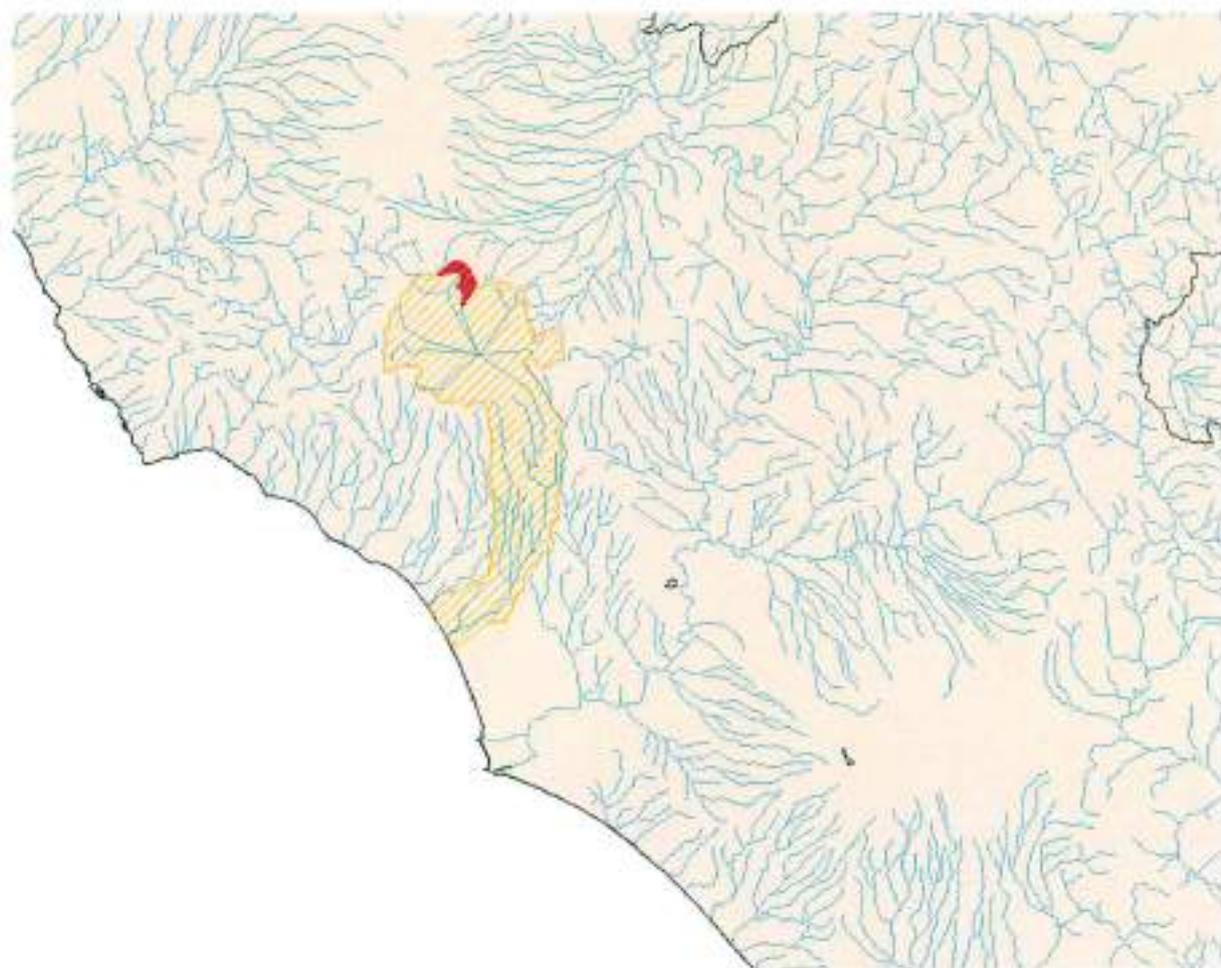


Figura 3 - Bacino dell'Arroio e sotto-bacino sotteso dalla sezione di chiusura oggetto di studio

ACEA ELABORI SPA



Figura 4 - Sotto-bacino Fosso Marichella

ACEA ELABORI SPA

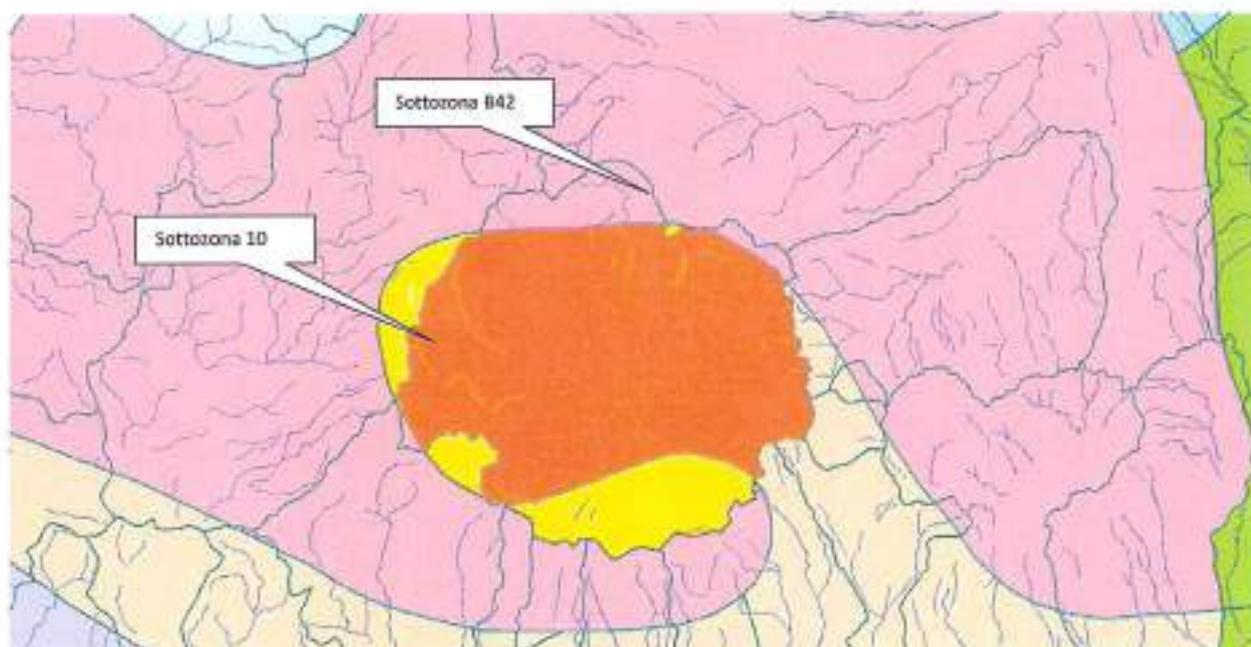


Figura 5 - Individuazione sottozone TCEV A10 e B42

Il bacino del "Fosso Morichella" sotteso alla sezione di chiusura ubicata alla foce nel lago di Bracciano, presenta una superficie complessiva di 7.301 km<sup>2</sup>, altitudine media di 406.4 m s.l.d.m. e una lunghezza dell'asta principale pari a 6.75 km.

I principali parametri morfometrici del corpo idrico, con riferimento alla sezione di chiusura individuata dall'intervento in progetto, vengono riassunti nella tabella sottostante.

Tabella 1 - Principali parametri morfometrici

Corpo idrico	Sezione di chiusura	Lunghezza asta principale	Pendenza media asta	Quota minima asta	Quota massima asta	Quota media asta	Pendenza media bacino	Area Bacino sotteso
		km	%	m s.l.m.	m s.l.m.	m s.l.m.	%	Km <sup>2</sup>
Fosso Morichella	Foce nel lago di Bracciano	6.75	6.64	164	612	388	17.02	7.301

Al fine di evidenziare le caratteristiche morfologiche dei sotto-bacini oggetto di studio, vengono di seguito riportate le mappe relative alle elevazioni e alle pendenze.

ACEA ELABORI SPA

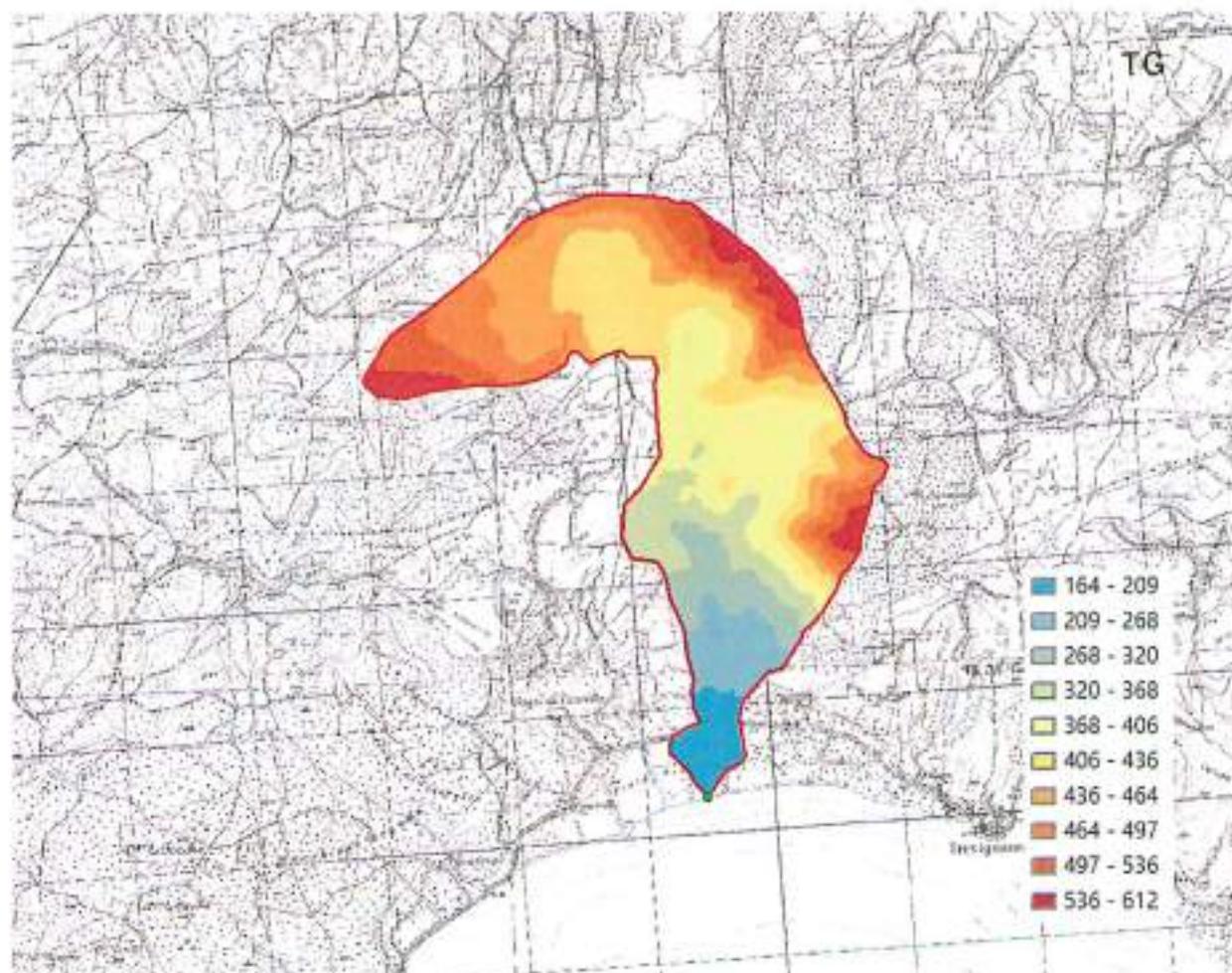


Figura 6 - Mappa di elevazione dei sotto-bacini

ACEA ELABORI SPA

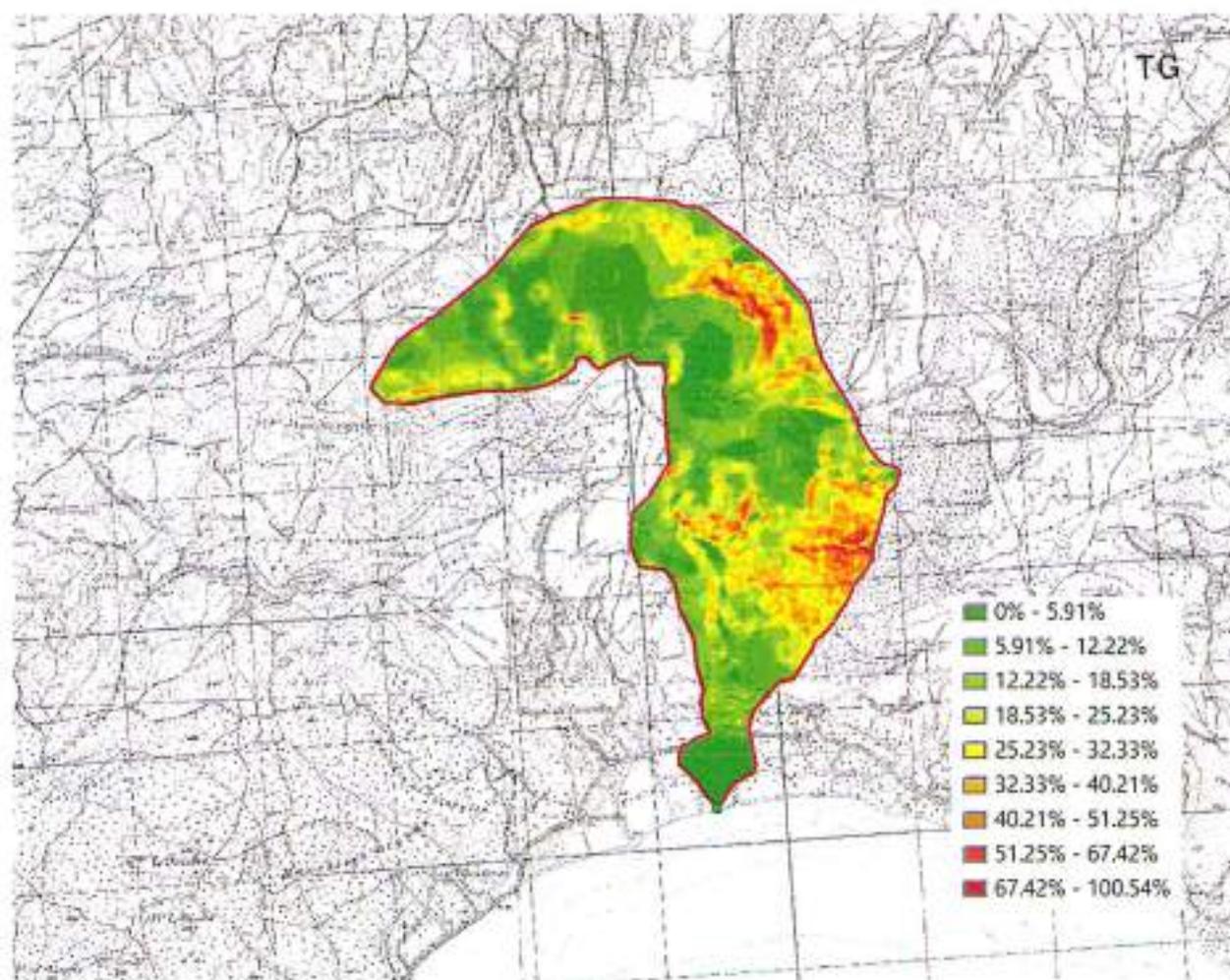


Figura 7 - Mappa delle pendenze dei sotto-bacini

#### **4 Analisi idrologica**

Per la verifica della compatibilità idraulica degli alvei di ricevere i contributi di portata scaricati dal Depuratore di San Giovanni, è stato svolto uno studio idraulico sul bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura definita nei paragrafi precedenti al fine di determinare le portate di naturale deflusso con tempi di ritorno  $T_r = 30$  e 200 anni e le quote del pelo libero corrispondenti.

Lo studio idrologico è stato articolato nelle seguenti fasi:

- analisi delle caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici, pervenendo alla determinazione della superfici del bacino e dei coefficienti di deflusso;
- individuazione del tempo di corrivazione in funzione delle suddette caratteristiche morfologiche del bacino;
- elaborazione dei dati di precipitazione disponibili per giungere alla individuazione delle curve di probabilità pluviometrica per diversi valori delle probabilità di non superamento (tempi di ritorno);
- valutazione delle portate al colmo prevedibili nelle sezioni di chiusura dei bacini, in funzione dei diversi tempi di ritorno investigati.

ACEA ELABORI SPA

#### 4.1 Caratteristiche dei bacini di riferimento

Tenendo conto delle caratteristiche geomorfologiche e geometriche del bacino scolante, al fine di determinare il/i coefficiente/i di afflusso e le aree che contribuiscono alla generazione degli afflussi sono state analizzate le tipologie di suoli presenti e la distribuzione dell'uso del suolo relativo.

Le caratteristiche di copertura e uso del territorio possono essere valutate tramite il progetto Corine Land Cover (CLC) basato su immagini satellitari SPOT-4 HRVIR, SPOT 5 HRG e/o IRS P6 LISS III, di cui viene riportato un estratto nella Figura 8.

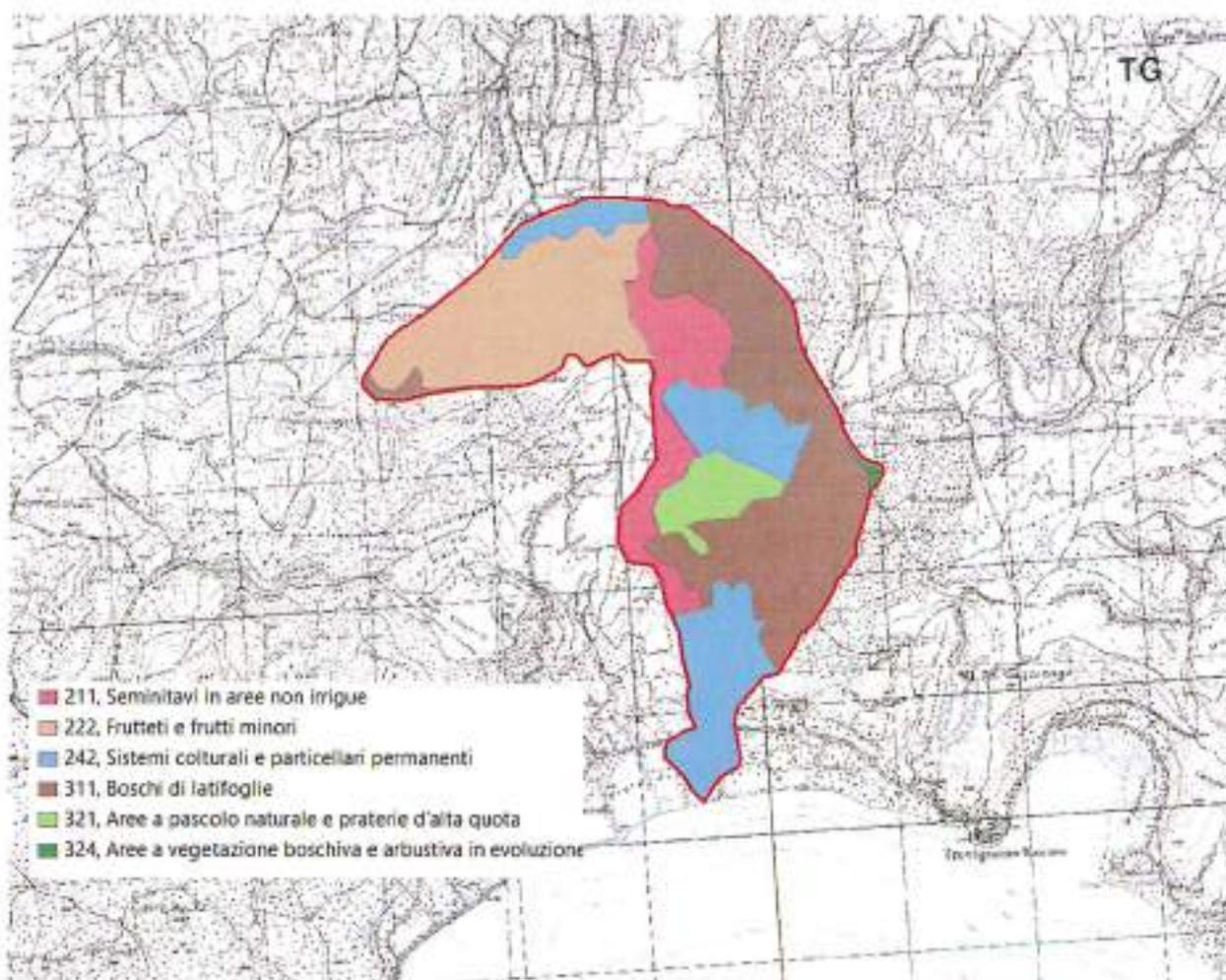


Figura 8 - Uso del suolo - immagine Corine Land Cover (CLC)

Per il bacino in esame è stata determinata la seguente classificazione:

ACEA ELABORI SPA

Tabella 2 – Bacino Fosso Morichella - Uso del suolo - Carine Land Cover (CLC)

Bacino Fosso Morichella - Tipologia di uso del suolo	Superficie (kmq)	Incidenza
Seminativi in aree non irrigue	0.518	7.1%
Frutteti e frutti minori	0.178	2.4%
Sistemi culturali e particellari permanenti	0.248	3.4%
Boschi di latifoglie	3.815	52.3%
Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.006	0.1%
Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	2.535	34.7%
<b>Superficie complessiva:</b>	<b>7.301</b>	

La litologia dei suoli presenti viene rappresentata nella mappa seguente:

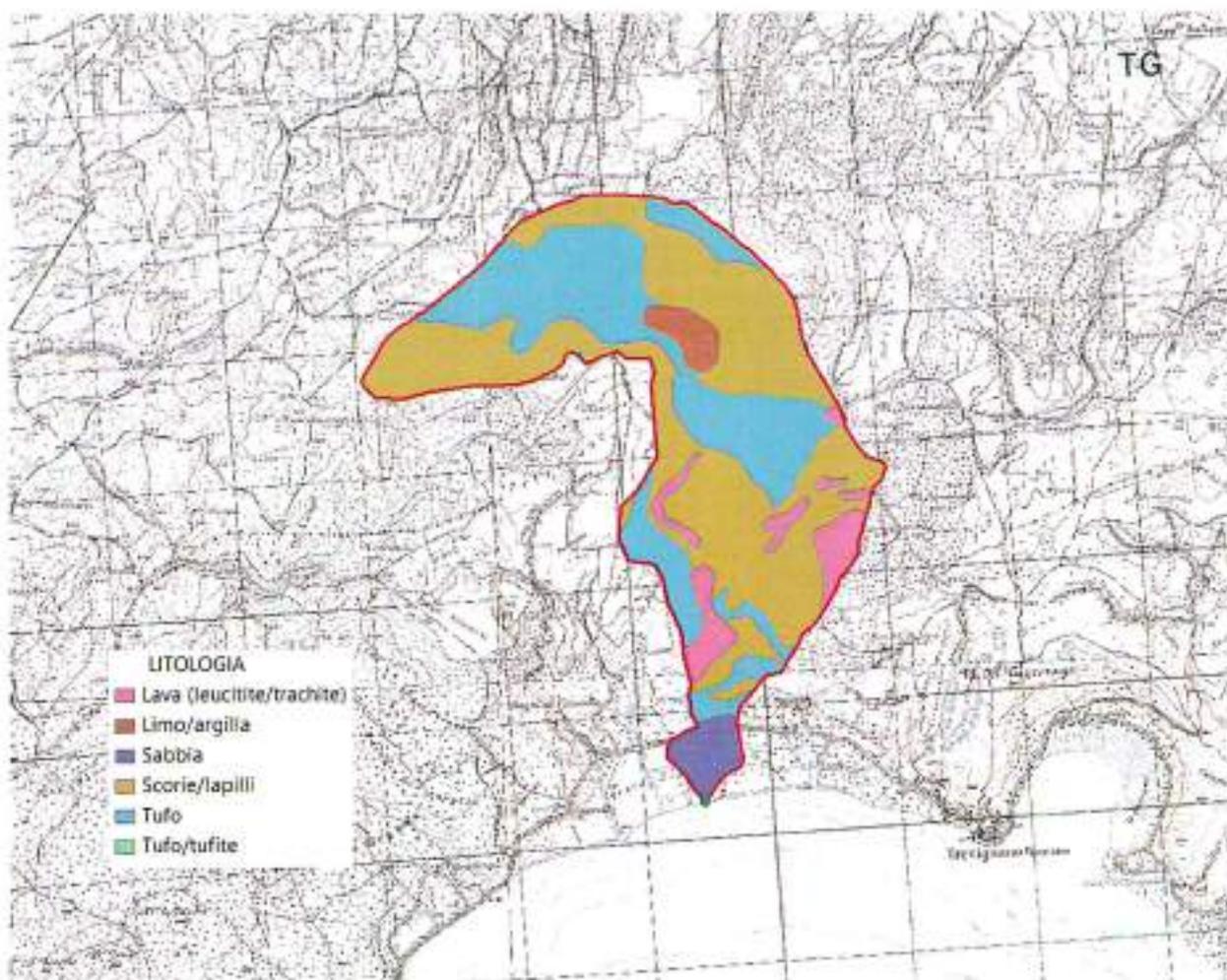


Figura 9 - Carta geologica relativa ai bacini di riferimento

Dal punto di vista geologico, il bacino del Fosso Morichella è caratterizzato dalla presenza di leucite/trachitelimi e argille, sabbia (nei pressi del lago), lapilli e tufo/tufite.

ACEA ELABORI SPA

## 4.2 Aspetti climatici

Al fini dell'individuazione delle curve di probabilità pluviometrica ai vari i tempi di ritorno si è proceduto alla valutazione degli eventi piovosi estremi mediante la procedura VA.PI. (Valutazione Piene) elaborata dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GGNDICI) del CNR.

Per garantire l'omogeneità e la confrontabilità dei risultati a livello nazionale viene adottato il modello regionale TCEV, modificato al terzo livello attraverso l'introduzione di un modello a tre parametri per la valutazione delle piogge intense.

La distribuzione di probabilità delle massime altezze di pioggia giornaliere,  $h_d$ , viene espressa nella forma:

$$P(h_d) = e^{-\Lambda_1} e^{-\beta \frac{h_d}{\mu h_d} - \Lambda^* \Lambda_1^{\frac{1}{\Theta^*}} e^{-\frac{\beta h_d}{\Theta^* \mu h_d}}}$$

Dove  $\mu_d$  è la media di  $h_d$ ,  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  sono due parametri da cui dipende il coefficiente di asimmetria della distribuzione,  $\Lambda_1$  è un parametro che insieme ai due precedenti determina il coefficiente di variazione, e  $\beta$  è una funzione dei tre precedenti parametri.

Sostituendo nell'equazione precedente il *coefficiente di crescita*:

$$k = \frac{h_d}{\mu h_d}$$

Si ottiene

Equazione 1

$$P(k) = e^{-\Lambda_1} e^{-\beta k} - \Lambda^* \Lambda_1^{\frac{1}{\Theta^*}} e^{-\frac{\beta}{\Theta^*} k}$$

che in forma implicita fornisce la curva di crescita  $k(T)$  della variabile  $h_d$ , dove  $T$  è il tempo di ritorno di  $h_d$ :

$$T = \frac{1}{1 - P(k)}$$

ACEA ELABORI SPA

Le elaborazioni relative all'applicazione di tale modello fanno riferimento ad una procedura di regionalizzazione gerarchica in cui i parametri sono stati valutati per scale regionali differenti.

Al primo e al secondo livello di regionalizzazione si identificano tre regioni omogenee, in cui l'ipotesi della costanza del coefficiente di variazione e del coefficiente di asimmetria può essere accettata:

- zona A (Tirrenica), che interessa la fascia del litorale tirrenico e si protende all'interno lungo le valli dei principali corsi d'acqua;
- zona B (Appenninica), che interessa l'ampia fascia dell'Appennino propriamente detto, con le propaggini dei colli Albani, e i monti Lepini, Ausoni e Aurunci, nonché, separati da questa zona, i gruppi montuosi nell'entroterra tirrenico a nord-ovest del Tevere (i massicci dell'Amiata e del Cetona con i monti Vulsini; e i monti Cimini con i monti della Tolfa e i monti Sabatini);
- zona C (Adriatica), che interessa una ristretta fascia del litorale adriatico e si protende con ristrette lingue lungo le valli dei corsi d'acqua.

I sottobacini del Rio Arimucci e del Rio Canello ricadono nella **zona B** (appenninica)

I parametri  $\Lambda^*$  e  $\Theta^*$  determinati al primo livello di regionalizzazione per le tre zone sono indicati nella tabella Tabella 3

Tabella 3 - Parametri del primo livello di regionalizzazione

Zona	$\Lambda^*$	$\Theta^*$
<b>A</b>	0.174	3.49
<b>B</b>	0.762	1.241
<b>C</b>	0.795	2.402

Il parametro  $\Lambda_1$ , determinato al secondo livello di regionalizzazione per le tre zone, e la corrispondente funzione  $\beta$  sono indicati nella Tabella 4

ACEA ELABORI SPA

Tabella 4 - Parametri al secondo livello di regionalizzazione

Zona	$\Lambda_1$	$\beta$
<b>A</b>	29.31	4.48
<b>B</b>	22.02	4.359
<b>C</b>	27.81	5.301

Più utile dal punto di vista pratico è la forma inversa della Equazione 1 per cui, fissato un valore T del periodo di ritorno, si ricava il corrispondente valore del coefficiente di crescita  $K_T$ . Per la distribuzione TCEV tale relazione non è analiticamente ottenibile. Si riportano di seguito, nella Tabella 5, i valori di  $K_T$  ottenuti numericamente dalla Equazione 1 per alcuni valori del periodo di ritorno.

 Tabella 5 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piogge giornaliere, per alcuni valori del periodo di ritorno T.

T (anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
<b><math>K_T</math> (SZOA)</b>	0.89	1.22	1.49	1.84	1.97	2.29	2.45	2.98	3.52	4.23	4.77
<b><math>K_T</math> (SZOB)</b>	0.96	1.25	1.45	1.64	1.7	1.83	1.89	2.07	2.26	2.51	2.70
<b><math>K_T</math> (SZOC)</b>	0.9	1.29	1.59	1.9	2.01	2.22	2.32	2.64	2.96	3.38	3.70

Considerata la relativa limitatezza dei dati pluviografici rispetto alla quantità di dati pluviometrici, il modello probabilistico proposto impiega l'informazione regionale stabilita per i massimi annuali delle piogge giornaliere relative alle piogge brevi. Per impiegare l'informazione regionale, si è assunta l'ipotesi che la curva di crescita, stabilita per i massimi delle piogge giornaliere, sia valida anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore.

Al terzo livello di regionalizzazione sono individuate delle zone omogenee in cui è accettabile l'ipotesi che la media del massimo annuale dell'altezza giornaliera  $\mu_{hd}$ , che prende il nome di pioggia indice, dipenda linearmente dalla sola quota z della stazione

ACEA ELABORI SPA

Equazione 2

$$\mu_{hd} = CZ + D$$

I parametri di tale equazione sono univoci nell'ambito di aree pluviometriche omogenee (APO). Le APO sono in totale 78 e in particolare i bacini oggetto di studio ricadono nella APO A10, i cui parametri della regressione assumono i valori indicati nella Tabella 6

Tabella 6 - Terzo livello di regionalizzazione: parametri della regressione della media sulla quota per la sottozona A10

Sottozona	N	C	D
		(mm/m)	(mm)
A10	5	0.06301	67.83

Per ottenere le leggi di probabilità pluviometrica, si considera una relazione durata-intensità-frequenza, attraverso una legge del tipo:

Equazione 3

$$i_t(T) = \frac{a(T)}{(b + t)^m}$$

Dove:

$b$  è un parametro di trasformazione della scala temporale, indipendente sia dalla durata  $t$ , sia dal tempo di ritorno;

$m$  è un parametro adimensionale compreso tra 0 e 1, indipendente sia dalla durata, sia dal tempo di ritorno;

$a(T)$  è un parametro dipendente dal tempo di ritorno, ma indipendente dalla durata

L' Equazione 3 può essere messa nella forma

ACEA ELABORI SPA

Equazione 4

$$i_t(T) = i_0(T) \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

Dove  $i_0(T)$  è l'intensità istantanea con tempo di ritorno T. La pioggia indice è data dalla media di  $i_t$ , che risulta:

Equazione 5

$$\mu_{it}(T) = \mu_{i0}(T) \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

Il coefficiente di crescita da introdurre nella Equazione 1 è quindi:

Equazione 6

$$k = \frac{i_t}{\mu_{i0}} \left( \frac{b+t}{b} \right)^m$$

Da cui, infine

Equazione 7

$$i_t = k \mu_{i0} \left( \frac{b}{b+t} \right)^m$$

Utile per il calcolo dell'intensità di pioggia in dipendenza della durata e del tempo di ritorno

L'esponente m e il parametro di deformazione temporale b vengono assunti indipendenti dal tempo di ritorno T, in modo da imporre il parallelismo sul piano logaritmico delle leggi IDF (intensità durata frequenza) relative a diversi tempi di ritorno. Per ricavare tali parametri sono state fatte le seguenti ipotesi:

1) su tutto il territorio considerato:

- a) l'intensità media di 24 ore  $\mu_{i24}$  è proporzionale all'intensità media giornaliera  $\mu_{id}$  e quindi  $\mu_{i24} = \delta \mu_{id}$  dove il coefficiente di proporzionalità è assunto costante su tutto il territorio considerato, con valore  $\delta=1.15$ ; dall'ipotesi a) discende che anche per  $\mu_{i24}$  vale una relazione lineare con la quota:

Equazione 8

$$\mu_{i24} = \delta \frac{cz + d}{24}$$

- b) il rapporto tra l'intensità media della pioggia di 5' e quella della pioggia oraria è costante su tutta l'area esaminata, assunto pari al valore ottenuto dallo studio delle piogge intense della stazione

ACEA ELABORI SPA

pluviometrica di Roma (Macao):  $r = \frac{\mu_{int}}{\mu_{it}} = \left( \frac{b+1}{b+0.0833} \right)^m$  da cui si ricava per ciascuna zona omogenea il coefficiente di trasformazione temporale:  $b = \frac{1-0.0833r^{\frac{1}{m}}}{r^{\frac{1}{m}}-1}$

2) sulle zone omogenee identificate per i massimi giornalieri dell'anno:

a) l'intensità istantanea media  $\mu_{i0}$  è dipendente dalla quota  $z$  della stazione pluviometrica secondo la relazione:  $\frac{\mu_{i0}(z)}{\mu_{i0}} = \frac{\mu_{hd}(z)}{\mu_{hd}}$  dove  $\overline{\mu_{i0}}$  e  $\overline{\mu_{hd}}$  sono la media sulla zona omogenea di  $\mu_{i0}$  e  $\mu_{hd}$ .

Da queste ipotesi si ricava per ciascuna zona omogenea l'esponente  $m$ :

Equazione 9

$$m = \frac{\ln\left(\frac{\overline{\mu_{i0}}}{\overline{\mu_{i24}}}\right)}{\ln\left[1 + \frac{24(r^{\frac{1}{m}} - 1)}{1 - 0.0833r^{\frac{1}{m}}}\right]}$$

I valori regionali dei parametri  $b$ ,  $m$  e  $\overline{\mu_{i0}}/\overline{\mu_{i24}}$  che compaiono nella Equazione 9 e relativi alla sottozona B30 sono riportati nella tabella Tabella 7.

Tabella 7 - Regionalizzazione delle piogge intense: parametri regionali delle relazioni IDF per la sottozona A10

Sottozona	b	m	$\overline{\mu_{i0}}/\overline{\mu_{i24}}$
A10	0.1415	0.7415	45.18

#### 4.2.1 Calcolo intensità di pioggia per il bacino del Fosso Morichella

Specializzando per il bacino del Fosso Morichella, dalla Equazione 2

$$\mu_{hd} = CZ + D = 0.06301 \cdot 406.4 + 67.83 = 93.44 \text{ mm/h}$$

dall'Equazione 8 si ha

$$\mu_{i24} = \delta \mu_{id} = \delta \frac{CZ + D}{24} = 1.15 \cdot \frac{93.441}{24} = 4.48 \text{ mm/h}$$

E' possibile così ottenere il valore dell'intensità istantanea media  $\mu_{i0}$  mediante il parametro di regionalizzazione  $\overline{\mu_{i0}}/\overline{\mu_{i24}} = 45.18$ :

$$\mu_{i0} = 45.18 \cdot \mu_{i24} = 45.18 \cdot 4.48 = 202.28 \text{ mm/h}$$

ACEA ELABORI SPA

Inserendo nell'Equazione 7 tutti i parametri finora individuati e considerando i valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le piogge giornaliere della Tabella 5, è possibile tracciare le seguenti curve di possibilità pluviometrica:

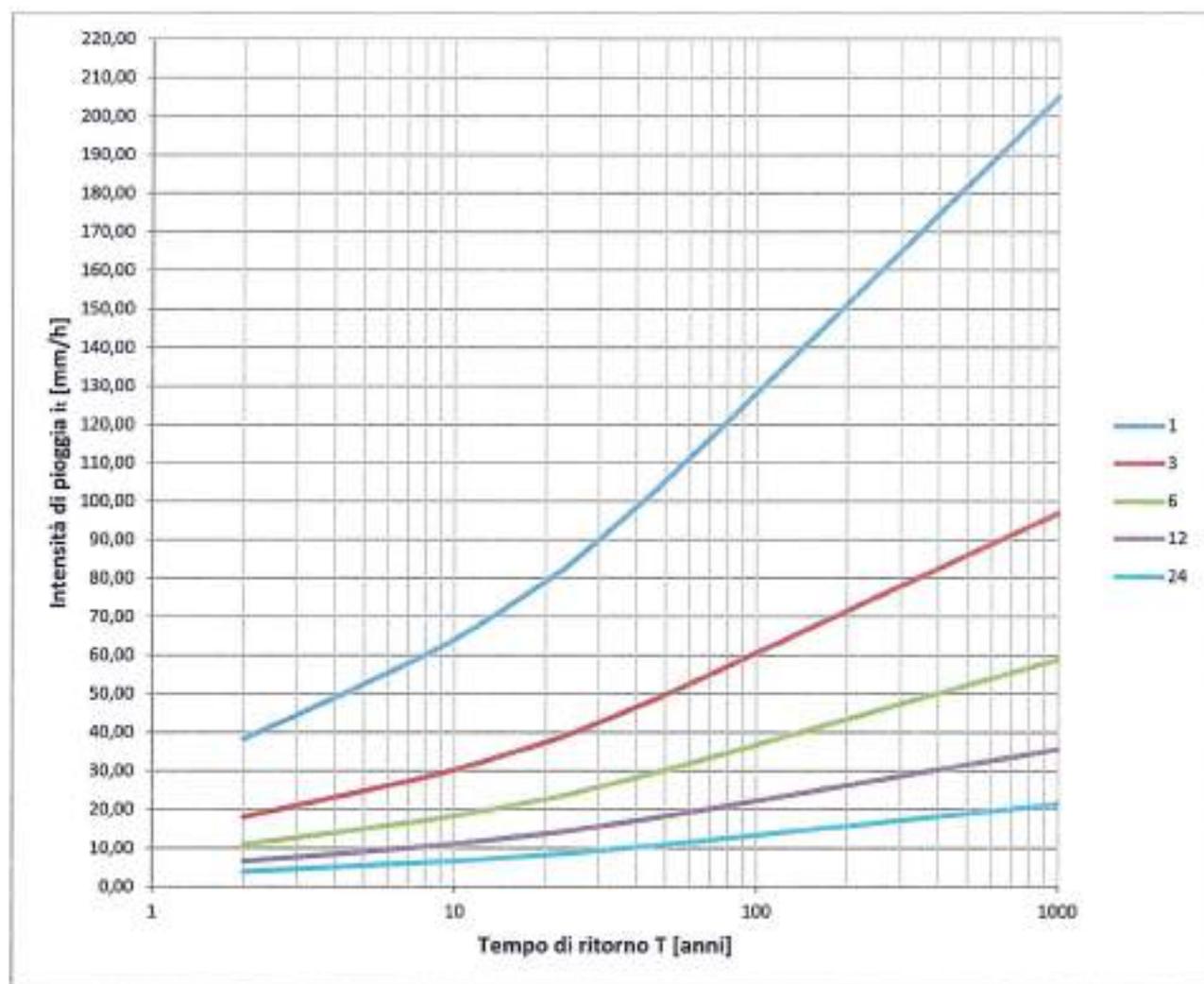


Figura 10 – Bacino del Fosso Marichello - Intensità di pioggia in funzione del tempo di ritorno e della durata della precipitazione (da 1 a 24 ore)

### 4.3 Stima dei deflussi superficiali

Il metodo del Curve Number (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti, viene considerato come uno dei più importanti modelli non deterministici utilizzabile per la stima dei deflussi superficiali. Tale metodo permette di determinare il deflusso diretto o pioggia efficace ( $P_e$ ) cioè la frazione della pioggia totale ( $P$ ) che direttamente e in maniera preponderante contribuisce alla formazione dell'evento di piena.

Per il calcolo della pioggia efficace, il metodo SCS propone la seguente equazione:

Equazione 10

$$P_e = \frac{P_n^2}{P_n + S}$$

Dove:

$P_e$	Pioggia efficace o deflusso diretto (mm)
$P_n = P - I_A$	Pioggia netta (mm)
$P$	Pioggia totale (mm)
$S$	Capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm)
$I_A = k_{ia} \cdot S$	Perdite iniziali (mm)
$k_{ia}$	Coefficiente di perdite iniziali

Da cui

Equazione 11

$$P_e = \frac{(P - k_{ia}S)^2}{(P - k_{ia}S) + S}$$

Le perdite iniziali ( $I_A$ ) sono costituite da alcuni processi quali l'intercettazione della pioggia da parte delle chiome della vegetazione, dall'accumulo nelle locali depressioni del terreno e dall'imbibizione iniziale del terreno. Dai dati sperimentali tale parametro risulta correlato al volume specifico di saturazione o capacità idrica massima del suolo ( $S$ ). La procedura proposta dal SCS, per l'ambiente agrario degli Stati Uniti, stima le

ACEA ELABORI SPA

perdite iniziali uguali ad un quinto del volume specifico di saturazione del terreno (S). Per la realtà italiana, si adotta un valore delle perdite iniziali tale che  $0.1 \leq k_{ia} \leq 0.3$

Per i calcoli seguenti verrà utilizzato  $k_{ia} = 0.2$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura litologica e pedologica del terreno e dall'uso del suolo. L'equazione proposta dal S.C.S è rappresentabile sul piano  $P - P_e$ , con un numero infinito di curve comprese tra la bisettrice dove S è uguale a zero, e l'asse delle ascisse dove S assume il teorico valore infinito. Data la notevole variabilità del parametro S, si fa ricorso ad un artificio con il quale si determina il Curve Number (CN) utilizzando la seguente equazione che rappresenta sul piano  $P - P_e$  una famiglia di curve:

Equazione 12

$$CN = \frac{25400}{254 + S}$$

Dove S è espresso in mm

Esplicitando S si ha

Equazione 13

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

Il parametro CN è un fattore decrescente della permeabilità e risulta legato:

- alla tipologia litologica del suolo;
- all'uso del suolo;
- al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato.

Per quanto riguarda la natura del suolo, l'SCS ha classificato i tipi di suolo in quattro gruppi

ACEA ELABORI SPA

Tabella 8 - Classificazione dei tipi idrologici di suolo secondo il metodo SCS-CN

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

Per i calcoli seguenti, considerata la litogeologia dei suoli presenti nel bacino, verrà utilizzato un tipo idrologico di suolo C.

Nella Tabella 9 sono riportati, per tali gruppi, valori caratteristici del parametro CN anche con riferimento al tipo di copertura (uso del suolo).

ACEA ELABORI SPA

Tabella 9 - Valori caratteristici del parametro CN

CN	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
<b>Tipologie di uso del suolo</b>				
Suoli coltivati	67	76	83	86
Pascoli	54	70	80	85
Prati	30	58	71	78
Boschi e foreste con copertura modesta	45	66	77	83
Boschi e foreste con buona copertura dall'erosione e sottobosco	25	55	70	77
<b>Aree a parco e di fruizione ricreativa</b>				
-con copertura erbacea superiore al 75%	39	61	74	80
-con copertura erbacea dal 50 al 75%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabili per l'85%)	89	92	94	95
Aree Industriali (impermeabili per il 72%)	81	88	91	93
<b>Aree residenziali con percentuale media impermeabile</b>				
-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, aree coperte (impermeabili)	98	98	98	98
<b>Strade</b>				
-asfaltate	98	98	98	98
-inghialate	76	85	89	91

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II e AMC III, caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC=Antecedent Moisture Condition ) a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella Tabella 10.

Tabella 10 - Attribuzione della classe AMC

Classe AMC	Stagione di riposo della vegetazione	Stagione di crescita della vegetazione
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

ACEA ELABORI SPA

I valori nella Tabella 9 si riferiscono ad una condizione media di umidità del terreno all'inizio della precipitazione (classe II). Il CN così individuato può essere adattato a diverse condizioni di umidità attraverso le seguenti formule di conversione:

Equazione 14

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)}$$

Equazione 15

$$CN(III) = \frac{CN(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)}$$

Per lo studio dei bacini in esame si farà riferimento alla **classe AMC II**

Considerate le tipologie di suolo presenti nel bacino (vedi *Tabella 2 – Bacino Fosso Morichella - Uso del suolo - Corine Land Cover (CLC) e seguenti*) e considerando la media pesata in base all'area coperta dalle singole superfici, si perviene alle seguenti determinazioni del CN

Tabella 11 - Determinazione CN per il bacino del Fosso Morichella

Fosso Morichella - Tipologia di uso del suolo	Superficie (kmq)	Incidenza	C-CN,i	CN,P
Seminativi in aree non irrigue	0.518	7.1%	83	5.89
Frutteti e frutti minori	0.178	2.4%	77	1.88
Sistemi colturali e particellari permanenti	0.248	3.4%	83	2.82
Boschi di latifoglie	3.815	52.3%	70	36.58
Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	0.006	0.1%	80	0.07
Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione	2.535	34.7%	77	26.74
<b>Superficie complessiva:</b>	<b>7.301</b>		<b>CN</b>	<b>73.97</b>

Il metodo proposto è applicabile su pendii con acclività non superiori al 5%; è stato pertanto introdotto un CN modificato (CN<sub>2</sub>) per pendii con pendenze superiori:

Equazione 16

$$CN_2 = \frac{CN_{sat} - CN}{3} \cdot [1 - 2 \cdot \exp(-13.86 \cdot \text{acclività})] + CN$$

dove:

Equazione 17

$$CN_{sat} = CN \cdot \exp[0.01702 \cdot (100 - CN)]$$

da cui si ottiene **CN<sub>2</sub> = 77.80**.

ACEA ELABORI SPA

#### 4.3.1 Fosso Morichella - stima della capacità idrica massima del suolo e delle perdite iniziali

In riferimento al Fosso Morichella, la capacità idrica massima del suolo o volume specifico di saturazione (mm)  $S$ , considerando l'Equazione 13 risulta pari a

Equazione 18 
$$S = 25.4 + \left( \frac{1000}{77.80} - 10 \right) = 72.48 \text{ mm}$$

Le perdite iniziali vengono stimate in

$$I_A = k_{ia} \cdot S = 0.2 \cdot 72.48 = 14.50 \text{ mm}$$

#### 4.3.2 Tempo di corrivazione

Per la determinazione del valore della pioggia totale  $P$  da inserire nella Equazione 11 è necessario dapprima calcolare il valore del tempo di corrivazione  $t_c$  così da ottenere un valore della pioggia critica mediante l'Equazione 7 (vedi Figura 10 – Bacino del Fosso Morichella - Intensità di pioggia in funzione del tempo di ritorno e della durata della precipitazione e seguenti), cioè quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno  $T$ .

La stima del tempo di corrivazione viene effettuata mediante l'interpolazione tra la formula di Giandotti, valida per bacini di superficie superiore a  $100 \text{ km}^2$ , e di Kirpich, valida per bacini di superficie inferiore a  $1 \text{ km}^2$ :

Tabella 12 - Formule di Giandotti e Kirpich

	$t_c$ : Tempo di corrivazione in ore
	A: area del bacino in $\text{km}^2$
	L: lunghezza asta principale in km
	$\bar{h}$ : quota media del bacino
	$h_s$ : quota della sezione di chiusura
	$t_c$ : Tempo di corrivazione in minuti
$t_c = 0.078 \cdot L^{0.77} \cdot p^{-0.385}$	L: lunghezza asta principale in piedi
	p: pendenza media del bacino

Il tempo di corrivazione risultante è pari a:

- **0.90 ore per il bacino del Fosso Morichella**

ACEA ELABORI SPA

#### 4.4 Analisi della portata al colmo

La valutazione delle portate al colmo di piena viene effettuata mediante il metodo SCS (Soil Conservation Service). La piena viene semplificata con un idrogramma triangolare asimmetrico. Infatti nelle numerose piene che costituiscono la base sperimentale il SCS ha rilevato che mediamente i 3/8 (ovvero il 37.5%) del deflusso diretto transitano durante la fase di concentrazione della portata (ramo ascendente dell'idrogramma) e i restanti 5/8 durante la fase di esaurimento.

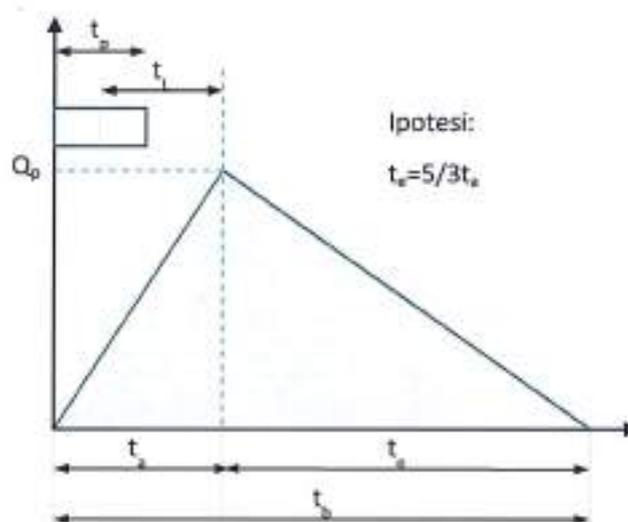


Figura 11 - Esempificazione della piena nel metodo SCS

Equazione 19

$$Q_p = 0.208 \frac{P_e A}{t_a}$$

Dove

$Q_p$	Portata al colmo di piena in $m^3 s^{-1}$
$P_e$	Pioggia efficace in $mm$
$A$	Area del bacino in $km^2$
$t_a$	Tempo di accumulo in ore

In modo geometrico, nell'ipotesi di una pioggia di intensità costante,  $t_a$  vale

ACEA ELABORI SPA

Equazione 20

$$t_a = 0.5t_p + t_L$$

Dove

- $t_p$  Durata dell'evento meteorico in ore
- $t_L$  Tempo di ritardo in ore (distanza fra il baricentro dello ietogramma e il picco dell'idrogramma triangolare)

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

Equazione 21

$$t_L = 0.342 \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \left( \frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

Dove

- $s$  È la pendenza del bacino espressa in %
- $L$  È la lunghezza dell'asta principale prolungata fino allo spartiacque espressa in km
- $CN$  È il curve number

La formulazione classica suggerisce una durata critica legata al tempo di corrivazione  $t_c$  mediante la relazione

Equazione 22

$$t_p = 2\sqrt{t_c}$$

 Valida per  $t_L > 1.67$  ore

Per  $t_L < 1.67$ , una soluzione pratica è quella di adottare una durata di pioggia pari al doppio del tempo di ritardo

ACEA ELABORI SPA

Equazione 23

$$t_p = 2t_L \Rightarrow t_a = \frac{1}{2}(2t_L) + t_L = 2t_L \Rightarrow t_a = 2t_L = t_p$$

Nel caso in esame, impiegando l' Equazione 21 risulta  $t_L = 0.982$  ore quindi

Equazione 24

$$t_p = 2t_L = 1.964 \text{ ore}$$

da cui

Equazione 25

$$t_a = 0.5 \cdot 1.964 + 0.87 = 1.964 \text{ ore}$$

Per il calcolo della pioggia efficace da inserire nella Equazione 19 si usa l' Equazione 11 ricordando che la pioggia totale  $P$  (mm) è data dalla

Equazione 26

$$P = i_{c,T} t_c$$

Dove

$i_{c,T}$  E' l'intensità di pioggia critica di durata pari al tempo di corrivazione e con tempo di ritorno  $T$ , espressa in mm/h e determinata dall'Equazione 7

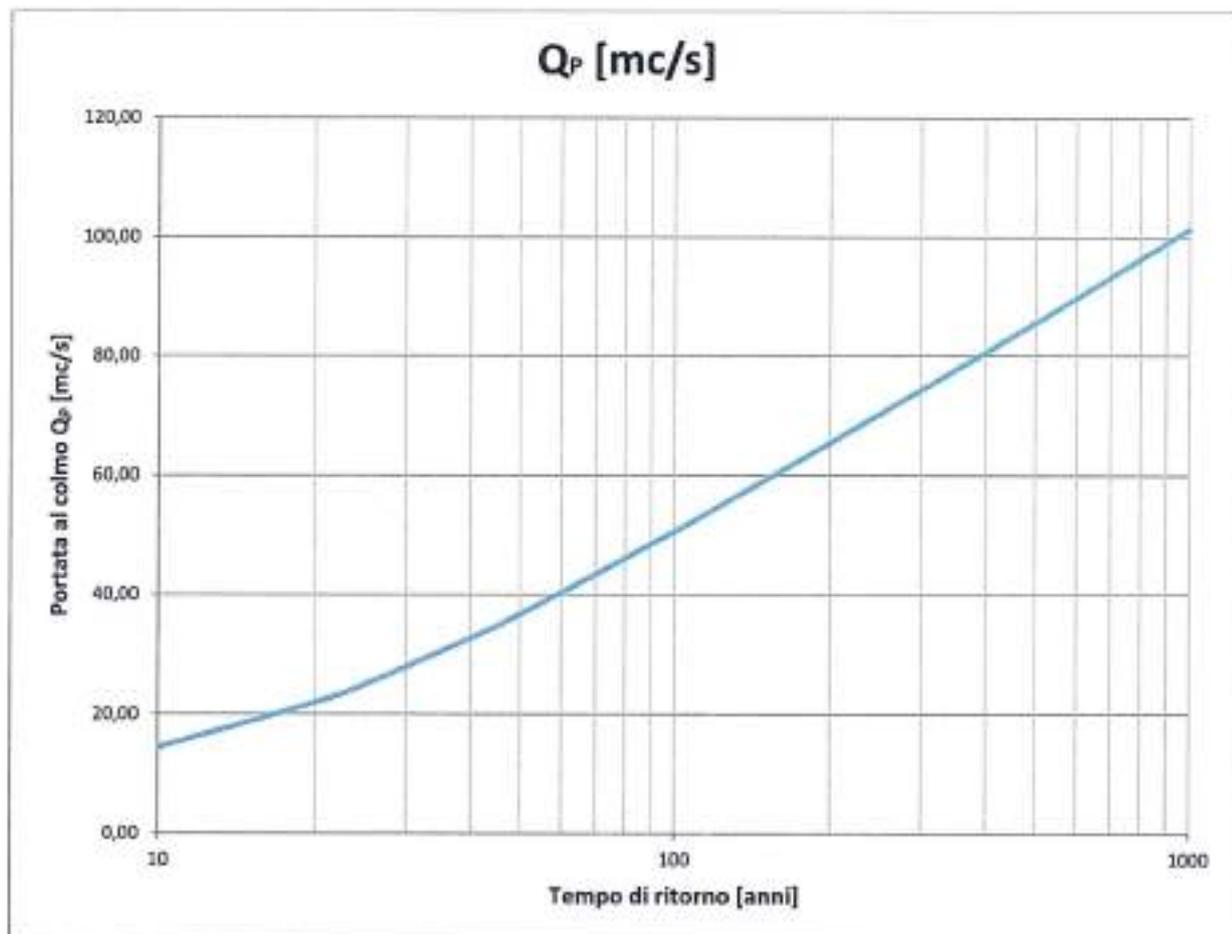
$t_c$  Tempo di corrivazione in ore

Nella tabella seguente viene infine determinata la portata  $Q_p$  per differenti valori del tempo di ritorno  $T$

ACEA ELABORI SPA

 Tabella 13 - Valori della portata al colmo  $Q_p$  per differenti tempi di ritorno  $T$  - Bacino del Fosso Marichello

T (anni)	30	200	500
$K_T$ (SZOB)	2.09	3.52	4.23
$i_{c,T}$ (mm/h)	96.27	162.14	194.85
P (mm)	86.58	145.82	175.23
Pe (mm)	35.94	84.62	110.78
$Q_p$ (m <sup>3</sup> /s)	27.79	65.43	85.66


 Figura 12 - Grafico della portata al colmo  $Q_p$  per differenti valori del tempo di ritorno  $T$  - Bacino del Fosso Marichello

## 5 Verifica idraulica delle sezioni e degli attraversamenti

Per la verifica della compatibilità idraulica delle sezioni dell'alveo, è stato preso in esame il rilievo del fosso, costituito dal profilo del tratto finale per una lunghezza di circa 1100 m e n. 59 sezioni, oltre le sezioni degli attraversamenti. E' stata verificata la capacità di deflusso, tenendo in considerazione la portata transitante nell'alveo a diversi tempi di ritorno.

La verifica idraulica è stata eseguita utilizzando il software HEC-RAS 4.1.0, un software sviluppato dal Corpo degli ingegneri dell'esercito U.S.A. presso l'Hydrologic Engineering Centre (HEC) utilizzato per la modellazione mono e bidimensionale di reti di canali naturali e artificiali, River Analysis System (RAS).

### 5.1 Il software HEC-RAS: equazioni ed ipotesi di calcolo

Si riporta di seguito una sintesi delle ipotesi di calcolo e delle formule alla base degli algoritmi di HEC-RAS. Per maggiori dettagli si invita alla consultazione del manuale liberamente disponibile.

Le principali caratteristiche della corrente (livello idrico e velocità media) vengono calcolate a partire da una sezione alla successiva, posta a monte o a valle, a seconda che il regime sia rispettivamente supercritico o subcritico, risolvendo, con la procedura iterativa dello standard step method, l'equazione che esprime il bilancio di energia della corrente tra le medesime sezioni

$$z_1 + h_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} = z_2 + h_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} + \Delta H$$

dove i pedici 1 e 2 si riferiscono alle due sezioni che individuano il volume di controllo:

$h_1$  e  $h_2$  sono le altezze idriche;

$z_1$  e  $z_2$  sono le quote del fondo alveo rispetto ad un riferimento prefissato;

$V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono i coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche o coefficienti di Coriolis;

$\Delta H$  è la perdita di carico tra le due sezioni.

La perdita di carico tra le due sezioni viene valutata come la somma di due termini: una componente di attrito  $h_f$ , dovuta alla scabrezza di fondo, calcolata per mezzo dell'equazione di Manning, e una

ACEA ELABORI SPA

componente  $h_0$  che rappresenta le perdite dovute a contrazioni ed espansioni della vena fluida, calcolata come frazione del carico cinetico:

$$\Delta H = h_f + h_0 = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2g} \right|$$

con

$\bar{S}_f$ : cadente della linea dei carichi totali;

C : coefficiente di contrazione/espansione

HEC-RAS possiede quattro diverse modalità per la valutazione della cadente media:

1. Trasporto medio valutato tra le sezioni 1,2:  $\bar{S}_f = \frac{(Q_1+Q_2)}{(K_1+K_2)}$  (utilizzata nella presente relazione di calcolo)
2. Media aritmetica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2
3. Media geometrica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni 1,2
4. Media armonica della pendenza d'attrito valutata tra le sezioni

Tramite la formula di Chezy viene infine calcolato il valore delle *conveyance* K (Capacità di deflusso):

$$Q = K S_f^{1/2} \text{ e } K = 1/n A \cdot R^{2/3}$$

Con

K *conveyance* espressa in  $m^3/s$  ;

n coefficiente di scabrezza di *Manning* espressa in  $m^{1/3}/s$  ;

A area relativa al deflusso espressa in  $m^2$  ;

R raggio idraulico espresso in m

Nel caso in esame, ipotizzate le condizioni di moto permanente con portata costante, sono state inserite le sezioni dei tratti di fiume ricavate dal rilievo piano altimetrico.

Le condizioni al contorno assegnate sono quelle proprie di moto permanente, calcolate in automatico dal programma mediante le formule di Manning. Non essendo noto a priori il tipo di corrente che si instaura

ACEA ELABORI SPA

nei tratti oggetto della verifica si sono inseriti i valori di "Normal depth" ovvero della pendenza del fondo del canale sia nella sezione di monte che nella sezione di valle.

Successivamente, dall'analisi dei risultati e in particolare dal valore assunto dal Numero di Froude si può riconoscere se, il regime che si instaura nel particolare tratto di compluvio verificato, è di corrente lenta o di corrente veloce a seconda che il suddetto coefficiente assuma rispettivamente un valore inferiore o superiore all'unità.

## 5.2 Studio idraulico del Fosso Morichella - condizione attuale

La prima fase ha riguardato lo studio idraulico del Fosso nelle condizioni attuali, basato sulle considerazioni di cui ai paragrafi precedenti e del rilievo effettuato.

### 5.2.1 Le portate

La portata viene considerata costante per il tratto considerato. I valori di portata adottati nella simulazione sono quelli relativi ai tempi di ritorno di 30 e 200 anni. Verranno considerati, in definitiva, i due casi così definiti:

Tabella 14 - Portate definite nelle ipotesi di calcolo di HEC-RAS

Nome ipotesi di calcolo	Portata (m <sup>3</sup> /s)	Descrizione
TR 30	27.79	Portata con tempo di ritorno T=30 anni
TR 200	65.43	Portata con tempo di ritorno T=200 anni

### 5.2.2 Coefficiente di scabrezza di Manning

Per il coefficiente di scabrezza di *Manning* è stato adottato un valore cautelativo pari a  $n=0.045$ , tipico di alvei naturali, curvi, con alcune irregolarità, pozze e secche, presenza di vegetazione incolta e pietre.

### 5.2.3 La pendenza di fondo

Per quanto riguarda il valore della pendenza "i" da introdurre nelle condizioni al contorno "Normal depth", si è scelto di adottare la pendenza risultante dal rilievo e pari a  $i=0.0332$  m/m per la sezione di monte e  $i=0.0165$  m/m per la sezione di valle.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalla simulazioni.

### 5.2.4 Risultati del calcolo

Nella seguente tabella riassuntiva si possono desumere le quote raggiunte dalla portata in transito nel corpo idrico Fosso Morichella in corrispondenza delle sezioni oggetto di studio nella condizione attuale.

ACEA ELABORI SPA

Tabella 15- Tabella riassuntiva output di calcolo il Fosso Marichello nella condizione attuale

Sez. n.	Ipotesi di calcolo	Velocità	Sezione bagnata	Portata	Pendenza imposta	Quota pelo libero	Quota fondo canale	Battente idrico	Contorno bagnato	Raggio idraulico	Numero di Froude
		(m/s)	(m <sup>2</sup> )	(m <sup>3</sup> /s)	(m/m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	
59	SCS TR 30	3.35	8.31	27.79	0.033205	190.65	188.81	1.84	11.06	0.75	1.13
59	SCS TR 200	4.08	16.05	65.43	0.033235	191.27	188.81	2.46	15.91	1.01	1.20
58	SCS TR 30	5.64	4.93	27.79	0.113444	188.76	187.60	1.16	7.54	0.65	2.16
58	SCS TR 200	6.19	10.57	65.43	0.077187	189.44	187.60	1.84	10.53	1.00	1.89
57	SCS TR 30	3.97	7.00	27.79	0.046344	188.28	186.69	1.59	9.25	0.76	1.41
57	SCS TR 200	5.31	12.32	65.43	0.054658	188.81	186.69	2.12	11.93	1.03	1.60
56	SCS TR 30	4.76	5.84	27.79	0.068379	186.17	185.11	1.06	7.88	0.74	1.66
56	SCS TR 200	5.67	11.53	65.43	0.053337	186.93	185.11	1.82	9.92	1.16	1.51
55	SCS TR 30	3.03	9.17	27.79	0.019375	185.38	183.63	1.75	9.45	0.97	0.89
55	SCS TR 200	4.81	13.60	65.43	0.037164	185.90	183.63	2.27	11.42	1.19	1.26
54	SCS TR 30	3.46	8.04	27.79	0.025747	184.66	183.02	1.64	8.43	0.95	1.01
54	SCS TR 200	4.16	15.75	65.43	0.023113	185.67	183.02	2.65	14.05	1.12	0.98
53	SCS TR 30	3.62	7.68	27.79	0.049065	183.45	182.17	1.28	12.20	0.63	1.43
53	SCS TR 200	5.30	12.35	65.43	0.076308	183.80	182.17	1.63	15.40	0.80	1.86
52	SCS TR 30	3.55	7.84	27.79	0.035636	181.74	180.53	1.21	10.08	0.78	1.24
52	SCS TR 200	3.97	16.46	65.43	0.026144	182.51	180.53	1.98	14.15	1.16	1.13
51	SCS TR 30	3.43	8.09	27.79	0.039806	180.34	178.63	1.71	11.87	0.68	1.26
51	SCS TR 200	2.57	25.41	65.43	0.008227	181.60	178.63	2.97	17.60	1.44	0.63
50	SCS TR 30	2.10	13.23	27.79	0.010244	180.28	177.87	2.41	14.67	0.90	0.65
50	SCS TR 200	2.10	32.40	65.43	0.004137	181.60	177.87	3.73	21.84	1.48	0.44
49	SCS TR 30	2.34	11.85	27.79	0.014399	180.15	178.11	2.04	14.37	0.82	0.77
49	SCS TR 200	2.05	34.06	65.43	0.003824	181.59	178.11	3.48	23.38	1.46	0.43
48	SCS TR 30	1.47	18.85	27.79	0.003239	180.22	178.02	2.20	14.98	1.26	0.39
48	SCS TR 200	1.64	42.23	65.43	0.001824	181.63	178.02	3.61	21.86	1.93	0.31
47	SCS TR 30	2.02	14.57	27.79	0.005085	180.07	177.16	2.91	12.13	1.20	0.41
47	SCS TR 200	2.90	24.05	65.43	0.007255	181.28	177.16	4.12	14.56	1.65	0.48
46	SCS TR 30	3.59	8.18	27.79	0.025578	179.51	177.06	2.45	10.66	0.77	0.82
46	SCS TR 200	4.72	14.84	65.43	0.030258	180.48	177.06	3.42	12.61	1.18	0.88
45	SCS TR 30	5.06	5.50	27.79	0.070349	178.23	176.71	1.52	6.92	0.79	1.54
45	SCS TR 200	5.69	11.50	65.43	0.056078	179.25	176.71	2.54	10.22	1.12	1.40
44	SCS TR 30	4.82	5.77	27.79	0.055919	177.58	176.02	1.56	6.57	0.88	1.47
44	SCS TR 200	6.10	11.77	65.43	0.056662	178.37	176.02	2.35	20.20	0.58	1.54
43	SCS TR 30	3.71	7.49	27.79	0.027063	177.66	175.88	1.78	7.34	1.02	1.02
43	SCS TR 200	5.85	13.07	65.43	0.047068	178.16	175.88	2.28	20.36	0.64	1.40
42	SCS TR 30	3.94	7.05	27.79	0.045278	177.20	175.49	1.71	9.28	0.76	1.35
42	SCS TR 200	5.30	12.34	65.43	0.057488	177.76	175.49	2.27	12.43	0.99	1.60

## ACEA ELABORI SPA

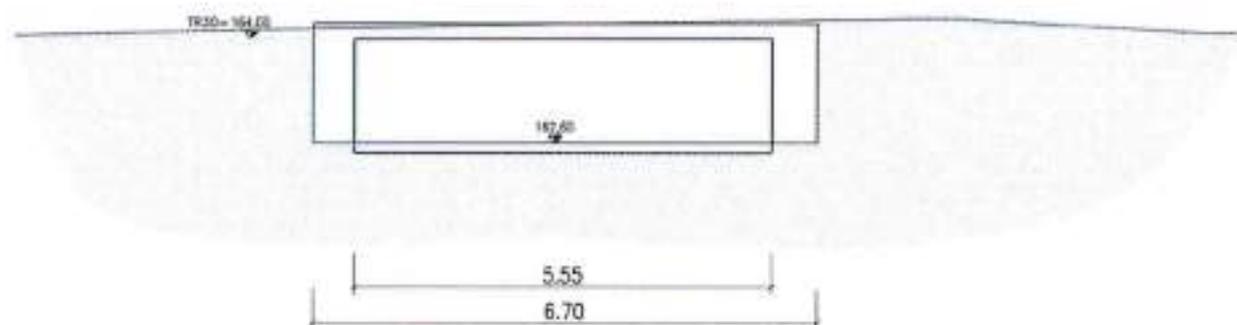
41	SCS TR 30	1.19	23.55	27.79	0.002411	177.63	175.12	2.51	24.70	0.95	0.35
41	SCS TR 200	1.62	41.88	65.43	0.002466	178.40	175.12	3.28	26.52	1.58	0.37
40.1 monte	SCS TR 30	1.75	22.56	27.79	0.001929	177.56	175.12	2.44	47.65	0.47	0.36
40.1 monte	SCS TR 200	1.38	59.82	65.43	0.00079	178.43	175.12	3.31	49.40	1.21	0.24
40.1 valle	SCS TR 30	2.00	19.01	27.79	0.002643	177.46	175.06	2.40	47.48	0.40	0.42
40.1 valle	SCS TR 200	1.33	61.28	65.43	0.000733	178.41	175.06	3.35	49.46	1.24	0.23
40	SCS TR 30	3.72	7.47	27.79	0.029596	176.83	175.19	1.64	7.78	0.96	1.01
40	SCS TR 200	3.51	22.96	65.43	0.014172	177.91	175.19	2.72	24.58	0.93	0.73
39	SCS TR 30	4.61	6.03	27.79	0.051434	176.08	174.58	1.50	6.89	0.88	1.45
39	SCS TR 200	4.60	15.15	65.43	0.026246	177.17	174.58	2.59	13.27	1.14	1.10
38	SCS TR 30	2.66	10.43	27.79	0.013396	176.02	174.50	1.52	10.25	1.02	0.78
38	SCS TR 200	5.14	13.28	65.43	0.040637	176.26	174.50	1.76	19.32	0.69	1.39
37	SCS TR 30	2.50	11.10	27.79	0.01231	175.88	173.88	2.00	10.84	1.02	0.73
37	SCS TR 200	3.41	22.01	65.43	0.016705	176.49	173.88	2.61	32.03	0.69	0.90
36	SCS TR 30	2.56	10.96	27.79	0.015159	175.65	173.60	2.05	18.19	0.60	0.80
36	SCS TR 200	3.69	19.90	65.43	0.02226	176.09	173.60	2.49	34.04	0.58	1.02
35	SCS TR 30	2.00	17.00	27.79	0.006704	175.64	173.43	2.21	33.43	0.51	0.54
35	SCS TR 200	2.36	34.93	65.43	0.005915	176.21	173.43	2.78	34.57	1.01	0.54
34	SCS TR 30	3.23	8.60	27.79	0.025005	175.04	173.15	1.89	9.77	0.88	1.00
34	SCS TR 200	3.02	26.86	65.43	0.011859	175.88	173.15	2.73	34.11	0.79	0.76
33	SCS TR 30	1.97	15.78	27.79	0.008114	174.92	172.74	2.18	21.17	0.75	0.59
33	SCS TR 200	4.04	18.07	65.43	0.032097	175.03	172.74	2.29	31.92	0.57	1.19
32	SCS TR 30	3.13	8.87	27.79	0.02169	174.32	172.31	2.01	9.48	0.94	0.92
32	SCS TR 200	3.10	26.00	65.43	0.012888	175.09	172.31	2.78	32.76	0.79	0.77
31	SCS TR 30	2.79	9.97	27.79	0.014864	174.06	172.08	1.98	9.55	1.04	0.80
31	SCS TR 200	3.34	24.03	65.43	0.013043	174.76	172.08	2.68	29.41	0.82	0.80
30	SCS TR 30	2.66	11.72	27.79	0.01454	173.81	171.83	1.98	19.15	0.61	0.79
30	SCS TR 200	2.89	27.17	65.43	0.012297	174.15	171.83	2.32	30.87	0.88	0.76
29	SCS TR 30	1.72	18.64	27.79	0.005597	173.47	171.57	1.90	30.61	0.61	0.52
29	SCS TR 200	2.08	37.34	65.43	0.004441	174.12	171.57	2.55	31.91	1.17	0.50
28	SCS TR 30	1.51	22.77	27.79	0.003765	173.42	171.27	2.15	32.15	0.71	0.42
28	SCS TR 200	1.84	42.48	65.43	0.003243	174.09	171.27	2.82	33.49	1.27	0.42
27	SCS TR 30	3.25	8.55	27.79	0.024149	172.83	171.03	1.80	9.35	0.91	1.00
27	SCS TR 200	3.18	23.63	65.43	0.012994	173.67	171.03	2.64	29.87	0.79	0.80
26	SCS TR 30	2.73	11.09	27.79	0.013377	172.55	170.47	2.08	14.47	0.77	0.72
26	SCS TR 200	3.77	19.37	65.43	0.019634	173.18	170.47	2.71	18.68	1.04	0.88
25	SCS TR 30	3.53	7.87	27.79	0.026099	171.60	169.85	1.75	8.07	0.98	1.00
25	SCS TR 200	4.28	17.43	65.43	0.026466	172.20	169.85	2.35	18.09	0.96	1.02
24	SCS TR 30	2.42	11.48	27.79	0.012625	171.33	169.45	1.88	12.03	0.95	0.75
24	SCS TR 200	2.83	25.82	65.43	0.008966	172.16	169.45	2.71	23.14	1.12	0.66

## ACEA ELABORI SPA

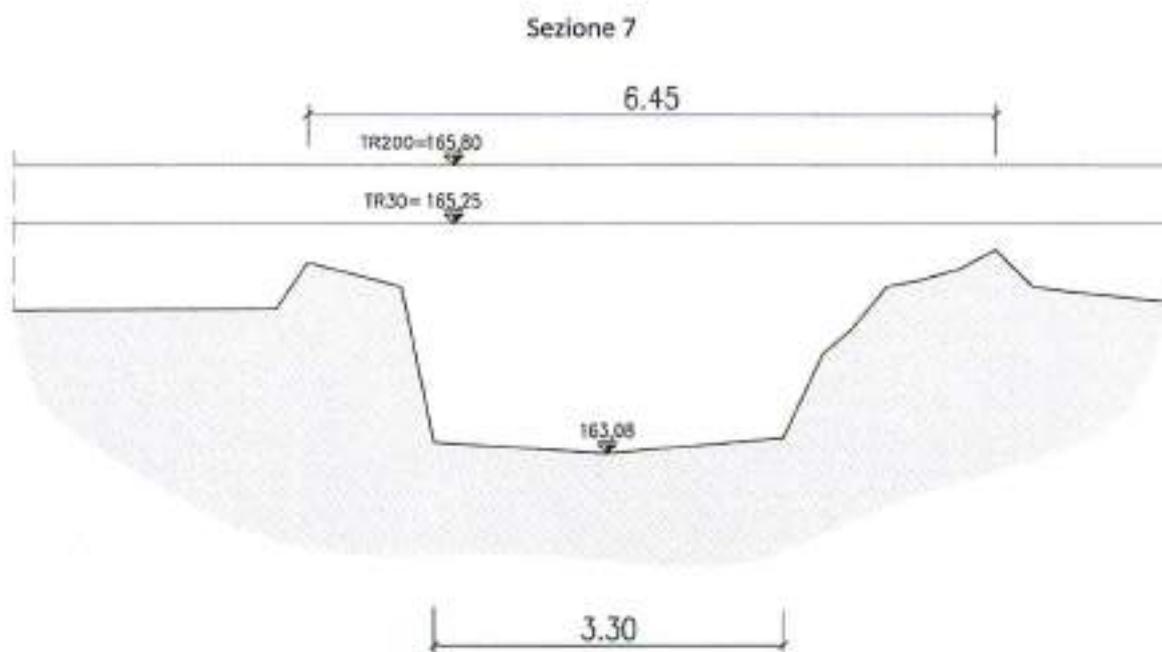
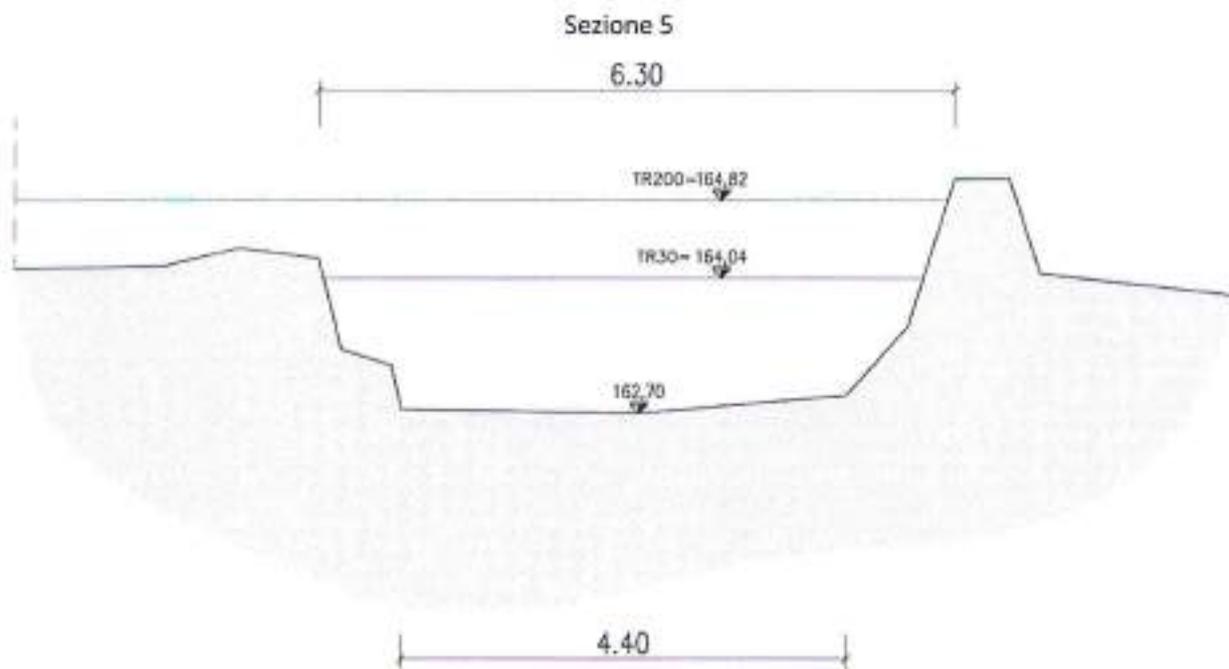
23	SCS TR 30	2.85	9.98	27.79	0.013762	170.87	168.96	1.91	12.18	0.82	0.77
23	SCS TR 200	2.87	26.69	65.43	0.007745	171.96	168.96	3.00	24.31	1.10	0.63
22	SCS TR 30	3.07	9.06	27.79	0.017116	170.31	168.56	1.75	8.37	1.08	0.85
22	SCS TR 200	3.95	17.45	65.43	0.018973	171.14	168.56	2.58	15.05	1.16	0.96
21	SCS TR 30	3.34	8.39	27.79	0.022986	169.88	168.26	1.62	9.48	0.88	0.98
21	SCS TR 200	4.68	15.71	65.43	0.029248	170.46	168.26	2.20	17.86	0.88	1.18
20	SCS TR 30	2.17	15.34	27.79	0.007719	169.59	167.63	1.96	19.90	0.77	0.59
20	SCS TR 200	2.14	37.27	65.43	0.003863	170.47	167.63	2.84	28.42	1.31	0.46
19	SCS TR 30	3.03	10.34	27.79	0.016313	168.78	166.89	1.89	13.74	0.75	0.77
19	SCS TR 200	4.12	17.64	65.43	0.021109	169.45	166.89	2.56	15.08	1.17	0.88
18	SCS TR 30	2.96	9.38	27.79	0.016568	168.12	166.20	1.92	8.90	1.05	0.83
18	SCS TR 200	3.22	22.80	65.43	0.015009	168.96	166.20	2.76	25.55	0.89	0.84
17	SCS TR 30	2.63	12.61	27.79	0.010249	167.83	165.48	2.35	17.51	0.72	0.61
17	SCS TR 200	3.12	24.94	65.43	0.00899	168.65	165.48	3.17	19.64	1.27	0.61
16	SCS TR 30	3.76	7.39	27.79	0.028324	167.06	165.17	1.89	7.40	1.00	1.00
16	SCS TR 200	3.98	18.59	65.43	0.018702	168.06	165.17	2.89	16.16	1.15	0.81
15	SCS TR 30	1.97	17.97	27.79	0.00675	167.16	164.97	2.19	27.98	0.64	0.53
15	SCS TR 200	5.49	15.24	65.43	0.058156	167.05	164.97	2.08	27.76	0.55	1.53
14	SCS TR 30	1.99	16.81	27.79	0.006327	167.04	164.64	2.40	23.77	0.71	0.51
14	SCS TR 200	3.41	22.95	65.43	0.014775	167.34	164.64	2.70	24.37	0.94	0.80
13	SCS TR 30	3.53	7.88	27.79	0.026683	166.32	164.41	1.91	8.22	0.96	1.01
13	SCS TR 200	3.30	24.54	65.43	0.013969	167.11	164.41	2.70	28.18	0.87	0.79
12	SCS TR 30	2.65	12.02	27.79	0.023857	166.21	164.22	1.99	24.50	0.49	0.94
12	SCS TR 200	4.44	17.01	65.43	0.050839	166.40	164.22	2.18	32.77	0.52	1.45
11	SCS TR 30	1.48	24.36	27.79	0.004151	166.29	164.10	2.19	39.78	0.61	0.40
11	SCS TR 200	1.58	48.86	65.43	0.002773	166.97	164.10	2.87	41.15	1.19	0.35
10	SCS TR 30	2.72	12.73	27.79	0.012751	165.94	163.93	2.01	22.59	0.56	0.66
10	SCS TR 200	3.66	22.17	65.43	0.016512	166.44	163.93	2.51	23.58	0.94	0.78
9	SCS TR 30	1.78	19.93	27.79	0.006214	165.51	163.60	1.91	29.94	0.67	0.45
9	SCS TR 200	2.30	32.69	65.43	0.007339	165.98	163.60	2.38	30.89	1.06	0.50
8	SCS TR 30	2.16	17.40	27.79	0.008446	165.39	163.44	1.95	28.48	0.61	0.53
8	SCS TR 200	2.85	28.24	65.43	0.010902	165.82	163.44	2.38	29.34	0.96	0.62
7	SCS TR 30	1.95	20.56	27.79	0.006839	165.25	163.08	2.17	45.25	0.45	0.52
7	SCS TR 200	1.94	43.98	65.43	0.004412	165.80	163.08	2.72	46.35	0.95	0.44
6	SCS TR 30	3.57	7.79	27.79	0.027963	164.46	162.77	1.69	8.27	0.94	1.00
6	SCS TR 200	3.12	28.10	65.43	0.011399	165.41	162.77	2.64	37.20	0.76	0.68
5	SCS TR 30	4.09	6.79	27.79	0.03891	164.04	162.70	1.34	7.53	0.90	1.22
5	SCS TR 200	4.37	17.98	65.43	0.027946	164.82	162.70	2.12	22.57	0.80	1.07
4,1 monte	SCS TR 30	4.61	6.03	27.79	0.026476	164.00	162.54	1.46	7.71	0.78	1.41
4,1 monte	SCS TR 200	5.29	18.27	65.43	0.021398	164.80	162.54	2.26	56.41	0.32	1.27

ACEA ELABORI SPA

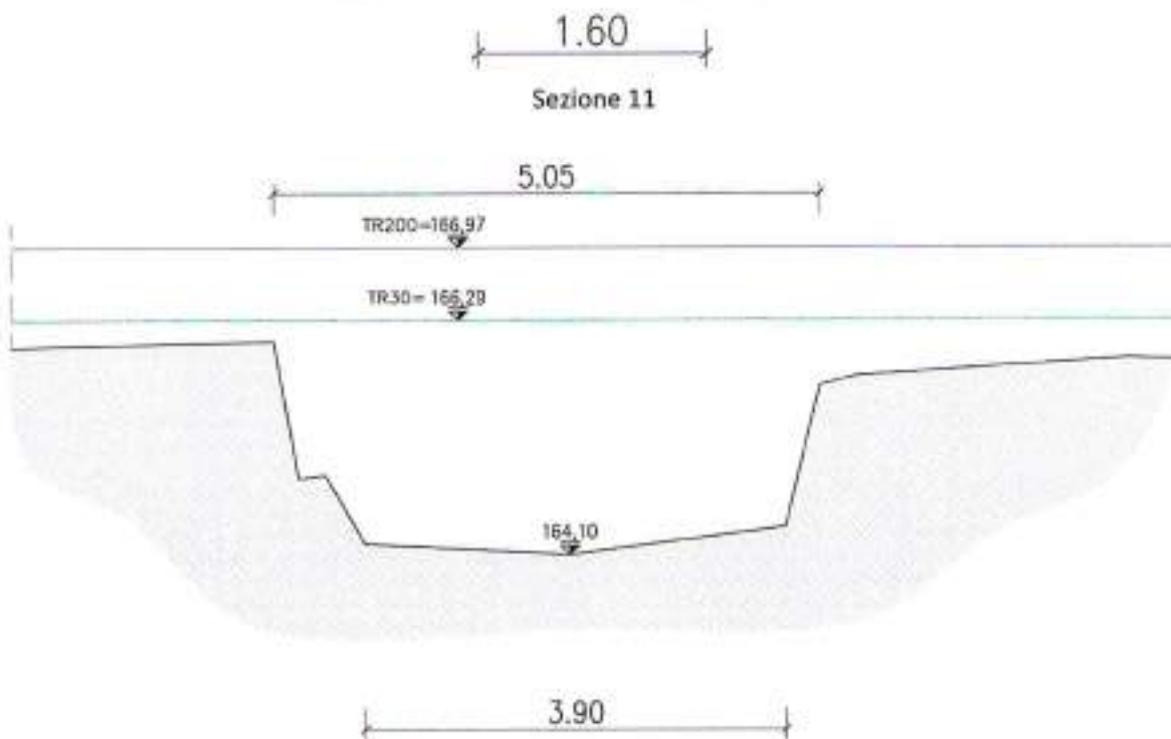
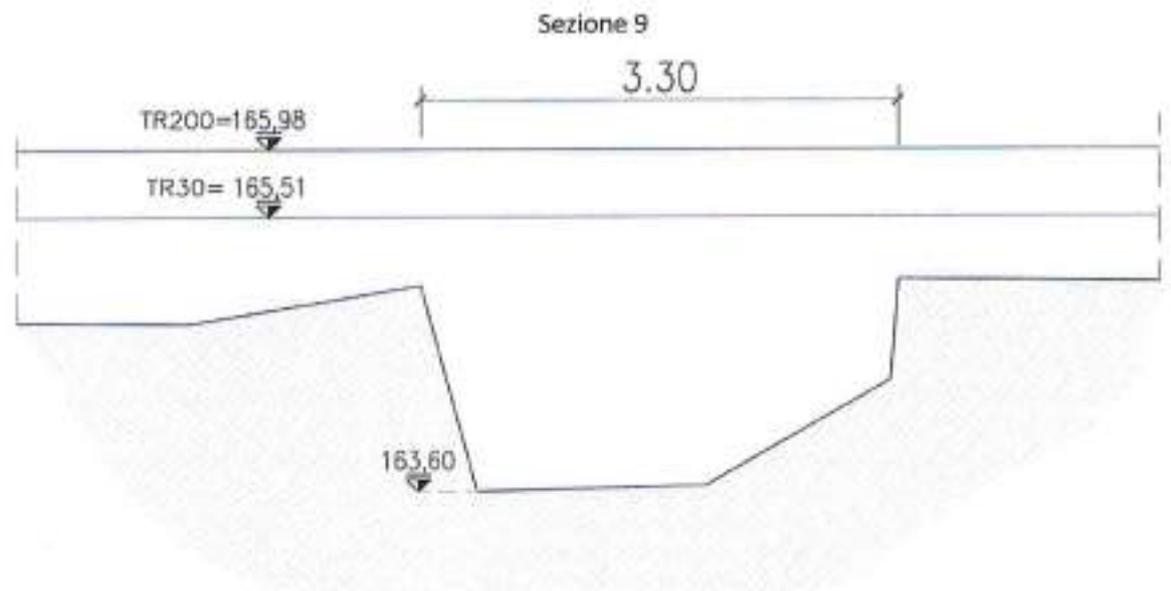
4.1 valle	SCS TR 30	3.67	7.56	27.79	0.013673	164.00	162.34	1.66	8.27	0.92	1.00
4.1 valle	SCS TR 200	1.83	49.35	65.43	0.001749	164.71	162.34	2.37	57.59	0.86	0.38
4	SCS TR 30	6.18	4.82	27.79	0.117497	162.36	161.41	0.95	8.44	0.57	2.15
4	SCS TR 200	4.70	14.90	65.43	0.025381	163.69	161.41	2.28	11.10	1.34	1.02
3	SCS TR 30	5.36	6.30	27.79	0.088437	162.10	161.17	0.93	25.29	0.25	1.90
3	SCS TR 200	7.18	12.23	65.43	0.11216	162.35	161.17	1.18	25.77	0.47	2.23
2	SCS TR 30	4.41	8.35	27.79	0.06287	162.16	161.10	1.06	25.07	0.33	1.59
2	SCS TR 200	2.16	35.76	65.43	0.004567	163.29	161.10	2.19	27.34	1.31	0.50
1	SCS TR 30	2.94	11.65	27.79	0.016503	162.20	160.93	1.27	16.57	0.70	0.87
1	SCS TR 200	3.86	20.33	65.43	0.016512	162.80	160.93	1.87	17.75	1.15	0.93

**Sezione 4.1**


ACEA ELABORI SPA

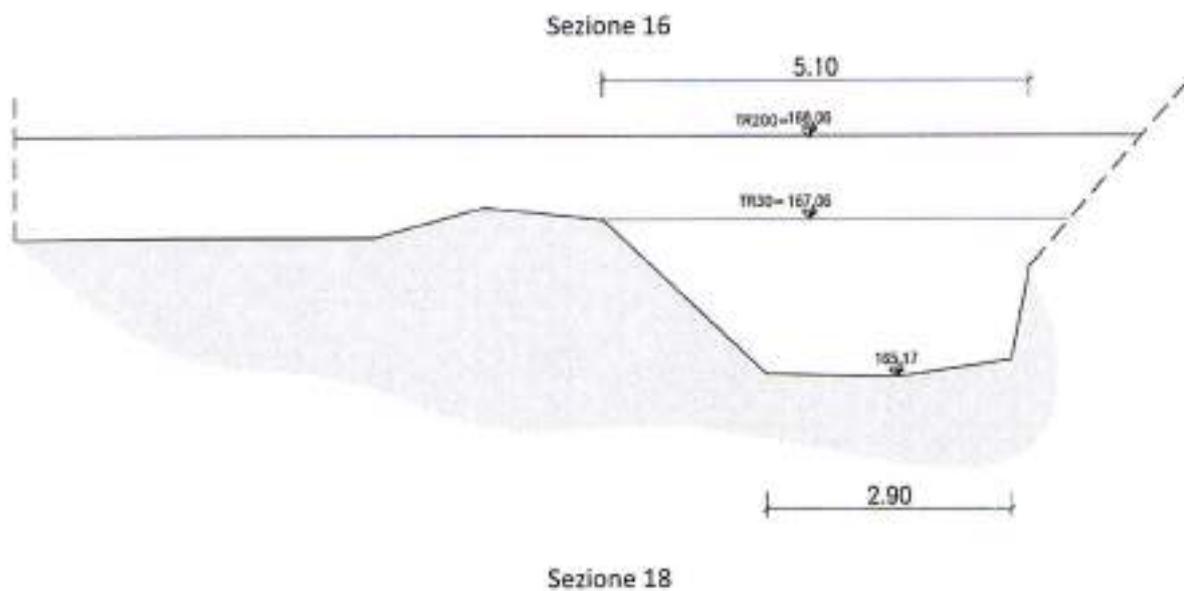
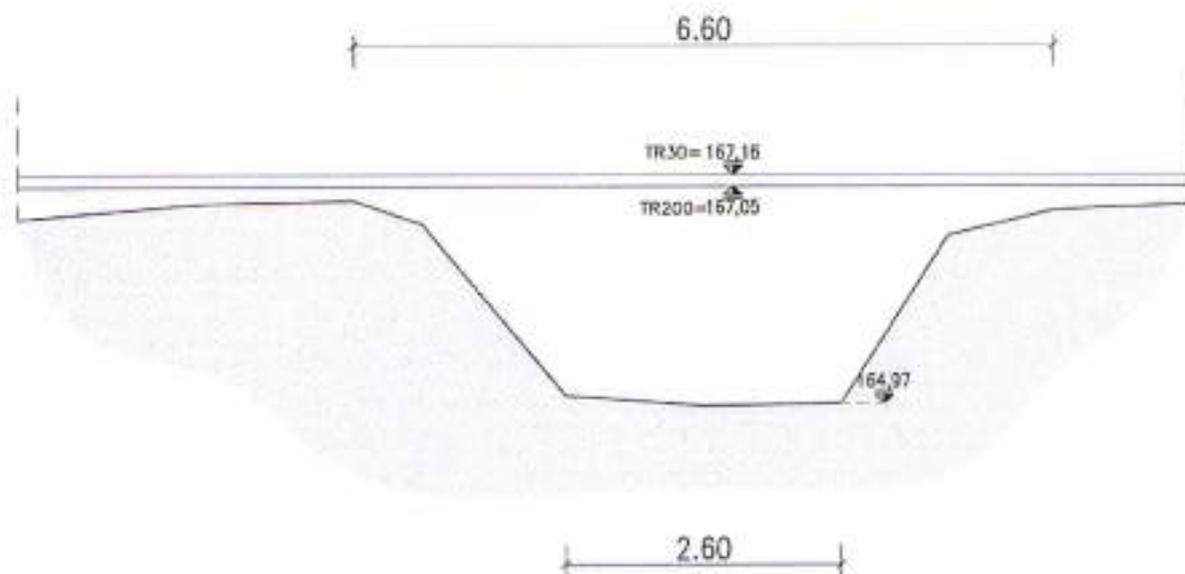


ACEA ELABORI SPA



Sezione 15

ACEA ELABORI SPA



ACEA ELABORI SPA

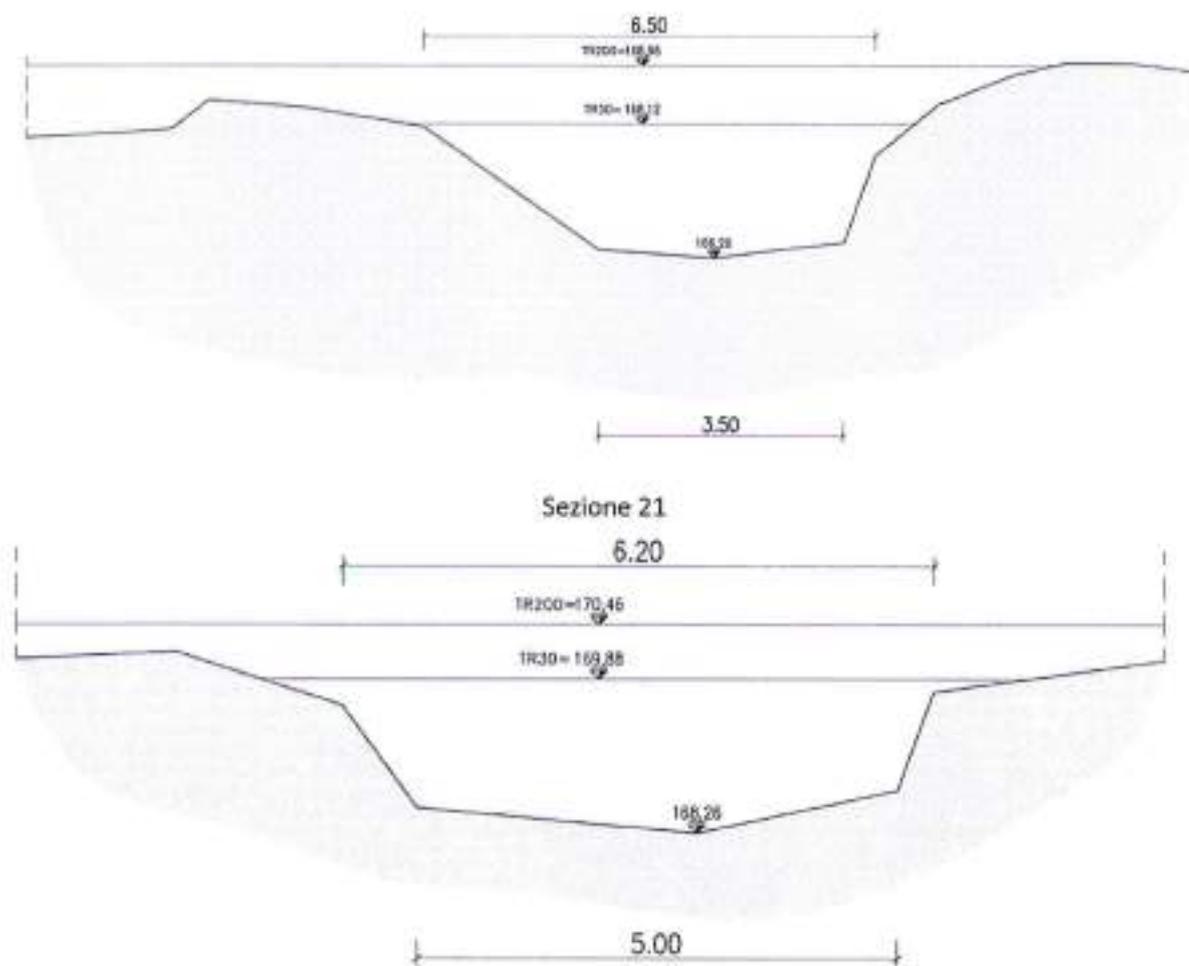


Figura 13 - Sezione di verifica sezioni nel Fosso Morichella - Portata al tempo di ritorno T=30 e 200 anni

Dalla verifica svolta emerge quanto segue:

- Il Fosso Morichella presenta evidenti problemi di tracimazione per la maggior parte delle sezioni, in alcuni casi anche con tempi di ritorno di 30 anni, in particolare per le sezioni più a valle.