



OGGETTO:

SERVIZIO TECNICO DI INGEGNERIA ED ARCHITETTURA PER PROGETTAZIONE DEFINITIVA ED ESECUTIVA, DIREZIONE LAVORI, COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ED ESECUZIONE RELATIVO ALL'INTERVENTO DI "LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 DI MONTEGONZI, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA".
CUP I37H21005400001 – CIG 8981078C03

PROGETTISTA ARCHITETTONICO

Arch. Laura Bonora

DIRETTORE TECNICO

Ing. Giuseppe Caruso

PROGETTISTA STRUTTURALE

Ing. Sergio Lagrotteria

PROGETTAZIONE

AZ SRL
SOCIETÀ DI
INGEGNERIA

AZ S.r.l. Consulting & Commercial Engineering

Sede Legale e Operativa:

Via Zucchini 61, 44122 Ferrara

C.F. e Partita IVA 03243310285

Tel / Fax 0532-769188

info@azec.it - www.azec.it

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO : RELAZIONE IDRAULICA

Rev	Data	Descrizione	Redatto	Verificato	Approvato	Codice Commessa
03						01/2022
02						Elaborato
01	MARZO 2024	AGGIORNAMENTO	L.A.	L.B.	G.C.	DEF-IDR-REL-01
00	APRILE 2023	PRIMA EMISSIONE	L.A.	L.B.	G.C.	Scala -

WBS
00

FASE
DEF

SETTORE
IDR

TE
REL

NOME FILE

SP15-16-DEF-IDR-REL-0101-RELAZIONE IDRAULICA

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

Sommario

Sommario	1
1 PREMESSA.....	1
1.1 Descrizione dell’opera esistente	2
1.2 Descrizione sommaria dell’intervento	3
2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
3 ANALISI IDROLOGICA.....	4
3.1 Carta della pericolosità idraulica.....	4
3.2 Caratteristiche climatiche	6
3.3 Inquadramento idraulico	7
3.3.1 Coefficienti di deflusso	8
3.4 Analisi statistica dei dati pluviometrici	11
3.4.1 Dati pluviometrici	11
3.4.2 Elaborazione curve di possibilità pluviometrica	12
3.4.3 Caratterizzazione geomorfologica dell’asta principale.....	16
3.4.4 Tempo di corrivazione	17
3.4.5 Modello afflussi-deflussi e portate di progetto	17
4 VERIFICHE IDRAULICHE.....	18
4.1 Capacità di deflusso a monte del manufatto	19
4.1.1 Verifica del franco idraulico	20
5 CONCLUSIONI	21

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

1 PREMESSA

La presente relazione, redatta nel rispetto del §5.1.2.3 delle NTC18, ha come obiettivo lo studio di compatibilità idraulica relativo ai “Lavori di manutenzione straordinaria di ripristino del ponte sulla S.P.15 di Montegonzi, km. 0+750, località Cammenata, Comune di Cavriglia”.

La relazione idraulica risulta necessaria per l’ottenimento della concessione idraulica ai sensi del R.D. n.523/1904 e della L.R. n.80/2015, in quanto il Borro della pozza dei diavoli è presente nel reticolo idrografico di cui alla L.R. 79/2012.

Il ponte è individuabile nel foglio 0055 del catasto e attraversa il borro denominato “Borro di Cammenata”.

Nella seguente figura si riporta una vista satellitare del ponte.



Figura 1 - Vista satellitare.

Nella seguente tabella si sintetizzano i dati necessari all’individuazione dell’opera.

DATI DELL'OPERA			
Denominazione:	Ponte sulla SP 15 Montegonzi, km 0+750		
Tipologia:	Arco monocalciata in muratura di mattoni pieni		
Provincia	Arezzo		
Strada	Strada Provinciale 15		
Ubicazione:	km 0+750		
Regione:	Toscana	Codice Istat	09
Provincia:	Arezzo		051
Comune:	Cavriglia		051013
Coordinate geografiche:	43°30'42.6" N 43.51184 N	11°29'45.0" E 11.49582 E	
Fuso:	UTC +1:00 (Europe/Paris) Ora legale: UTC +2:00 Ora solare: UTC +1:00		

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

Tabella 1 - Anagrafica dell'opera d'arte

Si provvede pertanto alla verifica degli interventi previsti per il manufatto stradale in oggetto nella situazione ante e post operam, previa analisi idrologica per la stima della portata transitante da una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni.

1.1 Descrizione dell'opera esistente

Tramite il sopralluogo effettuato in data 18/01/2022, si è ottenuto il rilievo del ponte in oggetto, mettendo in luce le criticità strutturali e le condizioni di degrado a cui è soggetto. Lo stato di conservazione del manufatto è scarso e sono stati osservati i seguenti difetti:

- Distacco di alcuni mattoni all'intradosso della volta
- Allentamento della maglia muraria dei muri d'ala
- Presenza di vegetazione sui muri d'ala
- Presenza di infiltrazioni e muffe
- Parapetto dissestato e rimaneggiato
- Pavimentazione stradale dissestata

In generale si ritiene che il ponte in oggetto versi in condizioni di degrado che ne compromettano la fruizione e la funzionalità: è necessario quindi progettare interventi di consolidamento del manufatto.

Le seguenti immagini mostrano la geometria e le condizioni del ponte in esame nonché dell'alveo.



Figura 2 - Vista del ponte da est

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------



Figura 3 - Vista del ponte da ovest

Il manufatto attraversa il corso d'acqua esistente, il Borro della Pozza dei Diavoli, ed ha un andamento rettilineo con curve di raccordo in ingresso e in uscita. La struttura è a singola campata con una volta a botte con arco d'imposta a tutto sesto avente luce pari a circa 5.80 metri e larghezza di circa 5.50 metri. L'altezza della chiave di volta si colloca a 3.30 metri rispetto l'alveo e i piedritti hanno altezza di 2.00 metri. L'arco è in muratura in mattoni pieni. La struttura verticale del ponte è data dalla presenza di spalle e muri andatori realizzati in muratura in blocchi di pietra. La strada è realizzata in manto bituminoso e la larghezza della carreggiata è di 5.00 metri. I cordoli sui quali sono ancorate le barriere stradali misurano circa 0.30 m di larghezza.

1.2 Descrizione sommaria dell'intervento

La progettazione degli interventi ha l'obiettivo di consolidare staticamente il manufatto e migliorarlo dal punto di vista funzionale. Essa deve ripristinare le condizioni originarie dell'opera e incrementarne il livello di sicurezza.

Gli interventi riguarderanno la tessitura muraria, l'allargamento della carreggiata con la progettazione di una passerella pedonale, il rifacimento dei parapetti e la sostituzione delle barriere stradali, rimandando alle tavole di progetto per la trattazione completa.

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Per la redazione della presente relazione sono state considerate le normative tecniche di seguito elencate:

- DM 17 gennaio 2018: Norme tecniche per le costruzioni (nel seguito indicate come NTC18);
- Circolare 21 gennaio 2019 n. 7, Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17 gennaio 2018 (nel seguito indicate come CNTC19);
- Legge regionale 27 dicembre 2012 n. 79 "Nuova disciplina in materia di consorzi di bonifica. Modifiche alla l.r. 69/2008 e alla l.r. 91/1998. Abrogazione della l.r. 34/1994";

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

- Legge regionale 24 luglio 2018 n. 41 “Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d’acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014”.

3 ANALISI IDROLOGICA

Il ponte in esame consente l’attraversamento del Borro della Pozza dei Diavoli e, ai fini della compatibilità idraulica, si provvede all’analisi idrologica del bacino idrografico del torrente chiuso in corrispondenza del manufatto in oggetto. I dati utilizzati per tali analisi fanno riferimento alla stazione pluviometrica di rilevamento situata a Radda in Chianti (Settore Idrologico e Geologico Regionale, codice stazione TOS01001284, dati archivio storico).

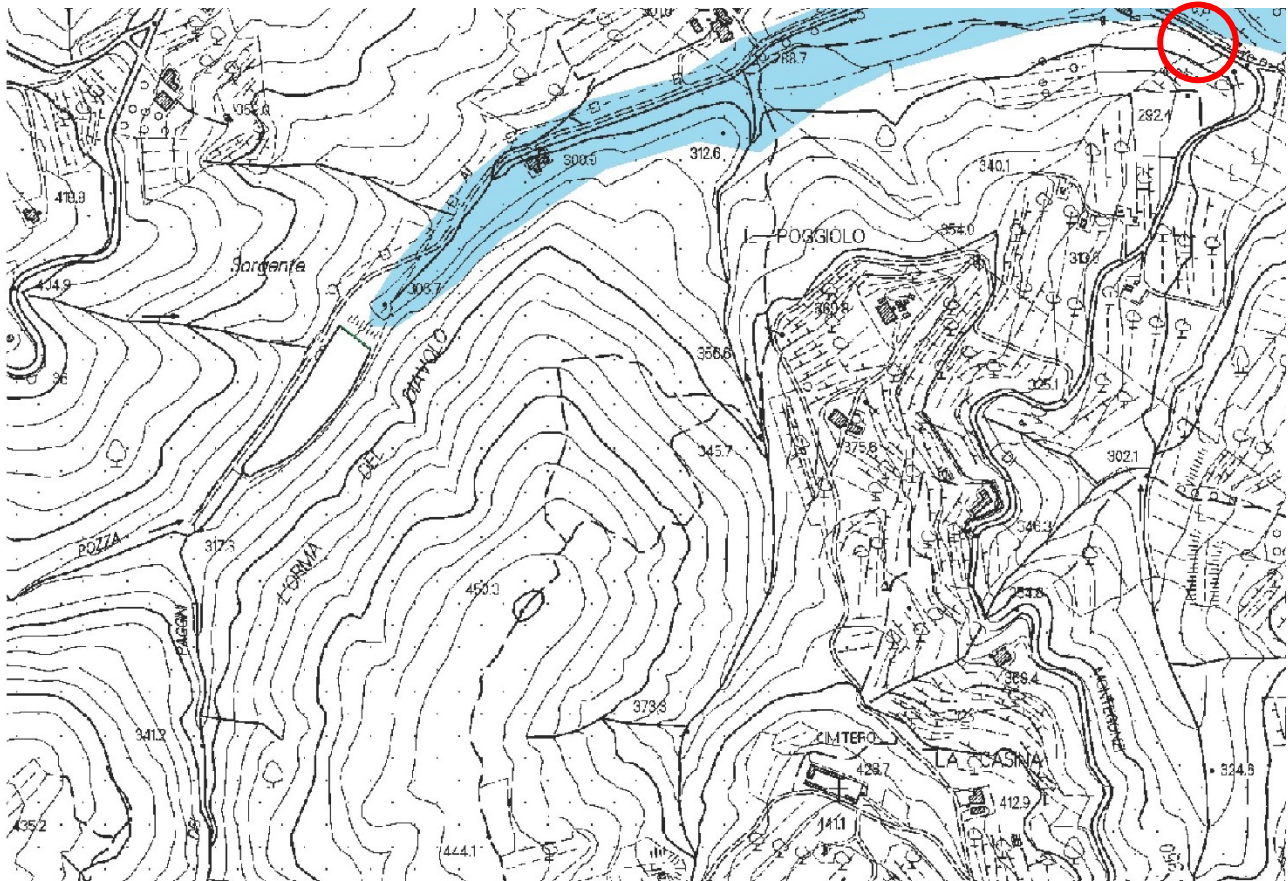
Per tenere conto del livello di urbanizzazione, sono state perimetrate le aree urbanizzate e quelle a verde basandosi su recenti ortofoto e, tenendo in considerazione la classe litologica media affiorante ed i valori riportati in letteratura (DA DEPO, DATEI, SALANDIN, 2014. *Sistemazione dei corsi d’acqua*), sono stati attribuiti specifici coefficienti di deflusso. Viene infine stimata la portata transitante dalla piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno T_r pari a 200 anni e verificato il franco idraulico.

3.1 Carta della pericolosità idraulica

L’area di interesse è soggetta a basso rischio idraulico, con un tempo di ritorno di alluvioni superiore ai 200 anni sia lungo il Borro della Pozza dei Diavoli, sia in prossimità del ponte soggetto ad intervento.

Si riporta di seguito un estratto della carta delle aree a pericolosità per alluvioni:

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------



Legenda

- P11: Pericolosità da alluvione bassa TR>200anni
- P12: Pericolosità da alluvione media 30<TR<200 anni
- P13: Pericolosità da alluvioni elevata TR<=30 anni
- Confini comunali

Figura 4 - Estratto della Carta delle aree a pericolosità per alluvioni

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.2 Caratteristiche climatiche

Nel comune di Caviglia la probabilità giornaliera delle precipitazioni è pressoché costante lungo tutto l'arco dell'anno, ad eccezione del periodo estivo (con valori di poco oltre il 10% ad agosto), dei mesi autunnali (con valori oltre il 30% a novembre) e di aprile (con valori di poco superiori al 30%). I mesi con minore pioggia cumulata sono luglio ed agosto. Le temperature più rigide si hanno nei mesi di dicembre e gennaio, durante i quali sono possibili anche nevicate. Si riportano di seguito dei grafici con le probabilità giornaliere di pioggia a Caviglia, le temperature massime e minime medie rilevate e le precipitazioni mensili medie.

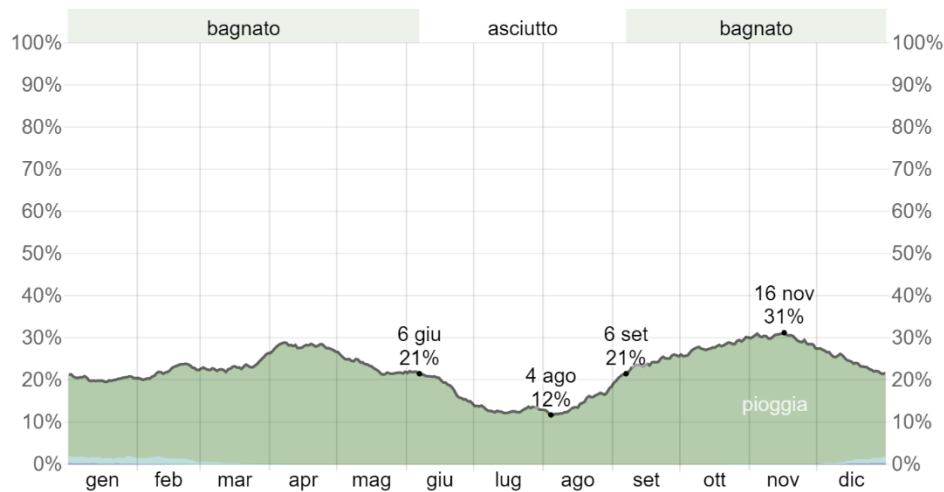


Figura 5 - Probabilità giornaliera di pioggia a Caviglia

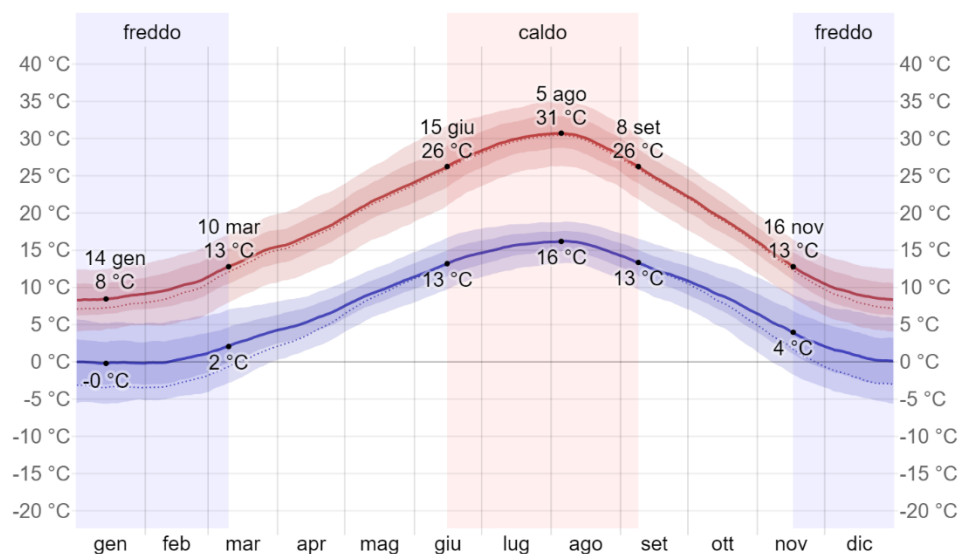


Figura 6 - Temperatura massima e media a Caviglia

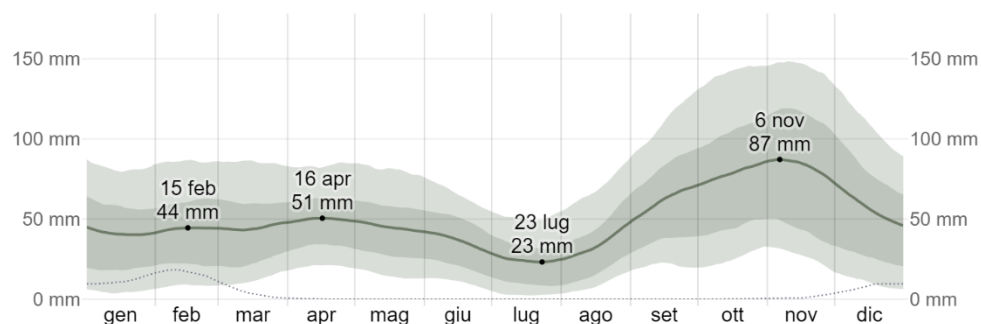


Figura 7 - Precipitazioni mensili medie a Caviglia

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.3 Inquadramento idraulico

Il ramo principale del Borro della Pozza dei Diavoli ottiene il proprio volume d'acqua principalmente dalla diga presente a circa 1km a monte e da svariati fossati di raccolta, che si diramano attraverso la maglia delle colture seminative presenti. Negli impluvi, dove la morfologia del territorio ha quindi negato lo sviluppo dell'agricoltura, i gruppi arborei hanno potuto crescere indisturbati e compatti, raggiungendo localmente le parti più elevate del complesso collinare, dando luogo ad un'importante rete di corridoi ecologici.



Regione Toscana

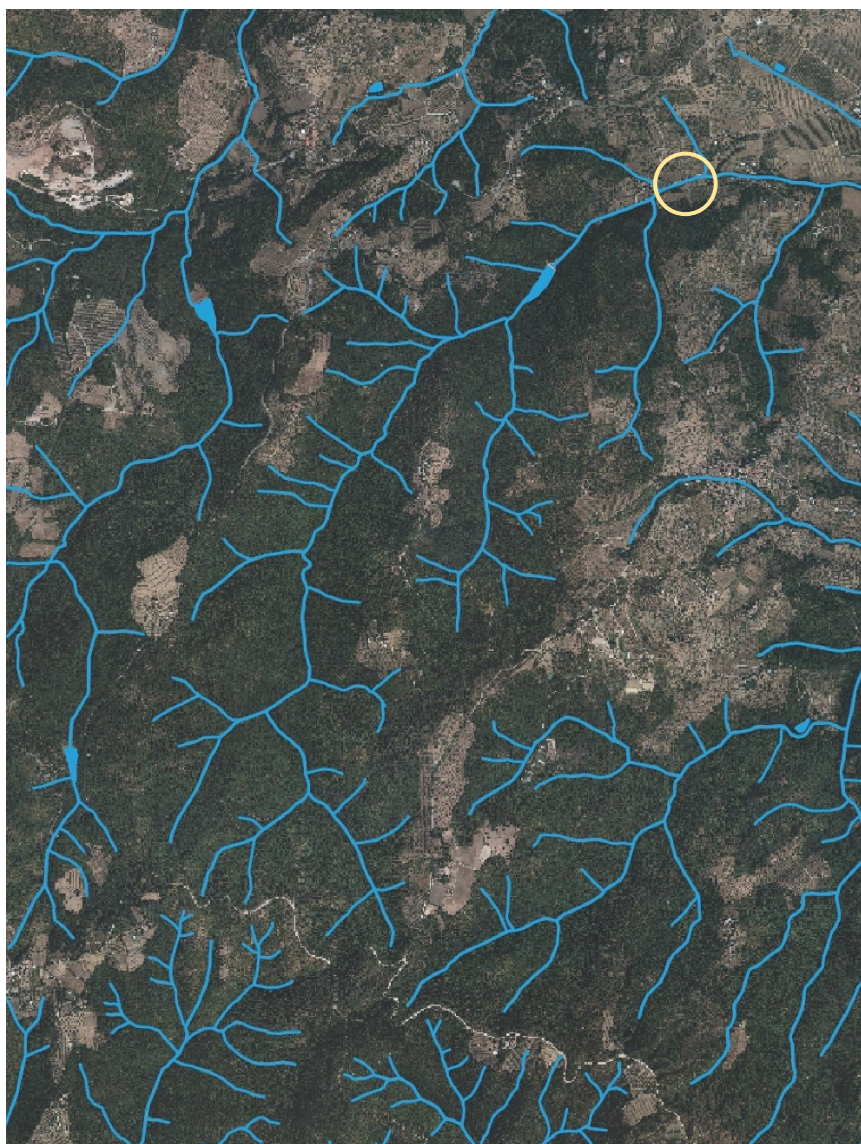


Figura 8 - Reticolo idraulico del Borro della Pozza dei Diavoli

Dai rilievi fotografici, si segnala la limitata capacità di deflusso della rete superficiale a valle ed a monte del ponte dovuto alla presenza sulle sponde di arbusti.

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.3.1 Coefficienti di deflusso

Il bacino del Borro della Pozza dei Diavoli copre una grande area coperta per lo più dai boschi e da superfici a bassa densità di antropizzazione. Per tenere conto del livello di urbanizzazione, sono state perimetrate le aree urbanizzate, quelle a verde/uso agricolo e quelle boschive basandosi su recenti ortofoto ed impiegando tutti i dati reperibili sul sito istituzionale della Regione Toscana. Si riporta di seguito l'intera area del bacino oggetto di studio fino alla sezione di chiusura, ovvero il ponte al km 0+750.



Regione Toscana

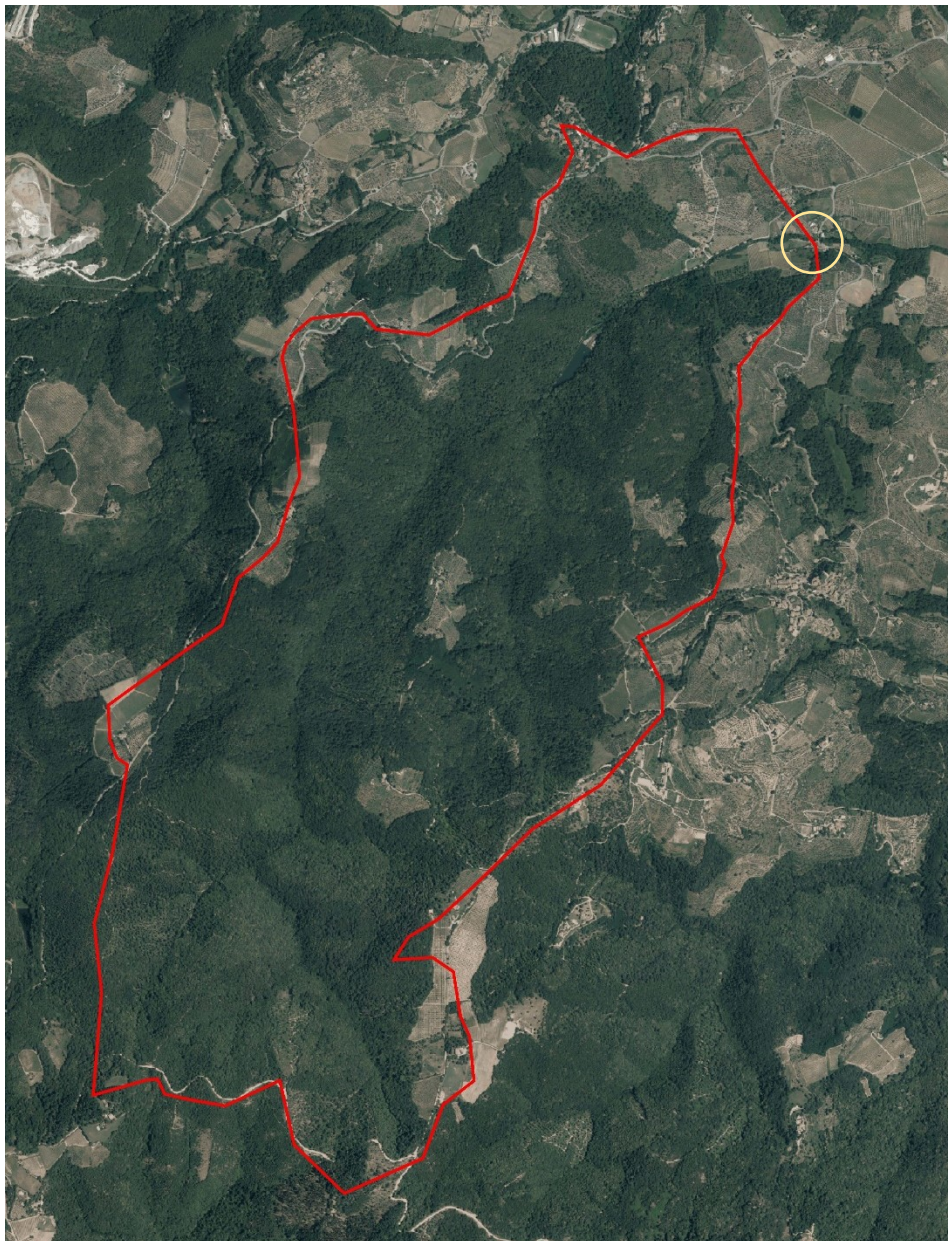


Figura 9 - Delimitazione del bacino del Borro della Pozza dei Diavoli

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

Si riporta di seguito la suddivisione finale per macro-voci delle superfici adottate nei calcoli.

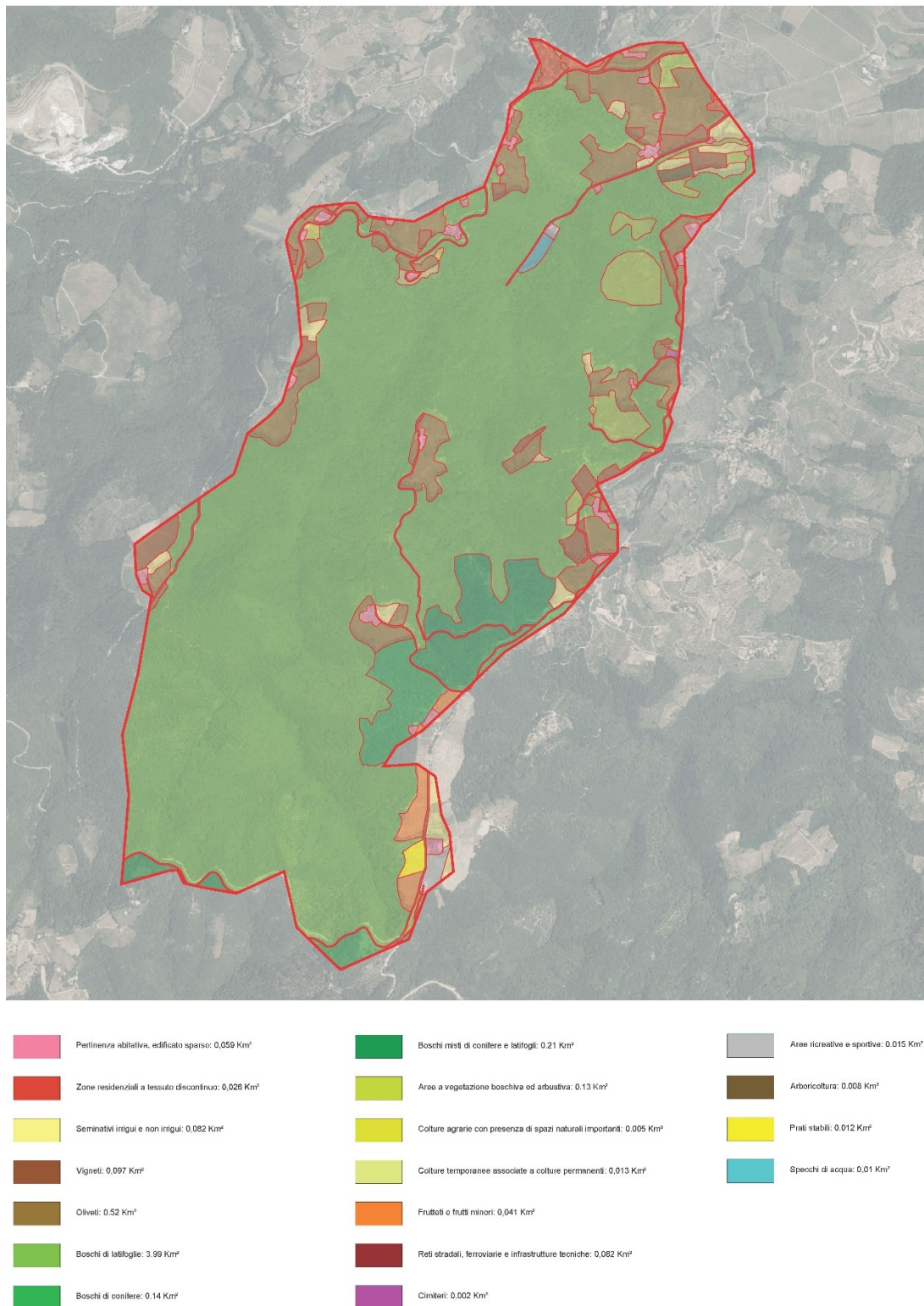


Figura 10 – Suddivisione in aree del bacino del Borro della Pozza dei Diavoli

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

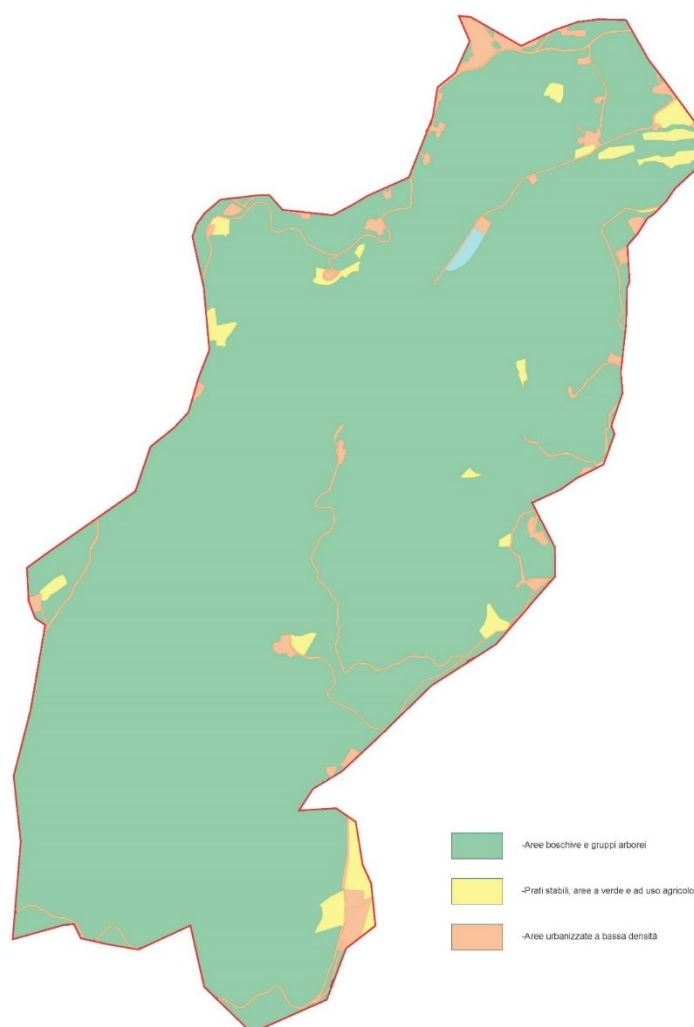


Figura 11 - Suddivisione delle aree urbanizzate, boschive ed a prato/colture

Per simulare la differente risposta dei terreni, da quelli boschivi a quelli che hanno subito una più o meno marcata impermeabilizzazione a causa dell'urbanizzazione, e tenuta altresì in considerazione la classe litologica media affiorante, sono stati attribuiti alle diverse aree i seguenti coefficienti di deflusso, reperibili in letteratura (DA DEPO, DATEI, SALANDIN, 2014. *Sistemazione dei corsi d'acqua*):

Aree boschive e gruppi arborei:	$\phi=0.25$
Prati stabili, aree a verde e ad uso agricolo:	$\phi=0.20$
Aree urbanizzate a bassa densità:	$\phi=0.90$

Si riporta di seguito il calcolo del coefficiente medio di deflusso, quantificato mediante media pesata in base alle frazioni d'area occupata dalle diverse tipologie di coperture del suolo.

Calcolo del coefficiente di deflusso medio nell'ambito di bacino				ϕ
Aree edificate e strade	[km ²]	0.184	3.39%	0.90
Aree boschive e gruppi arborei	[km ²]	5.124	94.54%	0.25
Prati stabili, aree a verde e ad uso agricolo	[km ²]	0.112	2.07%	0.20
Superficie totale del bacino	S [km ²]	5.420	100.00%	0.271

Il coefficiente di deflusso medio risulta essere pari a 0.271.

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.4 Analisi statistica dei dati pluviometrici

3.4.1 Dati pluviometrici

I dati di pioggia di seguito riportati sono stati oggetto di una specifica operazione di validazione, mirata ad individuare la presenza di valori palesemente inaffidabili sulla base dell'esperienza fisica ed idrologica. Sulla base di tali studi, con un controllo incrociato tra consistenza dei dati disponibili, funzionamento complessivo della stazione nell'arco dei singoli anni ed importanza relativa di eventuali periodi di inattività, la Regione Toscana ha provveduto ad eliminare i dati non affidabili.

La stazione pluviometrica in prossimità del bacino in oggetto è situata presso Radda in Chianti: si riportano di seguito la localizzazione ed i dati pluviometrici rilevati superiori all'ora.

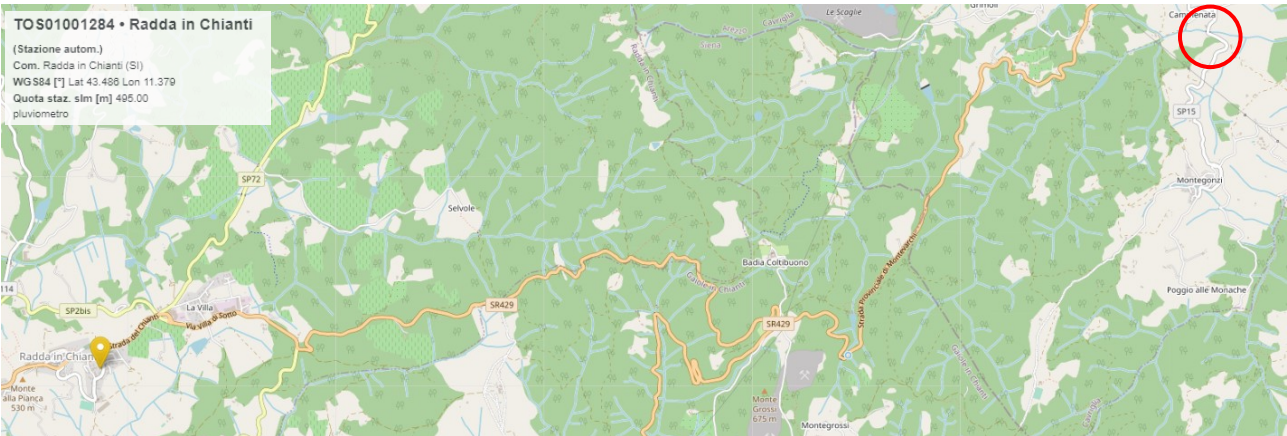


Figura 12 - Ubicazione della stazione pluviometrica di Radda in Chianti ed il reticolo idrografico generale

DATI PLUVIOMETRICI - EVENTI DI PRECIPITAZIONE SUPERIORI ALL'ORA						
n. anni	Anno	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1	2001	64.80	65.00	65.00	65.00	65.00
2	2002	19.60	25.00	31.40	32.00	47.80
3	2003	33.40	34.80	35.80	39.00	46.80
4	2004	32.40	39.00	39.00	47.80	52.20
5	2005	62.40	87.40	88.40	90.20	100.00
6	2006	16.00	31.20	49.40	83.00	103.40
7	2007	15.60	21.40	29.80	39.40	52.80
8	2008	13.00	19.80	26.40	33.20	38.00
9	2009	28.80	30.20	38.20	38.40	41.40
10	2010	25.80	29.80	44.40	47.40	47.80
11	2011	72.20	78.00	78.00	78.00	78.00
12	2012	72.20	100.20	103.20	103.20	103.20
13	2013	30.80	31.20	38.80	58.00	59.80
14	2014	19.40	38.60	39.20	48.20	61.40
15	2015	23.20	34.60	40.80	47.40	60.80
16	2017	34.80	61.40	61.60	61.60	70.20

Tabella 2 - Precipitazioni rilevate presso la Stazione di Radda in Chianti

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.4.2 Elaborazione curve di possibilità pluviometrica

La disponibilità di registrazioni per la stazione di Radda in Chianti per un arco di tempo compreso tra il 2001 ed il 2017 rende possibile l'analisi separata dei campioni di misura relativi. Per la stazione in esame sono stati elaborati statisticamente i valori delle massime precipitazioni annue relative alle serie di durata compresa fra 1 e 24 ore. Data quindi una serie storica di eventi di precipitazione (misurati in mm), è possibile estrarre da questa popolazione un campione di massimi annuali ed elaborarli con mezzi statistici al fine di trovare un'altezza di precipitazione di riferimento che segni la soglia di progetto entro cui il sistema non sarà più in sicurezza.

Per far questo si procede prendendo la serie di dati, divisa per durate diverse di precipitazione (1, 3, 6, 12, 24 ore), disponendoli in ordine cronologico e selezionando i massimi annuali. Tali valori, per ogni durata, verranno caratterizzati con un valore di frequenza cumulata di non superamento (F_k) attraverso la distribuzione di Weibull (Weibull plotting position):

$$F_k = \frac{K}{M + 1}$$

Dove:

- K è l'indice di posizione dell'evento preso in considerazione;
- M è la numerosità del campione;
- $M+1$: si somma 1 per evitare che il massimo valore del campione sia caratterizzato da una probabilità unitaria di non superamento, cioè che il valore massimo non possa essere mai superato.

Avendo caratterizzato ogni valore di precipitazione (massimo annuale appartenente al campione di ampiezza M) col suo valore di frequenza, si prosegue cercando il valore di h di progetto per la durata a cui ci si sta riferendo per un determinato tempo di ritorno assegnato. Il tempo di ritorno è definito come il numero di anni che mediamente trascorrono tra un eccedimento e quello successivo di un valore prestabilito (altezza di precipitazione di progetto), quindi la media pesata (con le probabilità) degli eccedimenti, ed è definito così:

$$Tr(h) = \mu_n = \sum_{n=1}^{\infty} n_i \cdot p(n)$$

$$Tr(h) = \frac{1}{1 - F(h)}$$

Dove:

- $T_r(h)$ è il tempo di ritorno di un certo h fissato;
- n_i è l'eccedimento i -esimo;
- $p(n)$ è la massa di probabilità;
- $F(h)$ è la probabilità di non superamento.

Volendo definire l'altezza di precipitazione di progetto in funzione del tempo di ritorno, si andrà a risolvere un problema espresso dalla funzione inversa:

$$h = F^{-1}\left(\frac{Tr - 1}{Tr}\right)$$

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

Il problema, quindi, si traduce nel dover trovare la forma di F (probabilità cumulata di non superamento) avendo il campione di dati e noto il tempo di ritorno. Per risolvere questo problema si ricorre alla distribuzione doppio esponenziale di Gumbel, che non fornisce un risultato esatto ma a favore della sicurezza, in cui:

$$F(h) = Pr(H \leq h) = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

Dove α ed u sono parametri determinati sulla base delle osservazioni e sono legati a media e varianza.

Il metodo di Gumbel si basa sul fatto che la probabilità di non superamento debba interpretare il più possibile le osservazioni e ciò si traduce con la seguente ipotesi:

$$F(h) \approx F_k$$

Cioè che la frequenza cumulata di non superamento coincida con la probabilità cumulata di non superamento. Questo si esegue per poter scrivere la relazione:

$$F_k \cong \exp[-\exp(-\alpha(h-u))]$$

Con un doppio logaritmo alla precedente relazione, si può ricavare un altro valore: la variabile ridotta, introdotta per poter risolvere in forma canonica l'esponenziale:

$$Y_k = -\ln(-\ln(F_k))$$

Il modello di Gumbel, se correttamente implementato, fornirà valori che stanno attorno a una retta di pendenza α e intercetta $-\alpha \times u$: per calcolare questi valori, si utilizzano le seguenti approssimazioni ai minimi quadrati:

$$\bar{h} = \sum_{k=1}^N \frac{h_k}{N}, \quad \bar{Y} = \sum_{k=1}^N \frac{Y_k}{N}$$

Scarto quadratico medio:

$$S_h = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (h_k - \bar{h})^2}, \quad S_Y = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (Y_k - \bar{Y})^2}$$

I parametri α ed u saranno dati da:

$$\alpha = \frac{S_Y}{S_h}, \quad u = \bar{h} - \frac{\bar{Y}}{\alpha}$$

Con i risultati ottenuti sarà possibile usare la seguente formulazione per ottenere il valore di riferimento per una certa durata.

$$h(Tr) = u - \frac{1}{\alpha} \cdot \ln \left[-\ln \left(\frac{Tr-1}{Tr} \right) \right]$$

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

Con i diversi valori di durata della precipitazione, quindi con le diverse serie storiche di dati, si ottengono diversi valori di $h(Tr)$. Con le coppie di valori $(\tau, h(Tr))$ sarà possibile costruire la curva di possibilità pluviometrica, che permetterà di individuare il valore di riferimento per la progettazione:

$$h(Tr, \tau) = \alpha \cdot \tau^n \quad \text{oppure} \quad j = \alpha \cdot \tau^{n-1}$$

Dove:

- $H(Tr, \tau)$ = altezza di precipitazione di progetto, dato un tempo di ritorno assegnato da normativa e una durata di riferimento
- j = intensità di precipitazione [$\text{mm} \times \text{s}^{-1}$]
- h = altezza di precipitazione [mm]
- Tr = tempo di ritorno [anni]
- a = parametro in funzione di tempo di ritorno e località [$\text{mm} \times \text{ore}^{-n}$]
- n = parametro in funzione della località.

Per la verifica idraulica dell'intervento, si farà riferimento ad eventi con $Tr=200$ anni.

Si riportano di seguito i risultati ottenuti dalle regolarizzazioni secondo Gumbel, relative alla stazione di Radda in Chianti, che comprendono le rette regolatrici dei valori massimi annui di precipitazione di durata compresa tra 1 e 24 ore.

ELABORAZIONE DEI DATI PIUVIOMETRICI

t = 1 ORE	Altezza di precipitazione media	$\bar{h}$ [mm]	35.275
	Variabile ridotta media	$\bar{y}$	0.515
	Scarto quadratico medio di $\bar{h}$	S_h	20.650
	Scarto quadratico medio di y	S_y	0.064
	Parametri relativi alla distribuzione esponenziale di Gumbel	α	0.0569

t = 3 ORE	Altezza di precipitazione media	$\bar{h}$ [mm]	46.475
	Variabile ridotta media	$\bar{y}$	0.515
	Scarto quadratico medio di $\bar{h}$	S_h	24.915
	Scarto quadratico medio di y	S_y	1.064
	Parametri relativi alla distribuzione esponenziale di Gumbel	α	0.043

t = 6 ORE	Altezza di precipitazione media	$\bar{h}$ [mm]	50.588
	Variabile ridotta media	$\bar{y}$	0.515
	Scarto quadratico medio di $\bar{h}$	S_h	22.471
	Scarto quadratico medio di y	S_y	1.064
	Parametri relativi alla distribuzione esponenziale di Gumbel	α	0.047

t = 12 ORE	Altezza di precipitazione media	$\bar{h}$ [mm]	56.988
	Variabile ridotta media	$\bar{y}$	0.515
	Scarto quadratico medio di $\bar{h}$	S_h	21.537
	Scarto quadratico medio di y	S_y	1.064
	Parametri relativi alla distribuzione esponenziale di Gumbel	α	0.049

t = 24 ORE	Altezza di precipitazione media	$\bar{h}$ [mm]	64.288
	Variabile ridotta media	$\bar{y}$	0.515
	Scarto quadratico medio di $\bar{h}$	S_h	21.488
	Scarto quadratico medio di y	S_y	1.064
	Parametri relativi alla distribuzione esponenziale di Gumbel	α	0.050

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
h_k [mm]	13	15.6	16	19.4	19.6	23.2	25.8	28.8	30.8	32.4	33.4	34.8	62.4	64.8	72.2	72.2
F_k	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93
V_k	-1.04	-0.76	-0.55	-0.37	-0.20	-0.04	0.12	0.28	0.45	0.63	0.83	1.05	1.32	1.64	2.08	2.80

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
h_k [mm]	19.8	23.4	25	29.8	30.2	31.2	31.2	34.6	34.8	38.6	39	61.4	65.0	78.8	82.9	88.4
F_k	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93
V_k	-1.04	-0.76	-0.55	-0.37	-0.20	-0.04	0.12	0.28	0.45	0.63	0.83	1.05	1.32	1.64	2.08	2.80

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
h_k [mm]	26.4	29.8	31.4	35.8	38.2	38.8	39	47.4	48.2	49.4	49.4	61.6	65	78.4	82.9	88.4
F_k	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93
V_k	-1.04	-0.76	-0.55	-0.37	-0.20	-0.04	0.12	0.28	0.45	0.63	0.83	1.05	1.32	1.64	2.08	2.80

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
h_k [mm]	32	33.2	38.4	39	39.4	47.4	47.4	47.8	48.2	58	61.6	65	78.4	82.9	88.4	93.8
F_k	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.93
V_k	-1.04	-0.76	-0.55	-0.37	-0.20	-0.04	0.12	0.28	0.45	0.63	0.83	1.05	1.32	1.64	2.08	2.80

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
h_k [mm]	38	41.4	46.8	47.8	47.8	52.2	52.8	59.8	60.8	61.4	65	70.2	78	100	103.2	103.4
F_k	0.06	0.12	0.18	0.24	0.29	0.35	0.41	0.47	0.53	0.59	0.65	0.71	0.76	0.82	0.88	0.94
V_k	-1.04	-0.76	-0.55	-0.37	-0.20	-0.04	0.12	0.28	0.45	0.63	0.83	1.05	1.32	1.64	2.08	2.80

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.4.3 Caratterizzazione geomorfologica dell'asta principale

Si riporta di seguito la stima dei parametri base dell'asta principale del Borro della Pozza dei Diavoli, realizzata impiegando l'applicativo TERRAFlyer 2 messo a disposizione dalla Regione Toscana. Con tale programma on-line è possibile effettuare liberamente voli virtuali su tutto il territorio regionale e dà modo di visualizzare una varietà di informazioni geo-referenziate. Si riporta di seguito l'individuazione qualitativa della lunghezza e della pendenza dell'asta principale del Borro della Pozza dei Diavoli.

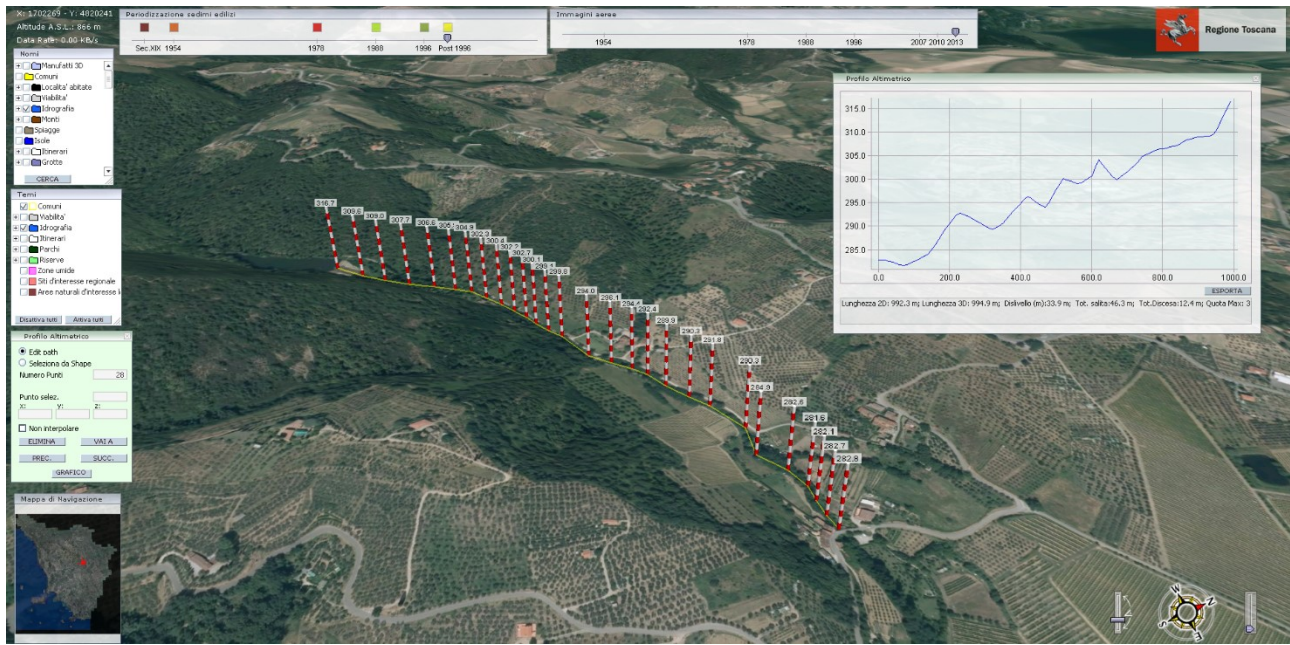


Figura 13 - Stima del profilo altimetrico dell'asta principale del Borro della Pozza dei Diavoli



Figura 14 - Profilo altimetrico ed informazioni relative all'asta principale del Borro della Pozza dei Diavoli

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

3.4.4 Tempo di corrivazione

Una formulazione del metodo cinematico fu suggerita da M. Giandotti (1934). Il metodo fu elaborato utilizzando osservazioni di piane dei corsi d'acqua del bacino del fiume Po. Il procedimento determina dapprima la durata τ_c della fase di crescita della piena, nella legittima ipotesi che il colmo sia raggiunto quando tutto il bacino sotteso contribuisca alla formazione della piena.

Indicando con:

S [km²] l'estensione del bacino;

H_{med} [m s.l.m.m.] l'altitudine media del bacino imbrifero sotteso;

Z [m s.l.m.m.] la quota della sezione considerata;

L [km] la lunghezza dell'asta principale del corso;

la durata della fase di crescita è data da:

$$\tau_{cG} = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{med} - Z}}$$

Applicando tale formula con i dati riportati nella caratterizzazione geomorfologica del bacino, si ottiene un tempo di corrivazione di 1.15 ore.

3.4.5 Modello afflussi-deflussi e portate di progetto

Per il calcolo delle portate al colmo del bacino di studio, è stato adottato il modello di trasformazione afflussi-deflussi di tipo concentrato basato sulla formula razionale:

$$Q_c(T) = 278 \cdot \Phi_{reg}(T) \cdot A_b \cdot i(\tau_b, T) \cdot r(A_b, \tau_b)$$

In cui:

T [anni] è il tempo di ritorno;

$Q_c(T)$ [m³/s] è la massima portata al colmo con tempo di ritorno T ;

A_b [km²] è l'area del bacino;

τ_b [h] è il tempo di concentrazione;

$i(\tau_b, T)$ [mm/h] è l'intensità di pioggia di durata τ_b con tempo di ritorno T ;

$\Phi_{reg}(T)$ è il coefficiente di deflusso relativo al tempo di ritorno T , stabilito mediante le procedure di regionalizzazione;

$r(A_b, \tau_b)$ è il coefficiente di ragguaglio all'area delle piogge, stimato con la seguente formula di Eagleson (1972):

$$r = 1 - e^{-1.1 \tau_b^{0.25}} + e^{-1.1 \tau_b^{0.25} - 0.00386 A_b}$$

Applicando i risultati della caratterizzazione geomorfologica ed idrologica del bacino di cui sopra, si ottengono le seguenti portate al colmo.

Calcolo delle portate transitanti

Tr [anni]	ϕ medio	a f(Tr)	n	Altezza h [mm]	i [mm/h]	Portata Qc [m ³ /s]
2	0.271	32.99	0.199	33.93	29.43	11.94
5	0.271	56.28	0.130	57.33	49.72	20.17
10	0.271	71.81	0.106	72.91	63.23	25.65
20	0.271	86.76	0.090	87.88	76.21	30.92
50	0.271	106.15	0.075	107.29	93.05	37.75
100	0.271	120.69	0.067	121.85	105.67	42.87
200	0.271	135.20	0.060	136.36	118.26	47.98

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

4 VERIFICHE IDRAULICHE

Le NTC18, nei riguardi delle verifiche idrauliche di ponti, specificano al §5.1.2.3 che *“l’ampiezza e l’approfondimento dello studio e delle indagini che ne costituiscono la base devono essere commisurati all’importanza del problema e al livello di progettazione”*, lasciando quindi al progettista la possibilità di scegliere il tipo di modellazione in base al tipo di intervento. Nel caso in esame, trattandosi di un consolidamento strutturale e non di un nuovo intervento, si ritiene sufficiente una verifica sulla capacità di deflusso al di sotto del ponte esistente in regime di moto uniforme.

Trattandosi di una struttura ad arco in muratura, ed essendo quindi l’intradosso non costituito da un’unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per tutta l’ampiezza del ponte (l’ampiezza, pari ai 2/3 della luce, è minore di 40m [§5.1.2.3 NTC18]). Inoltre, visto il funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell’altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0.50 m (§C5.1.2.3 della Circolare sulle NTC18).

Si sottolinea che con l'intervento in progetto non viene alterata la sezione idraulica.

Si riporta di seguito la sezione trasversale della struttura in oggetto con tutte le dimensioni esplicitate ed impiegate nelle verifiche.

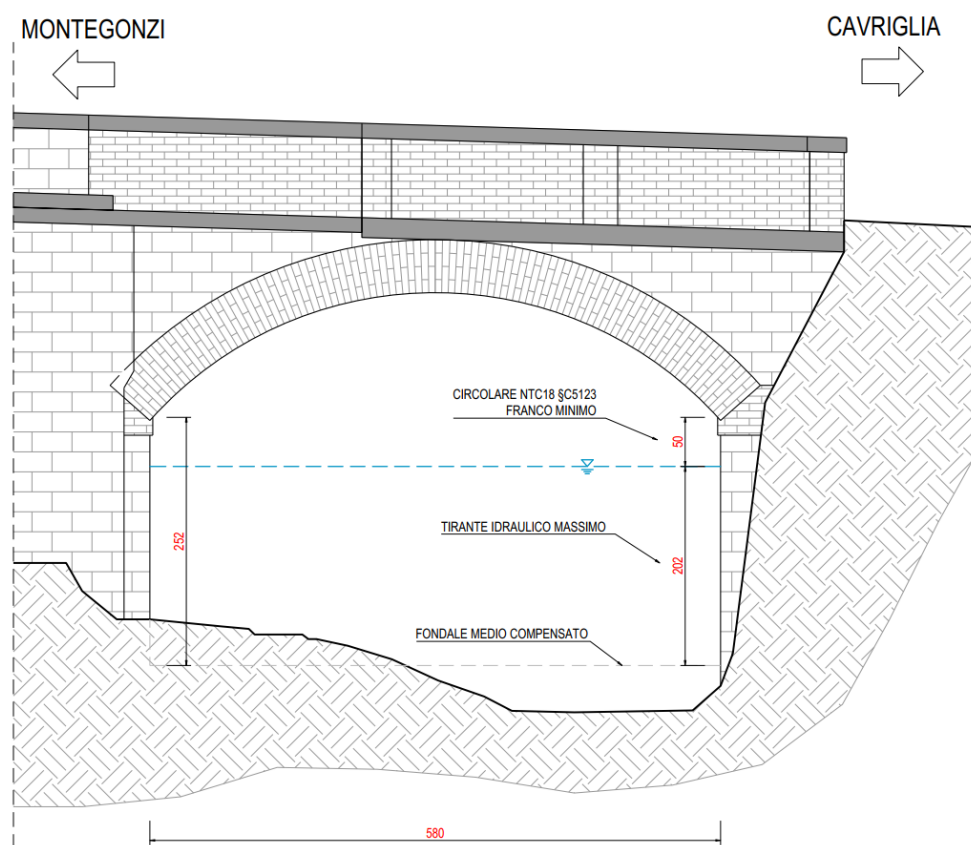


Figura 15 - Sezione trasversale: dati di verifica

Le simulazioni analizzate hanno la finalità di verificare quanto richiesto dalla Normativa per i tempi di ritorno di 2, 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

In mancanza di un rilievo sufficientemente esteso del torrente e della sua geometria, non è stato possibile indagare con codici di calcolo dedicati i profili di corrente che si instaurano nell’alveo: si sono quindi impiegati

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

fogli di calcolo Excel per poter svolgere tutte le verifiche idrauliche, analizzando le condizioni del moto tramite valutazioni analitiche locali.

4.1 Capacità di deflusso a monte del manufatto

Nella presente relazione verrà impiegata, per la verifica della capacità di deflusso nel tombino, la formula di Chezy:

$$Q = A \cdot \chi \cdot \sqrt{R_H \cdot i}$$

dove:

Q [m^3/s] è la portata della condotta;

A [m^2] è la superficie della sezione bagnata;

χ è il coefficiente di conduttanza;

P è il perimetro bagnato;

$R_H = A/P$ è il raggio idraulico;

i [m/m] è la pendenza.

Per la determinazione del coefficiente di conduttanza χ si applica la formula empirica di Gauckler-Strikler:

$$\chi = K_S \cdot R_H^{1/6}$$

dove K_S [$\text{m}^{1/3}/\text{s}$] è il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler.

Per sostituzione, quindi, nella legge di Chezy, si ricava:

$$Q = K_S \cdot A \cdot R_H^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

Il coefficiente di scabrezza, per canali a pelo libero, assume i valori riportati nella seguente tabella.

Tipo di canale	k ($\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$)
Pareti di cemento perfettamente liscio. Pareti in legno piallato. Pareti metalliche, senza risaliti nei giunti. Senza curve	100 - 90
Pareti di cemento perfettamente liscio. Pareti in legno piallato. Pareti metalliche, senza risaliti nei giunti. Con curve	90 - 85
Pareti di cemento non perfettamente liscio. Muratura di mattoni molto regolare. Pareti metalliche con chiodature ordinarie	85 - 75
Pareti di cemento in non perfette condizioni. Muratura ordinaria più o meno accurata. Pareti di legno grezzo, eventualmente con fessure	70 - 65
Pareti di cemento solo in parte intonacate; qualche deposito sul fondo. Muratura irregolare (o di pietrame). Terra regolarissima senza vegetazione	60
Terra abbastanza regolare. Muratura vecchia, in condizioni non buone, con depositi di limo sul fondo	50
Terra con erba sul fondo. Corsi d'acqua naturali regolari	40
Terra in cattive condizioni. Corsi d'acqua naturali con ciottoli e ghiaia	35
Canali in abbandono con grande vegetazione. Corsi d'acqua con alveo in ghiaia e movimento di materiali sul fondo, oppure scavati in roccia con sporgenze	30
Torrenti di montagna con letto irregolare e formato da grossi massi	17 - 12

Tabella 3. Valori presenti in letteratura del coefficiente di scabrezza per canali

Nella situazione attuale si può assumere per il borro un coefficiente $K_S = 30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, in quanto esso è caratterizzato da un letto irregolare dovuto alla presenza sia di grossi massi che di depositi ghiaiosi, oltre che dalla presenza di vegetazione.

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

4.1.1 Verifica del franco idraulico

Il Borro della Pozza dei Diavoli ha una pendenza media stimabile a favore di sicurezza nell'ordine dell'2.0%.

Nelle seguenti tabelle si riassumono tutti i dati fino a qui esplicitati ed i risultati delle verifiche di capacità di deflusso al di sotto del nuovo ponte, riportando i tiranti d'acqua per ciascun tempo di ritorno e tenendo in considerazione il franco idraulico limite come da Normativa.

VERIFICHE IDRAULICHE

Dati generali di input							
Lunghezza dell'asta principale del torrente	L	0.9949	[km]				
Altitudine media del bacino imbrifero	H _{med}	420	[m s.l.m.]				
Quota della sezione di chiusura	z	282.8	[m s.l.m.]				
Caratteristiche opera							
Sezione del canale/torrente		Rettangolare					
Larghezza opera	b ₀	5.80	[m]				
Pendenza longitudinale canale	i	0.02	[m/m]				
Pendenza scarpata destra [B/H]	p _{dx}	-	[m/m]				
Pendenza scarpata sinistra [B/H]	p _{sx}	-	[m/m]				
Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler per canali a pelo libero	k	30	[m ^{1/3} s ⁻¹]				
Altezza di progetto tra quota minima arco ponte esistente ed il talweg medio	h	2.52	[m]				
Tirante massimo [NTC18 e Circolare - §C5.1.2.3 - franco idrico 0.50m]	y _{max}	2.02	[m]				
Calcolo del coefficiente di deflusso medio nell'ambito di bacino			φ				
Aree edificate e strade	[km ²]	0.184	3.39%	0.90			
Aree boschive e gruppi arborei	[km ²]	5.124	94.54%	0.25			
Prati stabili, aree a verde e ad uso agricolo	[km ²]	0.112	2.07%	0.20			
Superficie totale del bacino	S [km ²]	5.420	100.00%	0.271			
Tempo di corrivazione [Giandotti (1934)]		τ _c	1.15	[ore]			
Coefficiente di ragguglio [Formula di Eagleson (1972)]		r	0.9934				
Calcolo delle portate transitanti							
Tr [anni]	φ medio	a f(Tr)	n	Altezza h [mm]	i [mm/h]	Portata Qc [m ³ /s]	
2	0.271	32.99	0.199	33.93	29.43	11.94	
5	0.271	56.28	0.130	57.33	49.72	20.17	
10	0.271	71.81	0.106	72.91	63.23	25.65	
20	0.271	86.76	0.090	87.88	76.21	30.92	
50	0.271	106.15	0.075	107.29	93.05	37.75	
100	0.271	120.69	0.067	121.85	105.67	42.87	
200	0.271	135.20	0.060	136.36	118.26	47.98	
Verifica idraulica dell'intervento							
Tr [anni]	2	5	10	20	50	100	200
Velocità [m/s]	2.912	3.481	3.765	3.996	4.249	4.415	4.563
Tirante [m]	0.707	0.999	1.175	1.334	1.532	1.674	1.813
Tirante limite [m]	2.02						
	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato	Verificato

Le verifiche risultano soddisfatte.

Provincia di Arezzo	LAVORI DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DI RIPRISTINO DEL PONTE SULLA S.P.15 VECCHIA ARETINA, KM. 0+750, LOCALITÀ CAMMENATA, COMUNE DI CAVRIGLIA (AR)	Relazione idraulica
---------------------	--	---------------------

5 CONCLUSIONI

Si è reso necessario lo studio dell'asta principale del Borro della Pozza dei Diavoli e di tutto il bacino afferente per la stima delle portate transitanti al di sotto del ponte sulla SP15: ciò ha portato all'individuazione lungo il torrente di almeno una briglia, dell'invaso del Lago di Cammenata e degli impianti di potabilizzazione dell'acqua in gestione alla società Publiacqua S.p.A., che preleva piccole quantità di acqua del lago e del borro rimuovendo i residui solidi, agenti inquinanti e controllando lo sviluppo di microorganismi prima dell'immissione nella rete di distribuzione.

Le verifiche sono state effettuate impiegando valori cautelativi e a favore di sicurezza in quanto non tengono conto della regolazione della diga di Cammenata e delle portate emunte a scopi civili. Non è stato possibile, infatti, giungere ad un valore preciso della portata transitante al di sotto del manufatto a causa delle limitate informazioni reperite online, quali il volume massimo d'invaso e le caratteristiche geometriche dei manufatti, e dall'assenza di una risposta da parte del gestore degli impianti: il valore del tirante massimo, calcolato in concomitanza con la piena di progetto duecentennale e pari a circa 1.80m, risulta minore del tirante limite imposto dalla Normativa (la sezione idraulica si mantiene comunque inalterata in configurazione post-operam).

Inoltre, le velocità di scorrimento risultano compatibili con la resistenza al danneggiamento del rivestimento in muratura, anche in considerazione della sporadicità degli eventi di piena: pertanto, tutti gli interventi di manutenzione straordinaria del ponte sulla S.P. 15 sono idraulicamente compatibili con il regime idrologico del Borro della Pozza dei Diavoli.