RELAZIONE TECNICA

RWM ITALIA SpA

Località Matt'è Conti – Domusnovas (SU)

Località San Marco – Iglesias (SU)

VERIFICA IDRAULICA DELL'ATTRAVERSAMENTO STRADALE SULL'ELEMENTO IDRICO FIUME294739, BASATO SU UN MODELLO FISICO DEL TERRENO (DTM) AGGIORNATO

Gennaio 2025 – Revisione 0

IL PROFESSIONISTA

[redacted]

[redacted]

Indice generale

1. - Premessa 3
2. - La verifica dell'attraversamento stradale 3
3. - L'aggiornamento del DTM 6
4. - Calcolo della portata di piena 6
4.1. - Generalità 6
4.2. - Valutazione della portata di piena dei bacini in esame 7
4.3. - Metodo razionale 7
4.3.1. - Il coefficiente di riduzione areale 8
4.3.2. - Il tempo di corrivazione 8
4.3.3. - Il coefficiente di deflusso Φ 9
4.4. - Metodo razionale con curva di possibilità pluviometrica TCEV 14
5. - Analisi idraulica del moto nel corso d'acqua intorno al ponte 16
5.1. - Geometria considerata 16
5.2. - Risultati in forma grafica 17
5.3. - Risultati in forma numerica 19
6. - Verifica dell'attraversamento 20

1. - Premessa

Il presente documento ha lo scopo di rispondere alle osservazioni e alla richiesta di integrazioni e chiarimenti di cui alla nota protocollo n° 34882 del 25 novembre 2024 del Servizio Genio Civile di Cagliari, allegata alla nota protocollo n° 35192 del 27 novembre 2024 del Servizio Valutazione Impatti e Incidenze Ambientali della Regione Sardegna, nell'ambito del procedimento di V.I.A. ex post (comprensivo dello screening di V.Inc.A.) avente ad oggetto: "Nuovo Campo Prove R140 e nuovi Reparti R200 e R210", ricadenti in Località San Marco, Comune di Iglesias (SU), ai sensi dell'art. 29 del D. Lgs.152/2006, e s.m.i., e dell'art. 11 delle Direttive regionali in materia di V.I.A., allegate alla Delib.G.R. 11/75 del 2021.

In particolare, il documento si propone di dare riscontro alla suddetta nota relativamente al seguente punto:

> *[…]*
>
> *In merito all'utilizzo del DTM 1m Sardegna per la valutazione del rischio determinato dall'impianto allo stato attuale, la Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna (prot. 12355 del 13.11.2024) ha richiesto l'adozione di un modello fisico del terreno aggiornato allo stato morfologico attuale dell'area, anche in conseguenza delle modificazioni indotte all'assetto territoriale originario a seguito degli interventi effettuati, quali sbancamenti, riporti ed edificazioni.*
>
> *Pertanto si chiede alla Società RWM di confermare la procedura applicata per la verifica della funzionalità idraulica dell'attraversamento stradale ("tombino") sull'elemento idrico "FIUME_294739" presso i reparti R200-R210, nel caso la stessa sia basata su un supporto modellistico del terreno rappresentativo della effettiva configurazione territoriale attuale, ovvero di verificare l'infrastruttura mediante l'utilizzo di un DTM aggiornato, secondo quanto già richiesto dall'ADIS.*

Il presente documento pertanto si configura come un nuovo studio effettuato ai sensi del DM 17.01.2018 "Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018)", integrate dalla circolare n. 7 del 21.01.2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni", finalizzato alla verifica dell'attraversamento stradale ("tombino") sull'elemento idrico FIUME 294739, basato su un modello fisico del terreno (DTM) aggiornato allo stato attuale della morfologia dell'area cosi come modificata dagli interventi effettuati nell'area dello stabilimento, ottenuto attraverso un rilievo con drone effettuato nel mese di novembre 2024.

2. - La verifica dell'attraversamento stradale

La verifica dell'attraversamento stradale è effettuata ai sensi del D.M. 17-1-2018 - Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC 2018), integrate dalla circolare n. 7 del 21/01/2019 - Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni.

L'attraversamento riguarda la viabilità interna dello stabilimento, che collega i reparti R200 e R210 ed è indicato nell'immagine satellitare in Fig. *1*.

[redacted]

Figura 1 - Posizione dell'attraversamento

Esso si trova lungo l'asta del Fiume_294739 ed è costituito [redacted]

[redacted]

Figura 2 - Sezione dell'attraversamento idraulico

Come illustrato nel capitolo successivo, la portata di piena per Tr=200 anni del Fiume_294739 risulta inferiore a 50 mc/s.

La citata circolare delle NTC 2018, al punto C1.1.2 Prescrizioni generali, precisa che:

Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 *della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente* ***portate fino a 50 mc/s****. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente.*

Oltre a quanto previsto per gli attraversamenti dalla Norma, nella Relazione idraulica è opportuno siano considerati anche i seguenti aspetti:

- *è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera;*
- *sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua;*
- *per sezioni di area maggiore a 1,5 mq è da garantire la praticabilità del manufatto;*
- *il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s;*
- ***nel caso di 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;***
- *il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino;*
- *la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1,5 volte la massima pressione d'esercizio;*
- *il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte;*
- *nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena;*
- *i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento.*

3. - L'aggiornamento del DTM

L'analisi idrologica e idraulica si basano su un aggiornamento del DTM con passo 1 m, già disponibile nell'area e rilasciato dal geoportale RAS, con un nuovo rilievo effettuato con volo nel 2024 che ha integrato quello RAS adottato all'esterno dell'area.

In Fig. *3* è rappresentato il bacino insieme con linee di livello con equidistanza di 4 m.

4. - Calcolo della portata di piena

4.1. - Generalità

La valutazione della portata di piena di un corso d'acqua in Sardegna si basa sulle indicazioni riportate nelle Linee Guida del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

In Fig. *3* è rappresentato il bacino del FIUME_294739. La delimitazione del bacino tiene conto dello stato attuale del territorio.

Figura 3 - Bacino del Fiume_294739

Il bacino è stato chiuso in corrispondenza della sezione d'interesse.

4.2. - Valutazione della portata di piena dei bacini in esame

La valutazione della portata di piena di un corso d'acqua si basa, con l'eccezione di espressioni empiriche grossolane ormai in disuso, su considerazioni probabilistiche dalle quali emerge il legame tra la portata di piena Q ed il numero medio di anni (Tr = tempo di ritorno) che occorre attendere affinché si abbia una portata pari o maggiore di Q.

I parametri descrittivi del bacino rappresentativi ai fini della valutazione della piena sono:

- superficie del bacino S [km2]
- lunghezza dell'asta principale L [km]
- pendenza media dell'asta principale J [m/m]
- pendenza media del bacino Jb [m/m]
- altitudine media del bacino Hm [m s.l.m.]
- quota della sezione terminale Ho [m s.l.m.]
- quota massima del bacino Hmax [ms.l.m.]
- celerità media di propagazione in alveo V [m/s]

I parametri descrittivi del bacino in esame sono riportati in Tab. 1.

Parametri descrittivi								
Bacino	S	L	J	Jb	Hm	Ho	Hx	V
	kmq	km	m/m	m/m	m slm	m slm	m slm	m/s
FIUME_294726	0,25	0,90	0,206	0,206	208,00	149,00	385,00	1,00

Tabella 1 - Parametri descrittivi dei bacini in esame

4.3. - Metodo razionale

Il metodo razionale, impropriamente anche detto cinematico, fornisce la portata di piena tramite l'espressione:

$$Q = \Phi \, ARF \, S \, H / (3.6 \, Tc) \qquad (1)$$

nella quale Φ rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione della piena, scorre in superficie, ARF (Areal Reduction Factor - Coefficiente di Riduzione Areale) esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno, Tc è il tempo di corrivazione espresso in ore, S la superficie del bacino in kmq, H è l'altezza di precipitazione, in mm, che cade in un punto del bacino in una durata pari a Tc con l'assegnato Tempo di ritorno e Q la portata di piena in mc/s.

4.3.1. - Il coefficiente di riduzione areale

Data la limitata estensione del bacino, è stato posto ARF=1

4.3.2. - Il tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione Tc può essere stimato facendo riferimento a diverse espressioni empiriche che forniscono le seguenti stime (espressioni consigliate nelle Linee Guida del PAI Sardegna):

Soil Conservation Service: $TcSCS = 0.00227(1000\ L)^{0.8}[(1000 / CN) -9]^{0.7}\ (100*Jb)^{-0.5}$ (2)

Giandotti: $TcG = (1.5\ L + 4\ S^{0.5}) / (0.8\ (Hm-Ho)^{0.5})$ (3)

Pasini: $TcP = 0.108\ ((S\ L)^{1/3}) /J^{0.5}$ (4)

progetto VAPI: $TcVP = 0.212\ S^{0.231}\ (Hm/J)^{0.289}$ (5)

Viparelli: $TcV = L / (3.6\ V)$ (considerando V = 1 m/s) (6)

ove si adotta, per cautela, il valore minimo Tca.

A questo tempo va aggiunto il tempo di accesso alla rete Ta, pari a

$$Ta = Ia / Ic \qquad (7)$$

dove Ia sono le perdite iniziali e Ic l'intensità di pioggia critica, da ricercarsi ricursivamente.

Il Tempo di corrivazione Tc risulta, per ogni tempo di ritorno, pari a Tca+Ta.

Applicando le varie espressioni, e adottando per il bacino il minimo tempo di corrivazione, si perviene ai valori riportati in Tab. *2*.

Tempo di corrivazione					
Bacino	Tr	i	TcV	Ta	Tc
	anni	mm/ora	ore	ore	ore
FIUME_294726	50	174	0.25	0.02	0.19
FIUME_294726	100	149	0.25	0.03	0.20
FIUME_294726	200	149	0.25	0.03	0.20
FIUME_294726	500	174	0.25	0.02	0.19

Tabella 2 - Tempi di corrivazione calcolati e adottati (Tca), al netto dell'aggiunta del Ta

4.3.3. - Il coefficiente di deflusso Φ

Stima basata sul CN

Il CN rende conto della porzione di precipitazione meteorica che scorre effettivamente in superficie, al netto quindi delle perdite per infiltrazione, evaporazione e riempimento di depressioni superficiali, e il cui valore è compreso tra 0 (nessuno scorrimento in superficie) e 100 (totale assenza di perdite, tutta la pioggia si trasforma in scorrimento superficiale).

Il coefficiente Φ può essere stimato col metodo del Curve Number (CN) secondo cui vale:

$$\Phi = (H - IA)2 / (H (H + S - IA)) \qquad (8)$$

in cui:

- CN è un parametro il cui valore è legato alle caratteristiche del suolo e del suo uso superficiale
- CN_{III} = (23*CN) / (10+0.13*CN) è una correzione di CN che tiene conto del fatto che il terreno era già in condizioni di maggiore umidità per effetto di precipitazioni precedenti
- H è l'altezza di precipitazione totale caduta per la durata pari a Tc (tempo di corrivazione)
- S è la massima perdita per infiltrazione data da S = 254 (100/CN -1)
- IA rappresenta le perdite iniziali, poste pari a c S

Il coefficiente Φ può assumere con questa metodologia, specialmente per durate molto brevi dell'evento critico, valori eccessivamente bassi, poiché fa coincidere l'inizio della precipitazione con la porzione di durata Tc considerata, anche adottando la correzione CNIII.

Per ovviare a questo inconveniente si può considerare innanzitutto di considerare nulle le perdite iniziali IA, ponendo c=0, e/o di far precedere la precipitazione di durata critica Tc una precipitazione di durata pari a Ta.

Indicando con Hp l'altezza di precipitazione caduta nelle Ta ore precedenti la durata critica (e valutata utilizzando le curve di possibilità pluviometrica per differenza con la durata Ta+Tc e Tc) e con Ht=H+Hp l'altezza di precipitazione totale, si ha:

$$\Phi = [(Ht - IA)2/(Ht + S - IA) - (Hp - IA)2/(Hp + S - IA)]/H \qquad (9)$$

Stima del CN basata sulla mappatura regionale

Il valore del parametro CN può desunto dalla distribuzione del parametro CN direttamente da una elaborazione sviluppata dall'Agenzia del Distretto Idrografico che ha determinato il valore del CN sulla base della classificazione pedologica e dell'uso del suolo (Regione Sardegna - Corine Land Cover RAS 2008) determinando i valori riportati nelle Tabb. 3, 4 e 5.

Tipo idrologico di suolo	Descrizione
A	Scarsa potenzialità di deflusso superficiale. I suoli di questo gruppo presentano un tasso di infiltrazione elevato anche quando sono completamente bagnati. Comprende sabbie o ghiaie di notevole spessore, con elevata permeabilità
B	Suoli con tasso di infiltrazione moderato quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli di spessore moderatamente elevato o elevato, con drenaggio da moderatamente buono a buono e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana
C	Suoli con tasso di infiltrazione basso quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli con uno strato che impedisce il movimento discendente dell'acqua, oppure suoli con tessitura da moderatamente fine a fine
D	Suoli ad alto potenziale di scorrimento, presentano un tasso di infiltrazione bassissimo quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli argillosi con un alto potenziale di rigonfiamento, suoli con una falda permanentemente alta, suoli con uno strato di argilla alla superficie o presso la superficie e suoli giacenti sopra materiale pressoché impermeabile.

Tabella 3 - Descrizione delle diverse classi di suolo in funzione del tipo idrologico (metodo SCS-CN)

Pedologia	Tipo Idrologico di Suolo	Pedologia	Tipo Idrologico di Suolo	Pedologia	Tipo Idrologico di Suolo
A1	D	C5	B	G3	D
A2	C	D1	C	H1	C
Acque	A	D2	C	I1	D
B1	D	D3	C	I2	D
B2	C	D4	C	I3	C
B3	C	D5	B	L1	D
B4	B	E1	B	L2	C
B5	C	E2	B	L3	D
C1	B	F1	B	L4	B
C2	B	F2	B	M1	A
C3	B	G1	B	N1	D
C4	B	G2	C	O	A

Tabella 4 - Attribuzione delle classi di suolo in funzione della classificazione pedologica (Carta dei Suoli della Sardegna – Aru A., Baldaccini P., Vacca A.)

DESCRIZIONE	UDS	A	B	C	D
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	98	98	98	98
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	89	92	94	95
CANTIERI	133	89	92	94	95
AREE VERDI URBANE	141	49	69	79	84
CIMITERI	143	66	77	85	89
VIGNETI	221	72	81	88	91
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETTI	223	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	0	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	66	77	85	89
AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	66	77	85	89
AREE AGROFORESTALI	244	NaN	51	63	70
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	313	NaN	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	49	69	79	84
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	63	77	85	88
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	95	95	95	95
AREE CON VEGETAZIONE RADA <5%E>40%	333	55	72	81	86
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100
SALINE	422	100	100	100	100
ZONE INTERTIDALI	423	95	95	95	95
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100
MARI	523	100	100	100	100
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	1111	77	85	90	92
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	51	68	79	84
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	1121	46	65	77	82
FABBRICATI RURALI	1122	46	65	77	82
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95
INSEDIAMENTO DI GRADI IMPIANTI DI SERVIZI	1212	89	92	94	95
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	1221	98	98	98	98
RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	1222	98	98	98	98

DESCRIZIONE	UDS	A	B	C	D
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	1223	89	92	94	95
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	1224	89	92	94	95
DISCARICHE	1321	89	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	89	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	49	69	79	84
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	66	77	85	89
PRATI ARTIFICIALI	2112	NaN	62	74	85
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	58	72	81	85
RISAIE	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
COLTURA IN SERRA	2124	66	77	85	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	72	81	88	91
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTREN COLTURE PERMA-NENTI	2413	58	72	81	85
BOSCO DI LATIFOGLIE	3111	NaN	48	57	63
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI DI LATIFOGLIE	3112	NaN	51	63	70
BOSCO DI CONIFERE	3121	NaN	48	57	63
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI DI CONIFERE	3122	NaN	58	73	80
CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	3221	NaN	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	NaN	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	NaN	58	73	80
GARIGA	3232	NaN	51	63	70
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	NaN	51	63	70
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	NaN	51	63	70
SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	63	77	85	88
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPE-RIORE A 25M	3312	49	69	79	84
AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3313	49	69	79	84
LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	90	90	90	90
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
CANALI E IDROVIE	5112	98	98	98	98
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100

DESCRIZIONE	UDS	A	B	C	D
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	98	98	98	98
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	5231	98	98	98	98
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	98	98	98	98
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	NaN	48	57	63
SUGHERETE	31122	NaN	48	57	63
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	NaN	48	57	63
ALTRO	31124	NaN	48	57	63

Tabella 5 - Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo (Corine Landcover) e del tipo idrologico di suolo

In Fig. 4 è riportata la mappa dei CN relativa al bacino in esame.

Figura 4 - Mappa del CN nell'area del bacino

I valori del CN medio pesato e i parametri per il calcolo delle perdite sono riportati in Tab. 6.

Curve Number				
Bacino	CN	CN usato	SS	c
			mm	
FIUME_294739	84	92	21.21	0.2

Tabella 6 - Valori del CN adottati

4.4. - Metodo razionale con curva di possibilità pluviometrica TCEV

La curva di possibilità pluviometrica basata sulla distribuzione probabilistica TCEV è stata calibrata da Deidda-Piga-Sechi nel 1997 con l'espressione:

$$H = Hm\,(Tc)\ a\ Tc^{n} \qquad (10)$$

nella quale:

$$Hm\,(Tc) = 1.1287\ Hg\ (Tc/24)^{-0.493+0.476 Log\,(Hg)} \qquad (11)$$

con Hg dipendente dalla posizione geografica del bacino, mentre i parametri a ed n dipendono dalla sottozona di appartenenza:

per la sottozona I:

$$a = 0.4642 + 1.0376*Log\,(Tr) \qquad (12)$$

$$n = -0.18488 + 0.22960*Log\,(Tr) - 0.033216*(Log\,(Tr))^2 \quad (per\ Tc < 1\ ora) \qquad (13)$$

$$n = -0.01469 - 0.0078505*Log\,(Tr) \quad (per\ Tc > 1\ ora) \qquad (14)$$

per la sottozona II:

$$a = 0.43797 + 1.089*Log\,(Tr) \qquad (15)$$

$$n = -0.18722 + 0.24862*Log\,(Tr) - 0.0336305*(Log\,(Tr))^2 \quad (per\ Tc < 1\ ora) \qquad (16)$$

$$n = -0.0063887 -0.004542*Log\,(Tr) \quad (per\ Tc > 1\ ora) \qquad (17)$$

per la sottozona III:

$$a = 0.40926 + 1.1441*Log\,(Tr) \qquad (18)$$

$$n = -0.1906 + 0.264438*Log\,(Tr) - 0.038969*(Log\,(Tr))^2 \quad (per\ Tc < 1\ ora) \qquad (19)$$

$$n = 0.014929 + 0.0071973*Log\,(Tr) \quad (per\ Tc > 1\ ora) \qquad (20)$$

Le sottozone sono riportate in Fig. 5, mentre il parametro Hg in Fig. 6.

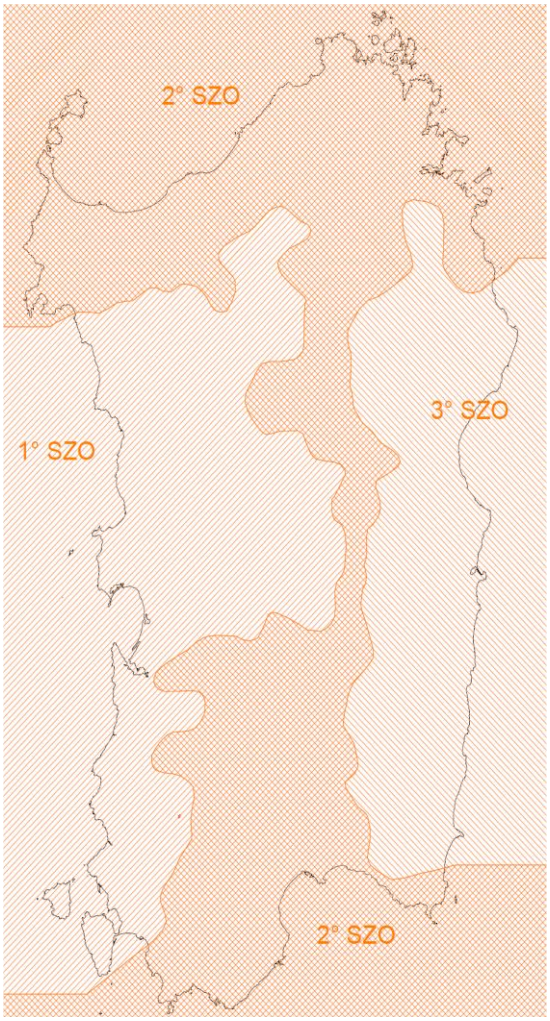

Figura 5 - Sottozone per l'applicazione del metodo TCEV

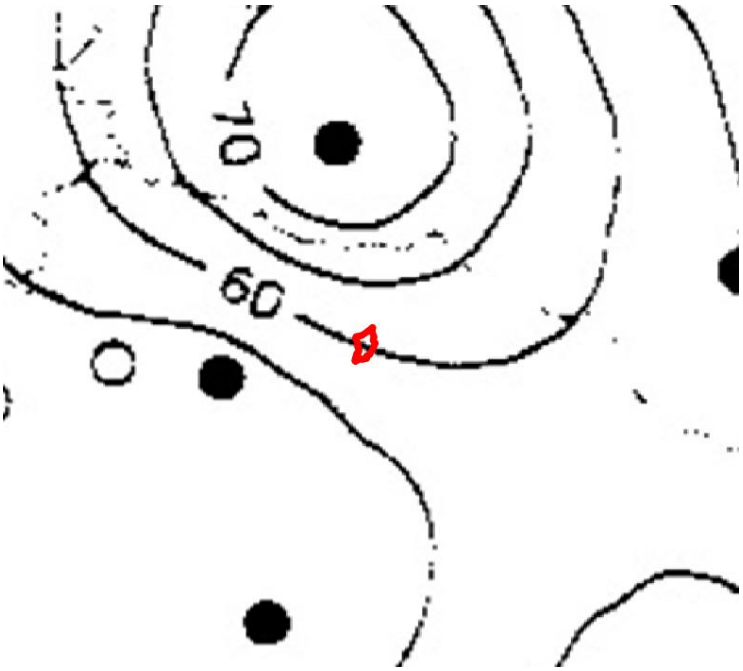

Figura 6 - Parametro Hg per l'applicazione della CPP basata su TCEV

La portata di piena calcolata con questo metodo è riportata in Tab. 7.

Portata di piena col metodo razionale e CPP TCEV-PAI						
Bacino	Tr	SZ	Hg	Hcp	Φ	Qr,tcev
	anni		mm	mm		mc/s
FIUME_294726	50.000	1.000	60.000	22.804	0.38	3.20
FIUME_294726	100.000	1.000	60.000	24.915	0.41	3.69
FIUME_294726	200.000	1.000	60.000	26.811	0.43	4.21
FIUME_294726	500.000	1.000	60.000	29.111	0.46	4.96

Tabella 7 - Portata di piena calcolata col metodo razionale e CPP TCEV

5. - Analisi idraulica del moto nel corso d'acqua intorno al ponte

Le condizioni di deflusso nell'intorno del ponte sono state determinate mediante modellazione idraulica monodimensionale col modello HecRas, limitatamente alla portata avente tempo di ritorno di 200 anni.

5.1. - Geometria considerata

In Fig. 7 è riportata la planimetria considerata in HecRas.

Figura 7 - Geometria considerata in HecRas

5.2. - Risultati in forma grafica

Nella Fig. 8 è riportato l'andamento della corrente lungo l'asta del rio, mentre nelle Figg. 10 e 11 sino riportate le sezioni trasversali delle sezioni di monte e valle dell'attraversamento stradale, modellato come "Culvert".

Figura 8 - Profilo della corrente lungo il corso d'acqua

Figura 9 - Sezione idraulica nella sezione a monte del ponte

Figura 10 - Sezione idraulica nella sezione di monte del ponte

Figura 11 - Sezione idraulica nella sezione di valle del ponte

5.3. - Risultati in forma numerica

Il tabulato di output offerto dal codice di calcolo HecRas è riportato in Tab. 8.

Profile Output Table - Standard Table 1

File Options Std. Tables Locations Help

HEC-RAS Plan: 294739 River: 294739 Reach: 294739 Profile: PF 3 — Reload Data

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
294739	547	PF 3	4.21	168.07	168.72	168.55	168.78	0.004996	1.14	3.69	8.44	0.55
294739	497	PF 3	4.21	167.86	168.22	168.22	168.33	0.020849	1.45	2.90	13.83	1.01
294739	439	PF 3	4.21	166.27	166.49	166.53	166.60	0.045933	1.46	2.88	24.63	1.37
294739	381	PF 3	4.21	160.23	160.74	161.03	161.91	0.164980	4.80	0.88	3.07	2.87
294739	343	PF 3	4.21	159.02	159.36	159.37	159.50	0.026616	1.66	2.54	11.94	1.15
294739	310	PF 3	4.21	157.82	158.18	158.24	158.40	0.042395	2.08	2.03	9.55	1.44
294739	282	PF 3	4.21	156.31	157.64	156.85	157.64	0.000272	0.35	12.01	18.27	0.14
294739	270		Culvert									
294739	261	PF 3	4.21	155.68	156.34		156.39	0.002943	0.94	4.48	9.25	0.43
294739	234	PF 3	4.21	155.44	156.01	156.01	156.21	0.017729	1.97	2.13	5.47	1.01
294739	215	PF 3	4.21	154.77	155.08	155.23	155.55	0.091480	3.02	1.39	6.66	2.11
294739	183	PF 3	4.21	154.63	155.03	155.03	155.12	0.023342	1.34	3.15	18.26	1.03
294739	159	PF 3	4.21	153.34	153.57	153.71	154.01	0.117240	2.93	1.44	8.72	2.30
294739	87	PF 3	4.21	151.91	152.34	152.34	152.45	0.021292	1.49	2.83	13.06	1.02
294739	61	PF 3	4.21	150.56	150.96	151.07	151.36	0.101087	2.82	1.49	8.59	2.16
294739	34	PF 3	4.21	150.07	150.48	150.48	150.62	0.019646	1.66	2.53	9.06	1.01
294739	10	PF 3	4.21	149.17	149.51	149.58	149.74	0.090490	2.12	1.99	15.66	1.90

Total flow in cross section.

Tabella 8 - Risultato numerico dell'analisi idraulica

Si può osservare che nella sezione 282, immediatamente a monte del ponte (Culvert), la corrente è lenta (Fr<1), mentre nella sezione 234, poco a valle del ponte, è critica.

Le condizioni idrauliche tra le sezioni 282 e 234 non dipendono quindi né dalla corrente che precede a monte né da quella che segue a valle.

Le condizioni di transito della corrente all'interno del culvert sono riportate in Tab. 9.

Culvert Output

File Type Options Help

River: 294739 Profile: PF 3 Culv Group: Culvert #1

Reach 294739 RS: 270 Plan: 294739

Plan: 294739 294739 294739 RS: 270 Culv Group: Culvert #1 Profile: PF 3

Q Culv Group (m3/s)	4.21	Culv Full Len (m)	
# Barrels	3	Culv Vel US (m/s)	2.11
Q Barrel (m3/s)	1.40	Culv Vel DS (m/s)	3.38
E.G. US. (m)	157.64	Culv Inv El Up (m)	156.70
W.S. US. (m)	157.64	Culv Inv El Dn (m)	156.30
E.G. DS (m)	156.39	Culv Frctn Ls (m)	0.22
W.S. DS (m)	156.34	Culv Exit Loss (m)	0.92
Delta EG (m)	1.26	Culv Entr Loss (m)	0.11
Delta WS (m)	1.30	Q Weir (m3/s)	
E.G. IC (m)	157.52	Weir Sta Lft (m)	
E.G. OC (m)	157.64	Weir Sta Rgt (m)	
Culvert Control	Outlet	Weir Submerg	
Culv WS Inlet (m)	157.30	Weir Max Depth (m)	
Culv WS Outlet (m)	156.73	Weir Avg Depth (m)	
Culv Nml Depth (m)	0.40	Weir Flow Area (m2)	
Culv Crt Depth (m)	0.60	Min El Weir Flow (m)	158.56

Tabella 9 - Caratteristiche numeriche della corrente all'interno del ponte

Per il tempo di ritorno di 200 anni, nella sezione di monte il livello idrico è pari a 157.30 m slm, con scorrimento a 156.70 m slm, con un livello idrico di 0.60 m e un franco idraulico di 0.90 m.

Nella sezione di valle il livello idrico è pari a 156.73 m slm, con scorrimento a 156.30 m slm, con un livello idrico di 0.43 m e un franco idraulico di 1.07 m.

6. - Verifica dell'attraversamento

Di seguito si espone il rispetto delle prescrizioni delle NTC 2018:

Prescrizioni/indicazioni NTC 2018	Verifica
è da sconsigliare il frazionamento della portata fra più canne, tranne nei casi in cui questo sia fatto per facilitare le procedure di manutenzione, predisponendo allo scopo luci panconabili all'imbocco e allo sbocco e accessi per i mezzi d'opera	la realizzazione di 3 canne è stata effettuata con la consapevolezza che ognuna, di diametro di 150 cm e lunghezza di 10 m, è comunque facilmente manutenibile
sono da evitare andamenti planimetrici non rettilinei e disallineamenti altimetrici del fondo rispetto alla pendenza naturale del corso d'acqua	l'andamento del tombino è perpendicolare all'asse stradale e il fondo è allineato con la pendenza naturale dell'alveo, leggermente più alto per evitare facili interrimenti
per sezioni di area maggiore a 1,5 mq è da garantire la praticabilità del manufatto	la sezione di ogni canna è pari a 1.77 mq. Ogni canna è ispezionabile data l'altezza interna di 1.50 m
il tombino può funzionare sia in pressione che a superficie libera, evitando in ogni caso il funzionamento intermittente fra i due regimi: nel caso in una o più sezioni il funzionamento sia in pressione, la massima velocità che si realizza all'interno dello stesso tombino non dovrà superare 1,5 m/s	il moto è sempre a pelo libero
nel caso di 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	l'altezza interna della sezione è pari a 1.50 m, per cui i 2/3 sono pari a 1.00 m. Il livello idrico massimo è pari a 0.60 m, quindi inferiore al massimo consentito. Il franco idraulico risulta pari a 0.90 m, maggiore del minimo fissato in 0.50 m
il calcolo idraulico è da sviluppare prendendo in considerazione le condizioni che si realizzano nel tratto del corso d'acqua a valle del tombino	è stato analizzato il moto dell'intera asta fluviale, che però rivela che le condizioni al contorno sono dettate dalle sezioni idrauliche prossime al manufatto, per cui gli effetti del moto lontano dal tombino non hanno nessuna ripercussione sull'idraulica dello stesso
la tenuta idraulica deve essere garantita per ciascuna sezione dell'intero manufatto per un carico pari al maggiore tra: 0,5 bar rispetto all'estradosso o 1.5 volte la massima pressione d'esercizio	il manufatto è realizzato in acciaio strutturato, in grado di sopportare la pressione di 0.5 bar

Prescrizioni/indicazioni NTC 2018	Verifica
il massimo rigurgito previsto a monte del tombino deve garantire il rispetto del franco idraulico nel tratto del corso d'acqua a monte	nella sezione a monte dell'attraversamento (Fig. *9*) si osserva che il pelo libero raggiunge la quota di 157.72 m slm, mentre il rilevato stradale, nel punto più basso, è a quota 158.50 (Fig. *10*). Il franco idraulico risulta pari a 0.78 m, superiore ai 0.50 m minimi richiesti
nel caso sia da temersi l'ostruzione anche parziale del manufatto da parte dei detriti galleggianti trasportati dalla corrente, è da disporre immediatamente a monte una varice presidiata da una griglia che consenta il passaggio di elementi caratterizzati da dimensioni non superiori alla metà della larghezza del tombino; in alternativa il tombino è da dimensionare assumendo che la sezione efficace ai fini del deflusso delle acque sia ridotta almeno alla metà di quella effettiva. È in ogni caso da garantire l'accesso in alveo ai mezzi necessari per le operazioni di manutenzione ordinaria o straordinaria da svolgere dopo gli eventi di piena	il bacino a monte è di dimensioni molto limitate, così come la portata di piena. Non si teme un trasporto solido in grado di compromettere, neppure temporaneamente, la sezione del tombino
i tratti del corso d'acqua immediatamente prospicienti l'imbocco e lo sbocco del manufatto devono essere protetti da fenomeni di scalzamento e/o erosione, e opportune soluzioni tecniche sono da adottare per evitare i fenomeni di sifonamento	intorno ai tubolari è stato realizzato un getto di magrone, che non sarà assoggettabile a fenomeni di sifonamento

Si ritiene, quindi, che la verifica del tombino possa considerarsi superata positivamente.