

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



CUP J34G18000150001

U.O. INFRASTRUTTURE CENTRO

PROGETTO DEFINITIVO

LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO
NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA”

ADEGUAMENTO PRG DI BRESSANONE

RELAZIONE IDRAULICA

ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

I B 0 I 0 0 D 2 9 R I I D 0 0 0 2 0 0 1 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	D. Orlando 	Giugno 2020	C. Voplini 	Giugno 2020	C. Mazzocchi 	Giugno 2020	F. Arduini Dic. 2020 ITALFERR S.p.A. Direzione Tecnica Infrastrutture Centro Dott. Ing. Fabrizio Arduini P.le degli Ingegneri s.n.c. - Prov. di Roma Tel. 06.49.99.44.44
B	Emissione Esecutiva	D. Orlando 	Dic. 2020	C. Voplini 	Dic. 2020	C. Mazzocchi 	Dic. 2020	

File: IB0100D29RIID0002001B.docx

INDICE

1	PREMESSA	3
2	NORMATIVA DI RIERIMENTO	3
3	INQUADRAMENTO INTERFERENZE IDRAULICHE MINORI DI LINEA.....	4
3.1	IN01 – KM 0+543.56 – DESCRIZIONE DELL’INTERFERENZA E DELL’INTERVENTO	4
3.1.1	<i>Monitoraggio Trasporto Solido durante la costruzione dell’opera</i>	7
4	STUDIO IDROLOGICO.....	7
5	STUDIO IDRAULICO	8
5.1	CRITERI DI VERIFICA	8
5.1.1	<i>Manuale di Progettazione RFI.....</i>	8
5.1.2	<i>NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa.....</i>	9
5.1.3	<i>Riepilogo Criteri di Verifica per gli Attraversamenti Minori (Tombini Ferroviari).....</i>	10
5.2	DIMENSIONAMENTO DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE MINORI DI LINEA	12
5.2.1	<i>Metodologie di Dimensionamento.....</i>	12
5.2.2	<i>HEC-RAS.....</i>	12
5.2.3	<i>Errore. L’origine riferimento non è stata trovata.....</i>	12
5.2.4	<i>Parametri del modello HEC-RAS.....</i>	12
5.2.5	<i>Ante Operam</i>	16
5.2.6	<i>Post Operam.....</i>	21
6	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA	26
6.1	AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA	28
6.2	NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE	31
7	APPENDICE 1 – DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO HEC-RAS	32
8	APPENDICE 2 – TABELLA COEFFICIENTI DI MANNING DA CHOW, 1959	43

1 PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto il progetto definitivo dell'adeguamento del piano di stazione di Bressanone, intervento funzionale alla variante ferroviaria, denominata “Variante di Val di Riga”, che conetterà direttamente la linea San Candido - Fortezza alla direttrice Verona - Brennero, mediante la realizzazione di una bretella che si svilupperà, in direzione Sud, fra Rio Pusteria e Bressanone.

L'elaborato tecnico è finalizzato alla verifica della compatibilità dell'intervento del prolungamento di un tombino esistente; tale intervento non è diversamente localizzabile. La compatibilità è stata valutata soltanto in termini di effetto sul tirante idrico duecentennale in quanto, non andando l'intervento del prolungamento ad occupare aree di naturale esondazione dell'alveo, non è sorta la necessità di rivalutare le aree di esondazione; si è approcciato quindi con un modello monodimensionale. Si è ritenuto congruo utilizzare uno schema di modellazione monodimensionale anche in virtù dell'esigua portata duecentennale di progetto.

Si sottolinea come, causa COVID-19, non sia stato possibile usufruire di rilievi in sito effettuati appositamente per la modellazione idraulica. Le analisi sono pertanto affette da un grado di incertezza intrinseco ed andranno rivalutate con dei rilievi appositi.

2 NORMATIVA DI RIERIMENTO

- NTC 2018 “Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018 e relativa circolare applicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni”;
- Manuale di Progettazione RFI 2019;
- Distretto Delle Alpi Orientali - *Piano Di Gestione Del Rischio Di Alluvioni*
- Distretto Delle Alpi Orientali - Piano Stralcio Per La Tutela Dal Rischio Idrogeologico Bacino dell'Adige - Regione Del Veneto: *Norme Di Attuazione e Prescrizioni Di Piano*
- Provincia Autonoma Di Bolzano - Piano delle zone di pericolo Idrogeologico Comune di Bressanone – Elaborato - *AB IX Relazione dettagliata - Pericoli idraulici*

3 INQUADRAMENTO INTERFERENZE IDRAULICHE MINORI DI LINEA

In questo paragrafo viene presentata l’unica interferenza idraulica minore oggetto di intervento, individuata con la WBS IN01. Tale interferenza, situata presso il km 0+543.56, rappresenta l’intersezione tra il Rio di Tilles e l’intervento di adeguamento del PRG di Bressanone. In Figura 1 viene proposto un inquadramento dell’interferenza.

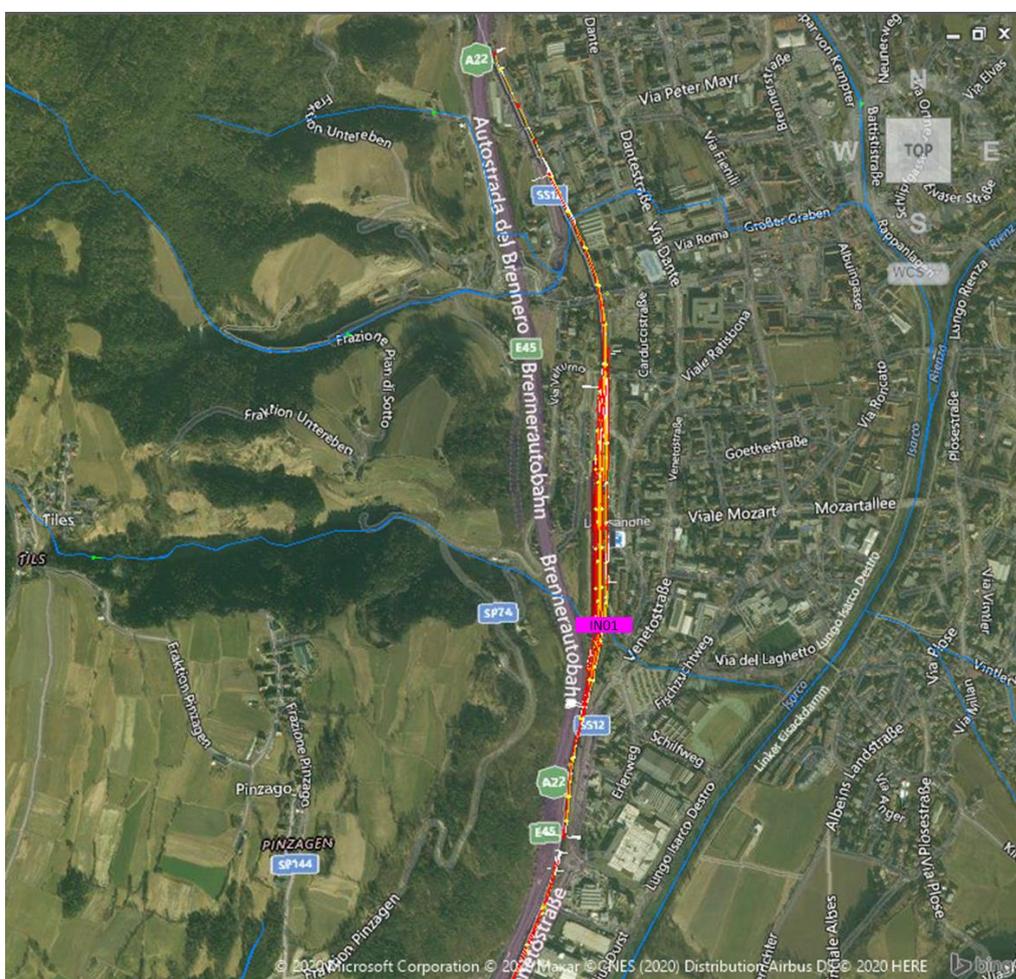


Figura 1 - Inquadramento IN01

3.1 IN01 – km 0+543.56 – Descrizione dell’interferenza e dell’intervento

Il tombino idraulico esistente, ubicato alla pk. 0+543.56, viene sottoposto ad un prolungamento. Il prolungamento avviene lato monte, in coerenza con l’allargamento della piattaforma ferroviaria.

Le fasi di realizzazione del prolungamento del tombino e dell’allargamento della sede ferroviaria possono così essere riassunte:

- Fase 1: demolizione della porzione di tombino esistente
- Fase 2: realizzazione del nuovo tombino, previa realizzazione della paratia di pali;
- Fase 3: dismissione della sede ferroviaria esistente e interruzione di esercizio ferroviario; realizzazione dei nuovi binari e completamento della sede ferroviaria.

Il prolungamento avverrà tramite un solettone appoggiato su pali ed una sistemazione della sezione esistente.

Si mette in evidenza come non vi sarà presente una diminuzione della luce. La compatibilità è stata valutata soltanto in termini di effetto sul tirante idrico duecentennale in quanto, non andando l’intervento del prolungamento ad occupare aree di naturale esondazione dell’alveo, non è sorta la necessità di rivalutare le aree di esondazione; si è approcciato quindi con un modello monodimensionale.

Nelle figure seguenti e negli specifici elaborati vengono date indicazioni sulla tipologia di intervento.



Figura 2 – Interventi in progetto: verde manutenzione ordinaria; giallo prolungamento del tombino.

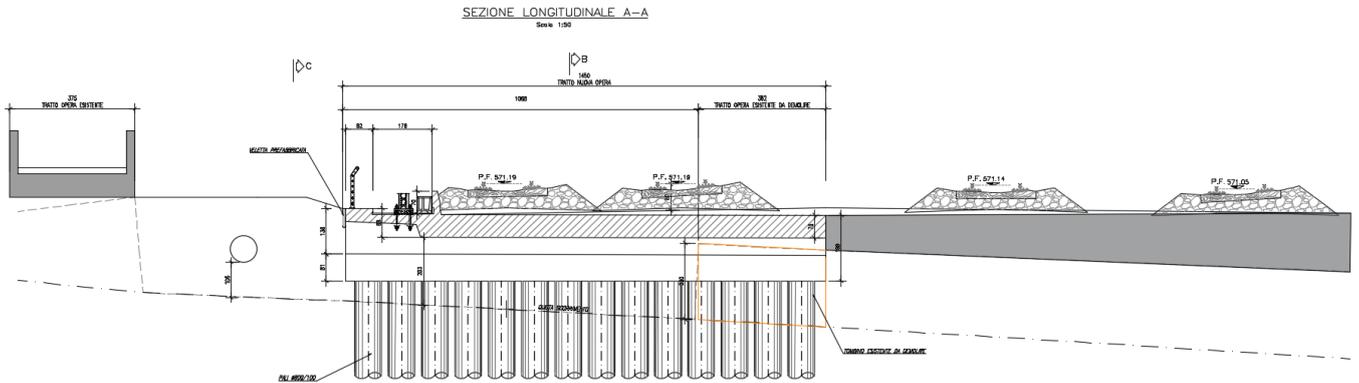


Figura 3 – Sezione longitudinale del prolungamento del tombino

SEZIONE TRASVERSALE B-B
Scala 1:50

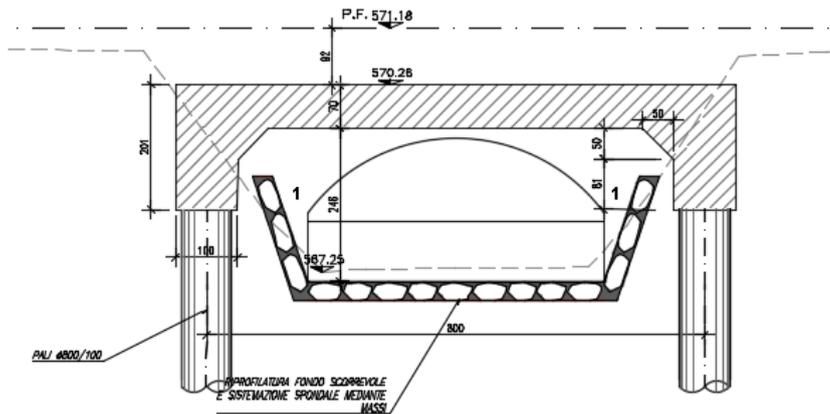


Figura 4 – Sezione Trasversale del prolungamento del Tombino

SEZIONE TRASVERSALE C-C

Scala 1:50

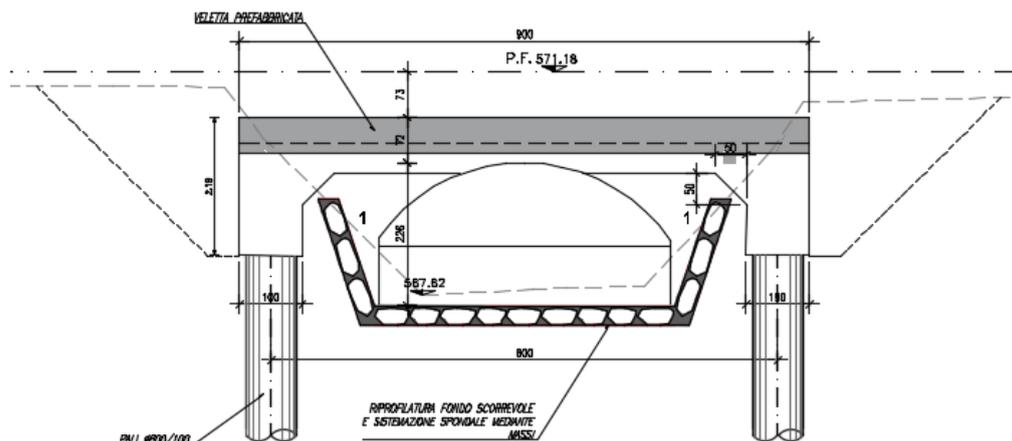


Figura 5 – Sezione trasversale del prolungamento del Tombino

3.1.1 Monitoraggio Trasporto Solido durante la costruzione dell'opera

Durante tutte le fasi degli interventi necessari alla costruzione del prolungamento del tombino deve predisposto un monitoraggio giornaliero del trasporto solido del Rio di Tilles. Tale monitoraggio dovrà concretizzarsi nella redazione di una relazione giornaliera, corredata di documentazione fotografica, volta ad attestare la pulizia del corso d'acqua nei confronti di sedimenti di qualsiasi natura provenienti dalle operazioni necessarie alla costruzione dell'opera.

Deve essere evitato ogni peggioramento, attribuibile alle operazioni necessarie alla costruzione dell'opera, delle funzionalità idraulica dei tombini a valle dell'opera stessa.

4 STUDIO IDROLOGICO

Le portate afferenti all'interferenza idraulica in oggetto della presente relazione sono state calcolate nell'elaborato specifico della relazione idrologica, ovvero l'elaborato IB0I00D09RIID0001001A – “Relazione idrologica - Bacino del Fiume Isarco”

Il valore del contributo di portata è stato calcolato per un tempo di ritorno di 200 anni; il valore è riportato nella seguente tabella:

Tabella 1 – Portata di progetto – estratto dell’elaborato IB0I00D09RIID0001001A

INTERFERENZA	Portata (m ³ /s)	Coefficiente Udometrico (m ³ /skm ²)
<i>IN01 – km 0+543.56</i>	6.05	2.67

5 STUDIO IDRAULICO

5.1 CRITERI DI VERIFICA

5.1.1 *Manuale di Progettazione RFI*

Come previsto dal Manuale di Progettazione ferroviario ogni tipo di manufatto idraulico deve essere verificato utilizzando i seguenti tempi di ritorno Tr :

...omississ...

c) *Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria $Tr= 300$ anni per $S > 10$ km²*
- *linea ferroviaria $Tr= 200$ anni per $S < 10$ km²*
- *deviazioni stradali $Tr=200$ anni*

...omississ...

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento secondarie il manuale prevede quanto segue: “ Le tipologie ammesse sono:

- *tombini circolari in c.a. con diametro minimo 1.5m;*
- *tombini scatolari in c.a. con dimensione minima 2m;*

Sono ammessi fino a due tombini affiancati.

In nessun caso saranno ammessi attraversamenti con opere a sifone.

La pendenza longitudinale del fondo dell’opera non dovrà essere inferiore al 2‰ e ciò al fine di impedire la sedimentazione di eventuale materiale solido trasportato.

La sezione di deflusso complessiva del tombino dovrà consentire lo smaltimento della portata massima di piena con un grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.

Dovranno essere previsti gli opportuni accorgimenti per evitare, in corrispondenza delle fondazioni del manufatto, fenomeni di scalzamento o erosione.”

5.1.2 NTC 2018 e relativa Circolare esplicativa

Come previsto dalla Norme Tecniche per le Costruzioni e la relativa circolare Applicativa, tutti gli attraversamenti minori dovranno rispettare le seguenti prescrizioni:

...omississ...

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 m³/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 $1,5 \text{ m}^2$ 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 $1,5 \text{ m/s}$;*
- *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 $0,50 \text{ m}$;*
- *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: $0,5 \text{ bar}$ 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.*
- *Nel caso il tombino sia opera provvisoria, ovvero a servizio di un cantiere, le precedenti disposizioni possono essere assunte come elementi di riferimento, tenendo opportunamente conto del tempo di utilizzo previsto per l'opera provvisoria stessa.*

5.1.3 Riepilogo Criteri di Verifica per gli Attraversamenti Minori (Tombini Ferroviari)

Vengono riepilogati i criteri di verifica per i tombini ferroviari

Tabella 2 - Riepilogo Criteri di Verifica Attraversamenti Minori (Tombini)

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e relativa circolare applicativa
Manufatti di attraversamento minori (tombini)	<ul style="list-style-type: none"> • <i>linea ferroviaria $Tr= 300$ anni per $S > 10 \text{ km}^2$</i> • <i>linea ferroviaria $Tr= 200$ anni per $S < 10 \text{ km}^2$</i> • <i>deviazioni stradali $Tr=200$ anni</i> 	<p><i>$Tr = 200$ anni</i></p> <p><i>Per portate maggiori di $50 \text{ m}^3/\text{s}$ va previsto ponte</i></p>
Grado di riempimento	<i>Min. 70%</i>	<i>Min. 2/3 dell'altezza e comunque franco 50 cm dall'intradosso</i>

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A

5.2 DIMENSIONAMENTO DELLE INTERFERENZE IDRAULICHE MINORI DI LINEA

5.2.1 Metodologie di Dimensionamento

Il tombino è stato dimensionato con uno schema di moto permanente monodimensionale. Per il tombino IN01 è stato utilizzato il programma HEC-RAS, in quanto è presente una ben definita asta fluviale. Si riporta una breve descrizione del programma sopra citato; un approfondimento allo stesso è riportato in appendice.

5.2.2 HEC-RAS

HEC – RAS 5.0.7 River Analysis System, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, è un programma di calcolo monodimensionale a moto permanente che fornisce un'adeguata rappresentazione del fenomeno, descrivendo le principali grandezze fisiche per ogni sezione idraulica di calcolo. I fondamenti concettuali sono riportati in APPENDICE 1 – DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO HEC-RAS

5.2.3 Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.

In questo paragrafo vengono riportate le analisi ante e post operam relative all'intervento di prolungamento del tombino IN01.

5.2.4 Parametri del modello HEC-RAS

- **Portata**

La portata di calcolo utilizzate sono:

- HQ 30 - Portata Massima (m³/s): 2.459
- HQ 100 - Portata Massima (m³/s): 4.609
- HQ 200 - Portata Massima (m³/s): 6.048
- HQ 300 - Portata Massima (m³/s): 7.858

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A

- **Sezioni di calcolo**

Le sezioni di calcolo sono state ricavate sulla base del Modello Digitale del Terreno DTM - volo LiDAR Solar Tirol 2013 (risoluzione 0,5 x 0,5 m) reperibile sul Geoportale delle Provincia Autonoma di Bolzano.

- **Modellazione delle opere esistenti**

I manufatti rilevati dal rilievo celerimetrico disponibile, ovvero il tombino esistente ed il ponticello antistante, sono stati modellati con l’elemento di HEC-RAS “bridge” per riproporre il più fedelmente possibile la geometria rilevata.

Il Rio di Tilles è interessato inoltre da una serie di ulteriori manufatti che, causa COVID-19, non è stato possibile rilevare. Pertanto, sono stati modellati in maniera qualitativa, sempre con l’elemento “bridge”. Le quote di estradosso ed intradosso delle opere sono state ricavate da considerazioni qualitative sulla base del rilievo Lidar.

- **Condizioni al contorno**

- Condizione di monte: pendenza di moto uniforme pari a 0.125 m/m
- Condizione di valle: pendenza di moto uniforme pari a 0.0085 m/m

- **Coefficienti di scabrezza di Manning**

La stima dei coefficienti di scabrezza di Manning si è basata sui sull’uso del suolo che sui risultati dello studio della pericolosità idraulica effettuato dalla Provincia Autonoma di Bolzano.

Per semplicità si è scelto di limitare le scabrezze delle sezioni a due valori, uno per l’area golenale ed uno per l’alveo inciso.

sono stati utilizzati i seguenti valori

aree golenali

- 0.100 s/m^{1/3} per le aree golenali prevalentemente boschive;
- 0.056 s/m^{1/3} per le aree golenali nei tratti monte e valle del tombino esistente, ipotizzando un rio leggermente sistemato

alveo inciso

- 0.077 s/m^{1/3} per l’alveo naturale nella parte a nord del ponticello prima del tombino, ipotizzando una condizione di rio naturale;
- 0.035 s/m^{1/3} per le sezioni di alveo limitrofe al tombino esistente – valore calibrato su Tr=300;
- 0.033 s/m^{1/3} per l’alveo nella zona urbana esistente con cunetta in cls e/o massi annegati in cls
- 0.025 s/m^{1/3} per le nuove aree di fondo rivestite in massi lsci annegati nel cls;
- 0.015 s/m^{1/3} per le aree rivestite in cls.

- **Verifica dei valori dei coefficienti di Manning**

Al fine di stimare al meglio il valore del coefficiente di Manning è stata eseguita una comparazione qualitativa tra il tirante trecentennale a monte del tombino ricavato dallo studio della Provincia, ed il tirante sempre a monte del tombino ricavata dal modello HEC-RAS.

Tale verifica è puramente qualitativa in quanto i modelli utilizzati sono differenti; ma è utile per rendere i risultati del modello monodimensionale della presente relazione il più possibile coerenti con i risultati del modello bidimensionale della Provincia.

Come si può osservare dalle Figura 6 e Figura 7 il valore del tirante a monte del tombino, per la portata trecentennale, è di circa 0.78 m, il che comporta nel nostro modello monodimensionale, per la stessa sezione, un valore della superficie libera prossimo a 567.8 mslm.

Con il valore di scabrezza di manning del fondo d'alveo pari a $0.035 \text{ s/m}^{1/3}$ è stato ottenuto un valore della superficie libera prossimo pari 568.00 mslm; si ritiene quindi valido, per il tratto tra il tombino esistente ed il ponticello, il precedente valore calibrato del coefficiente di Manning.

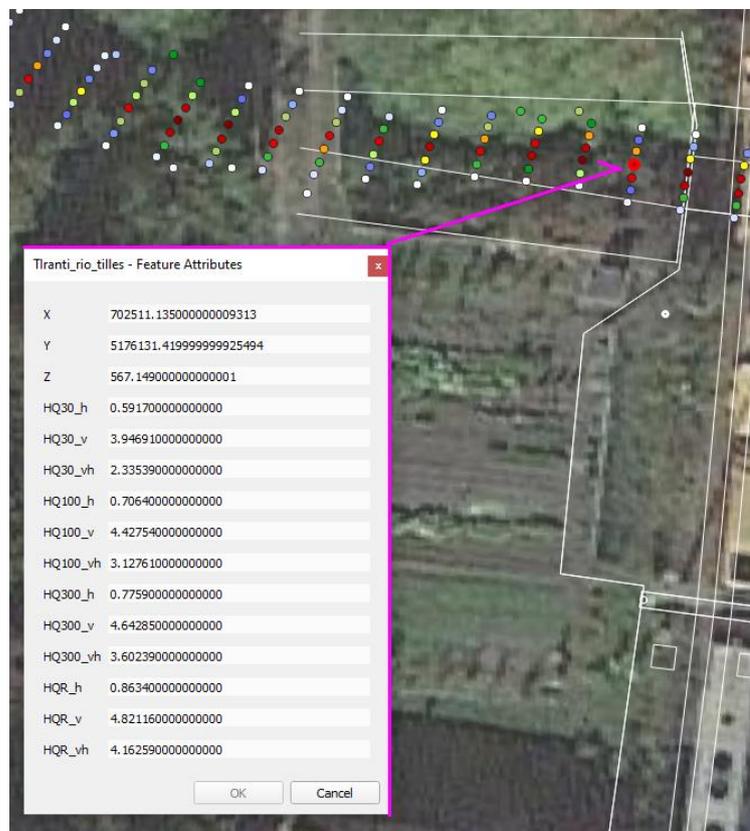


Figura 6 – Grandezze idrauliche ricavate a monte del tombino esistente dallo studio idraulico della Provincia Autonoma di Bolzano

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A

5.2.5 Ante Operam

La modellazione ante-operam ha previsto la valutazione del profilo idrico duecentennale con solo le opere esistenti.

Nella sezione del tombino esistente i risultati delle analisi hanno messo in luce le seguenti grandezze:

Tabella 3 – Sezione Tombino Esistente – Risultati Ante-Operam – Tr=200 anni

INTERFERENZA	Tipologia	Altezza considerata per il G.R.*	Portata	h idrica	Franco linea dei carichi totali - intradosso	G.R.*	v**
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(%)	(m/s)
<i>IN01 – esistente</i>	Sezione ad Arco	h = 1m	6.05	0.56	1.72	56%	3.98-2.72

* G.R. = grado di riempimento

** v = velocità di deflusso

*** viene considerata solo l'altezza del montante pari ad 1 metro

Da notare

come il grado di riempimento sia stato valutato solo sul montante verticale della sezione; ciò implica un notevole margine di sicurezza.

Di seguito sono riportati:

- Planimetria delle sezioni di calcolo
- Profilo idrico Tr=200 anni
- Sezione del Tombino con tirante Tr=200 anni
- Tabella con le grandezze idrauliche di riferimento per ogni sezione di calcolo

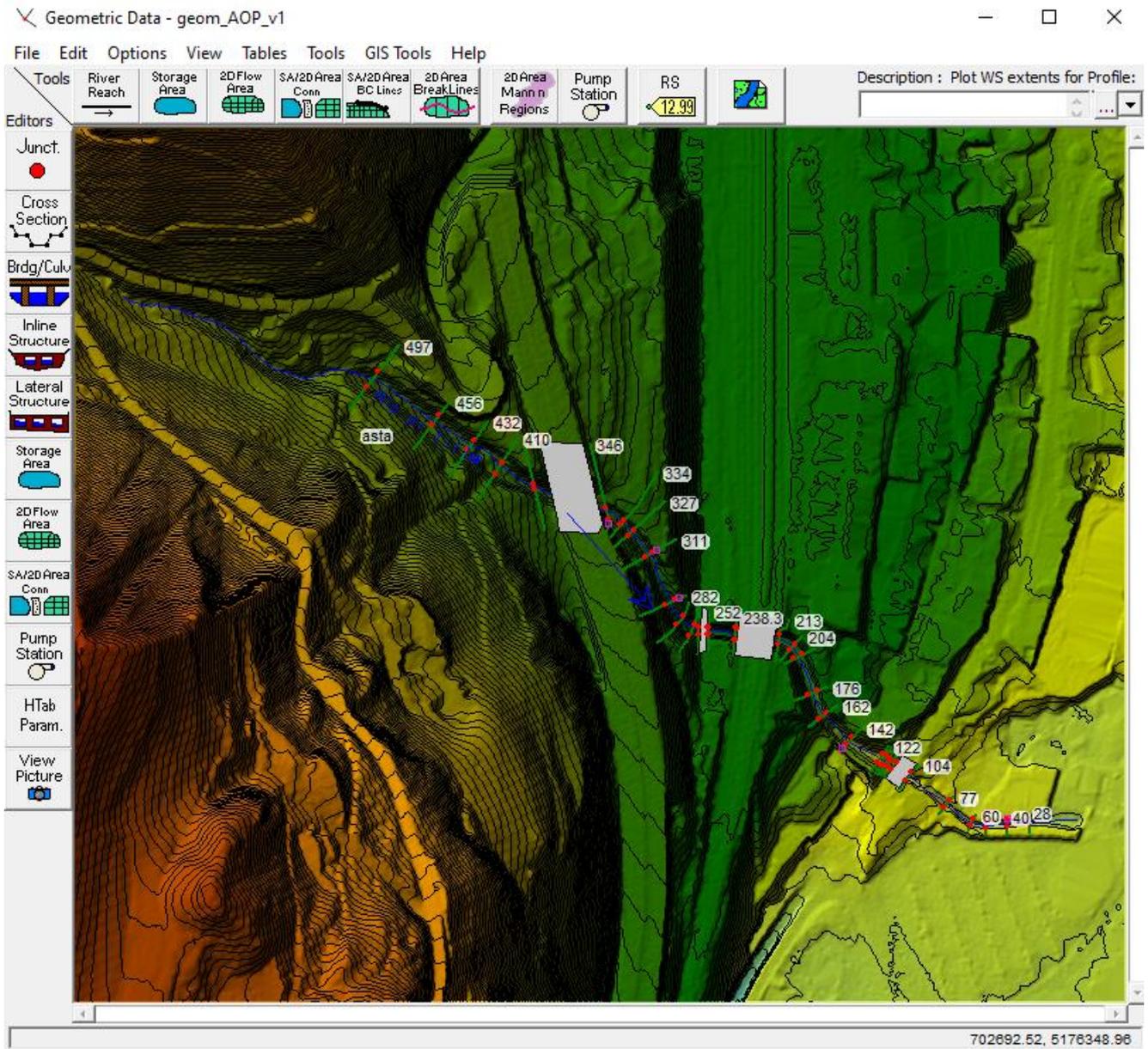


Figura 8 – Planimetria delle sezioni di calcolo Ante Operam

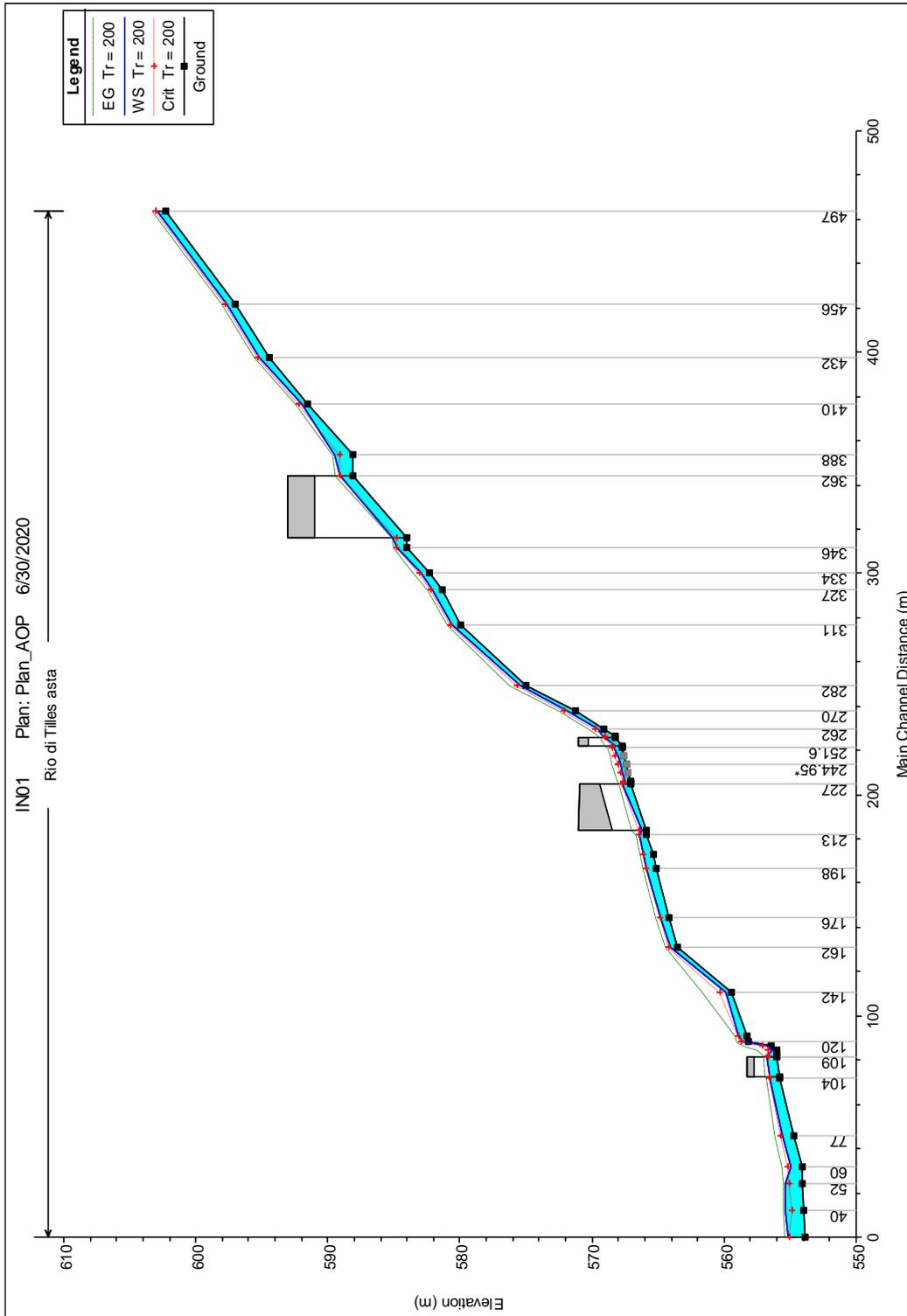


Figura 9 – Profilo Idrico Ante Operam – Tr=200 anni

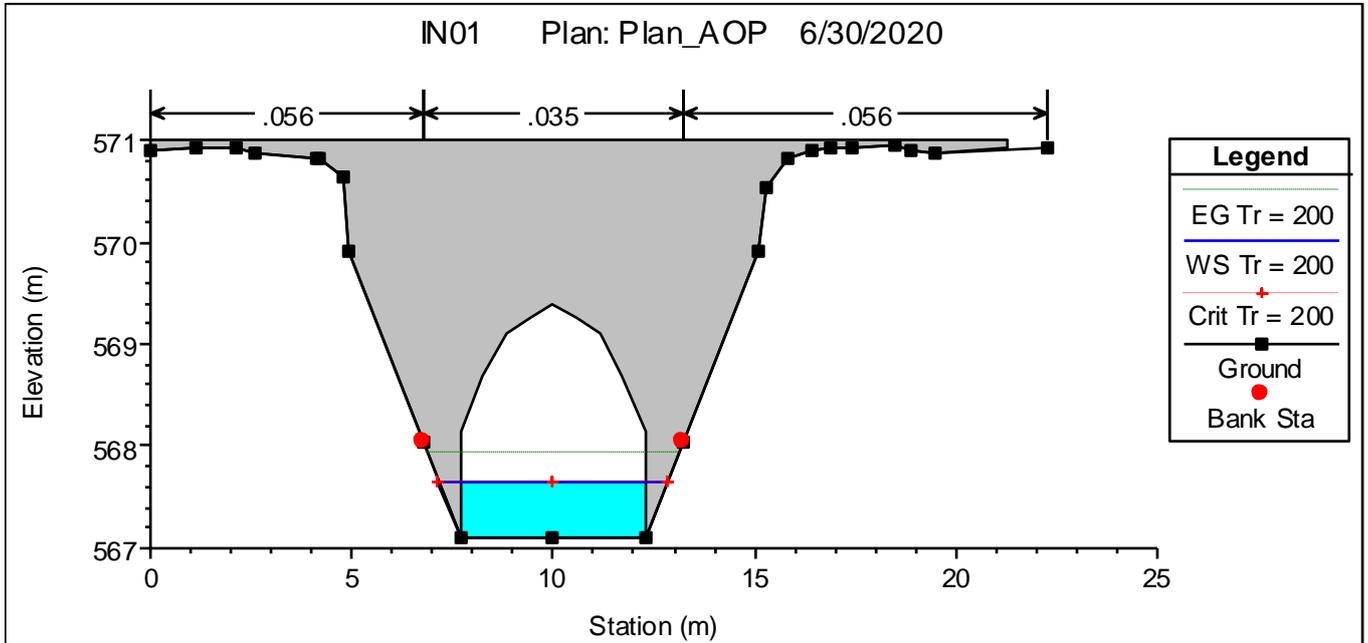


Figura 10 – Sezione del tombino esistente Ante Operam - Tr=200anni

Tabella 4 – Risultati per sezione della simulazione Ante Operam – Tr=200 anni

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
497	Tr = 200	6.05	602.29	602.96	603.02	603.24	0.12503	2.33	2.6	7.01	1.22
456	Tr = 200	6.05	596.96	597.66	597.73	598.01	0.125854	2.64	2.29	4.97	1.24
432	Tr = 200	6.05	594.48	595.24	595.25	595.49	0.086496	2.23	2.72	5.88	1.05
410	Tr = 200	6.05	591.59	592.01	592.14	592.44	0.275785	2.9	2.09	7.42	1.75
388	Tr = 200	6.05	588.14	589.49	589.03	589.59	0.010817	1.37	4.86	5.71	0.42
362		Bridge									
346	Tr = 200	6.05	584.05	584.74	584.74	584.98	0.082167	2.19	2.76	5.77	1.01
334	Tr = 200	6.05	582.32	582.9	583.08	583.51	0.208303	3.45	1.77	4.02	1.61
327	Tr = 200	6.05	581.39	582.12	582.16	582.45	0.0932	2.53	2.4	4.5	1.09
311	Tr = 200	6.05	579.94	580.64	580.68	580.96	0.088874	2.52	2.44	4.82	1.08
282	Tr = 200	6.05	574.97	575.42	575.65	576.22	0.474029	3.95	1.53	5.08	2.3
270	Tr = 200	6.05	571.28	571.9	572.06	572.43	0.227167	3.22	1.88	4.76	1.64
262	Tr = 200	6.05	569.08	569.52	569.7	570.13	0.380804	3.48	1.74	5.97	2.06
258	Tr = 200	6.05	568.26	569.21	569.04	569.4	0.036967	1.96	3.13	4.35	0.71
255		Bridge									
252	Tr = 200	6.05	567.71	568.47	568.47	568.78	0.016142	2.47	2.46	4.12	1
251.6	Tr = 200	6.05	567.72	568.34	568.43	568.76	0.028568	2.87	2.11	4.19	1.29
248.28*	Tr = 200	6.05	567.57	568.08	568.24	568.61	0.043916	3.25	1.86	4.35	1.59
244.95*	Tr = 200	6.05	567.42	567.87	568.04	568.43	0.051107	3.32	1.82	4.65	1.7
241.63*	Tr = 200	6.05	567.26	567.67	567.84	568.23	0.05537	3.32	1.82	4.96	1.75
238.3	Tr = 200	6.05	567.11	567.49	567.65	568.01	0.054499	3.2	1.89	5.37	1.72
238	Tr = 200	6.05	567.1	567.85	567.64	567.96	0.005661	1.52	3.98	6.09	0.6
227		Bridge									
213	Tr = 200	6.05	565.85	566.38	566.38	566.64	0.043256	2.23	2.72	5.5	1
204	Tr = 200	6.05	565.4	566.11	566.05	566.31	0.025954	2.02	3.14	6.08	0.84
198	Tr = 200	6.05	565.16	565.84	565.84	566.1	0.042302	2.25	2.69	5.29	1.01
176	Tr = 200	6.05	564.17	564.83	564.85	565.11	0.047689	2.34	2.59	5.41	1.07
162	Tr = 200	6.05	563.48	564.07	564.12	564.39	0.057338	2.48	2.44	5.44	1.17
142	Tr = 200	6.05	559.46	559.9	560.28	561.6	0.529793	5.78	1.05	3.34	3.3
122	Tr = 200	6.05	558.22	558.89	558.9	559.15	0.044855	2.24	2.7	5.63	1.04
120	Tr = 200	6.05	558.17	558.6	558.71	559	0.102546	2.77	2.18	6.21	1.49
119	Tr = 200	6.05	556.43	556.8	557.14	558.47	0.757359	5.72	1.06	4.44	3.74
117	Tr = 200	6.05	555.98	556.39	556.66	557.37	0.27583	4.39	1.38	4.1	2.42
114	Tr = 200	6.05	555.98	556.81	556.69	557.01	0.025663	2	3.02	4.45	0.78
109		Bridge									
104	Tr = 200	6.05	555.77	556.53	556.53	556.81	0.015001	2.38	2.54	4.47	1.01
77	Tr = 200	6.05	554.77	555.53	555.73	556.17	0.041907	3.53	1.72	3.64	1.64
60	Tr = 200	6.05	554.13	554.94	555.15	555.59	0.040341	3.58	1.69	3.17	1.56
52	Tr = 200	6.05	554.11	555.35	555	555.47	0.003842	1.56	3.9	4.7	0.53
40	Tr = 200	6.05	553.97	555.32	554.88	555.43	0.002958	1.47	4.17	4.56	0.47
28	Tr = 200	6.05	553.9	555.15	555.02	555.36	0.008502	2.06	2.98	4.68	0.76

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A

5.2.6 Post Operam

La modellazione ante-operam ha previsto la valutazione del profilo idrico duecentennale con il prolungamento dell'esistente.

Per cautela e coerenza con la tipologia costruttiva (dato che il prolungamento ha una forma trapezia e non ad arco) si è scelto di modellare il prolungamento come opera aggiuntiva a monte del tombino esistente.

Nella sezione del tombino esistente i risultati delle analisi hanno messo in luce le seguenti grandezze:

Tabella 5 – Sezione Tombino Esistente – Risultati Post-Operam – Tr=200 anni

INTERFERENZA	Tipologia	Altezza considerata per il G.R.*	Portata	h idrica	Franco linea dei carichi totali - intradosso	G.R.*	v**
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(%)	(m/s)
<i>IN01 – prolungamento</i>	Sezione Trapezia	1.85	6.05	0.72	0.83	39%	2.16-1.54
<i>IN01 – esistente</i>	Sezione ad Arco	h* = 1m	6.05	0.56	1.44	56%	1.52-2.21

* G.R. = grado di riempimento

** v = velocità di deflusso

*** viene considerata solo l'altezza del montante pari ad 1 metro

Da notare come il grado di riempimento del tombino esistente sia stato valutato solo sul montante verticale della sezione, ciò implica un notevole margine di sicurezza. Per il prolungamento è stato valutato rispetto la quota di intradosso dell'opera.

Di seguito sono riportati:

- Planimetria delle sezioni di calcolo
- Profilo idrico Tr=200 anni
- Sezione del Tombino con tirante Tr=200 anni
- Tabella con le grandezze idrauliche di riferimento per ogni sezione di calcolo

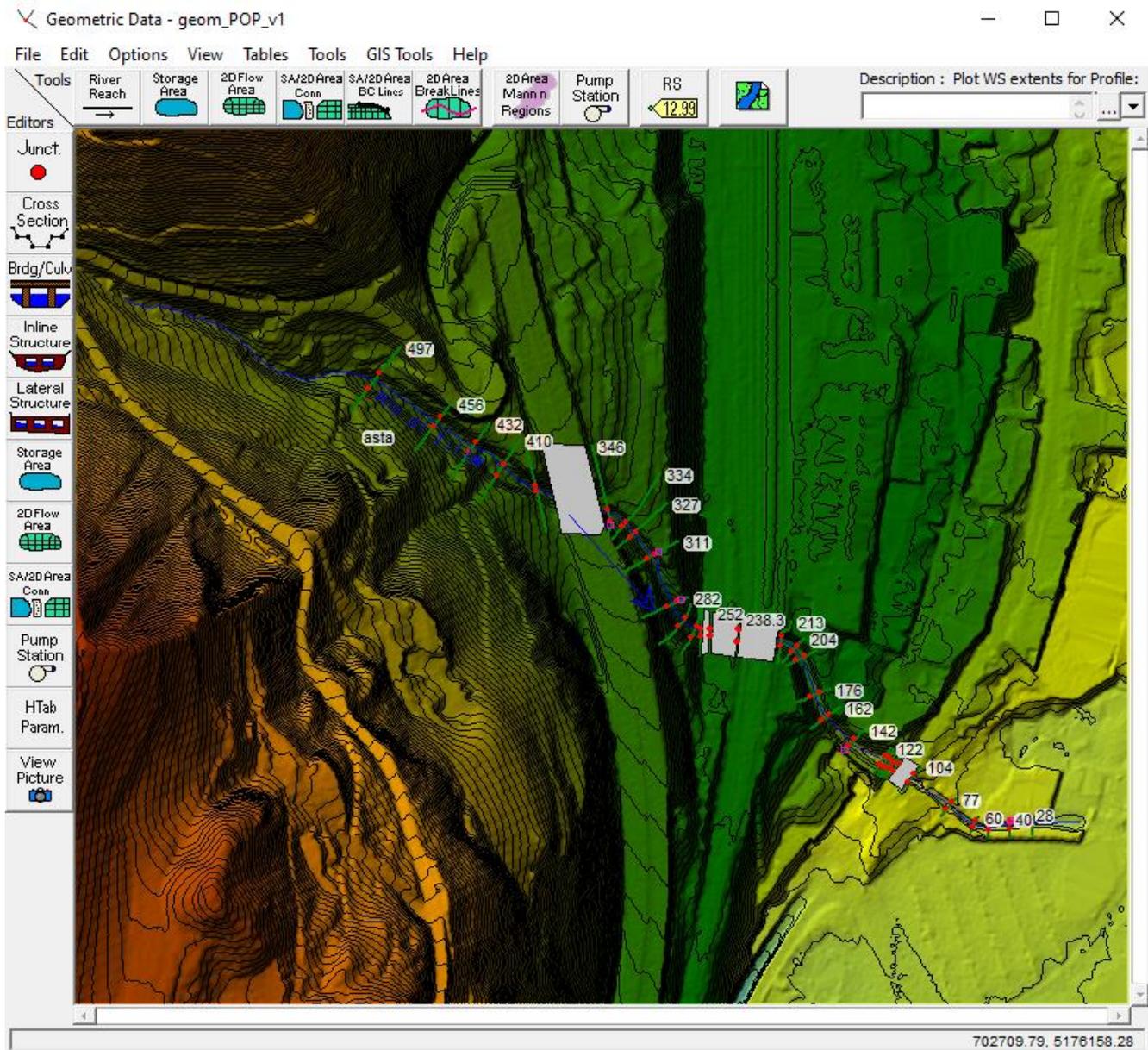


Figura 11 - Geometria Post Operam - Tracciamento delle Sezioni

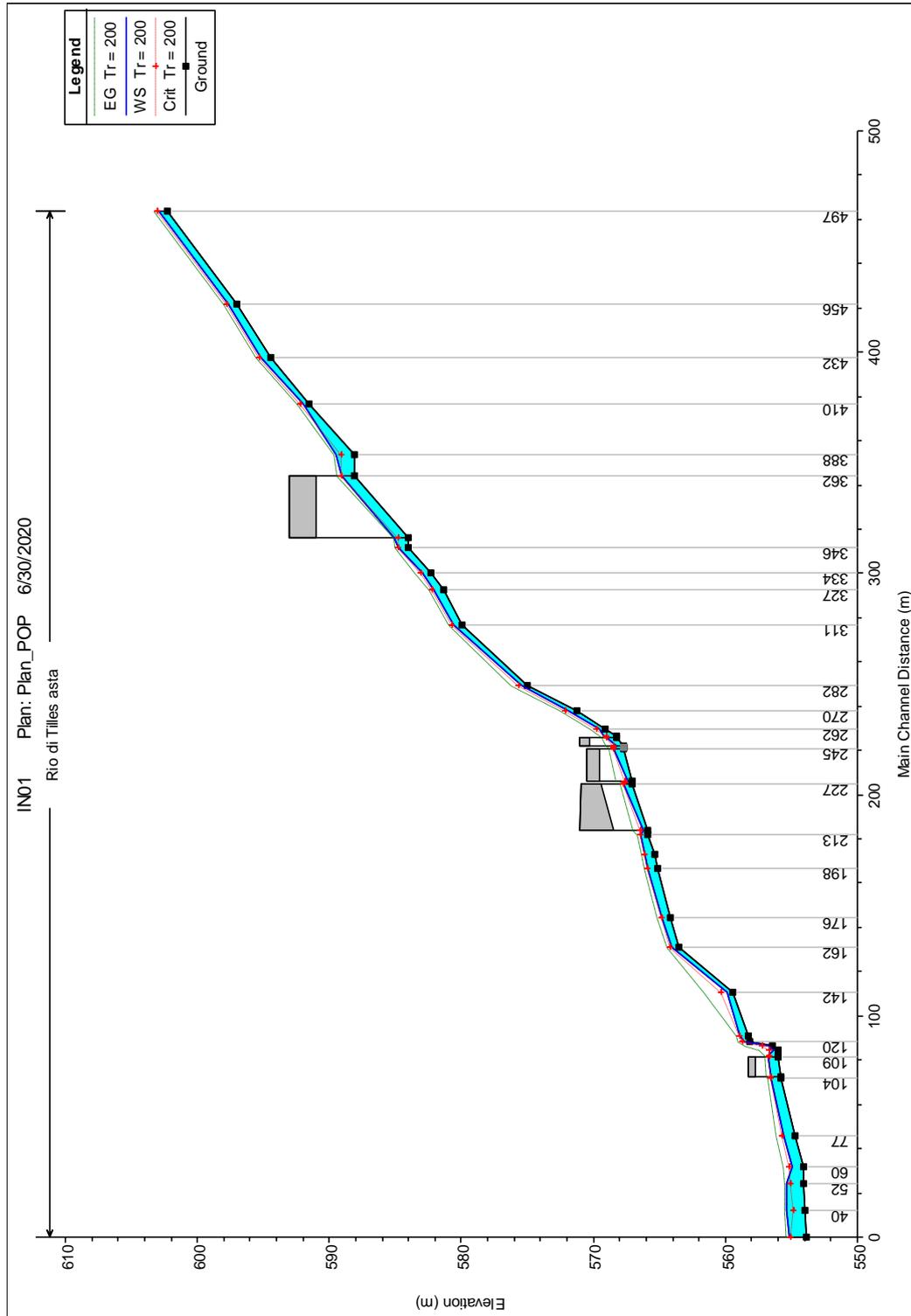


Figura 12 - Profilo Idrico Post Operam – Tr=200 anni

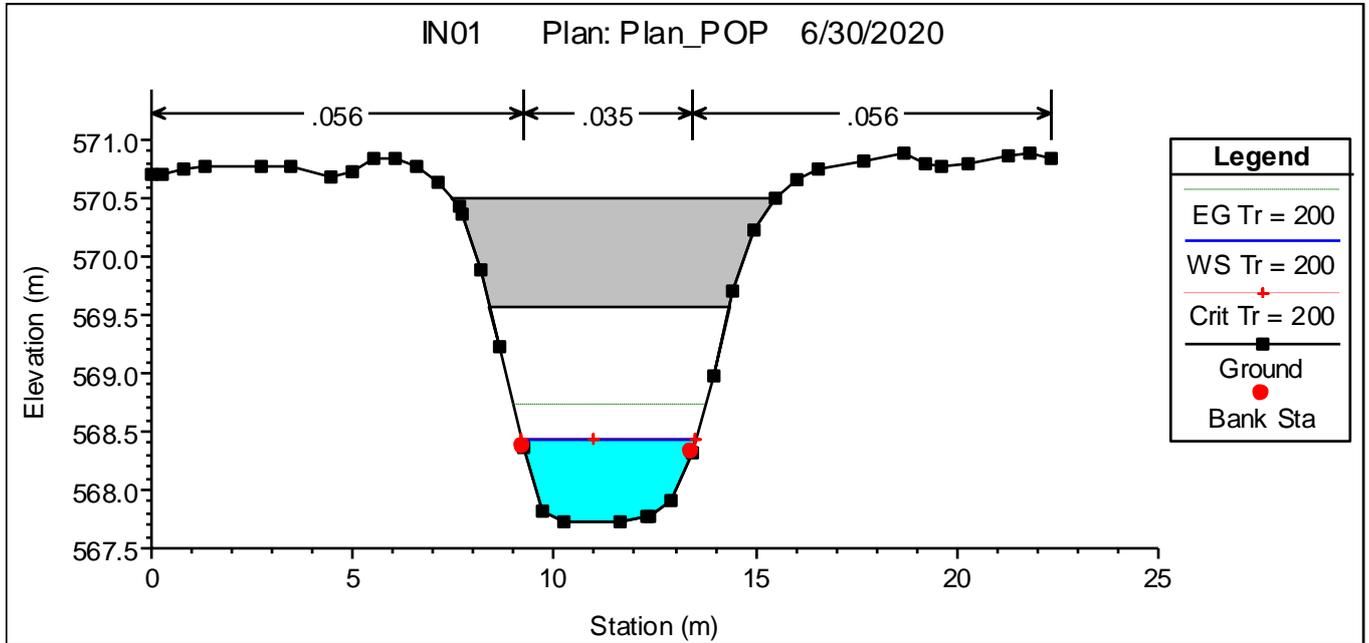


Figura 13 - Sezione del prolungamento del tombino Post Operam - Tr=200anni

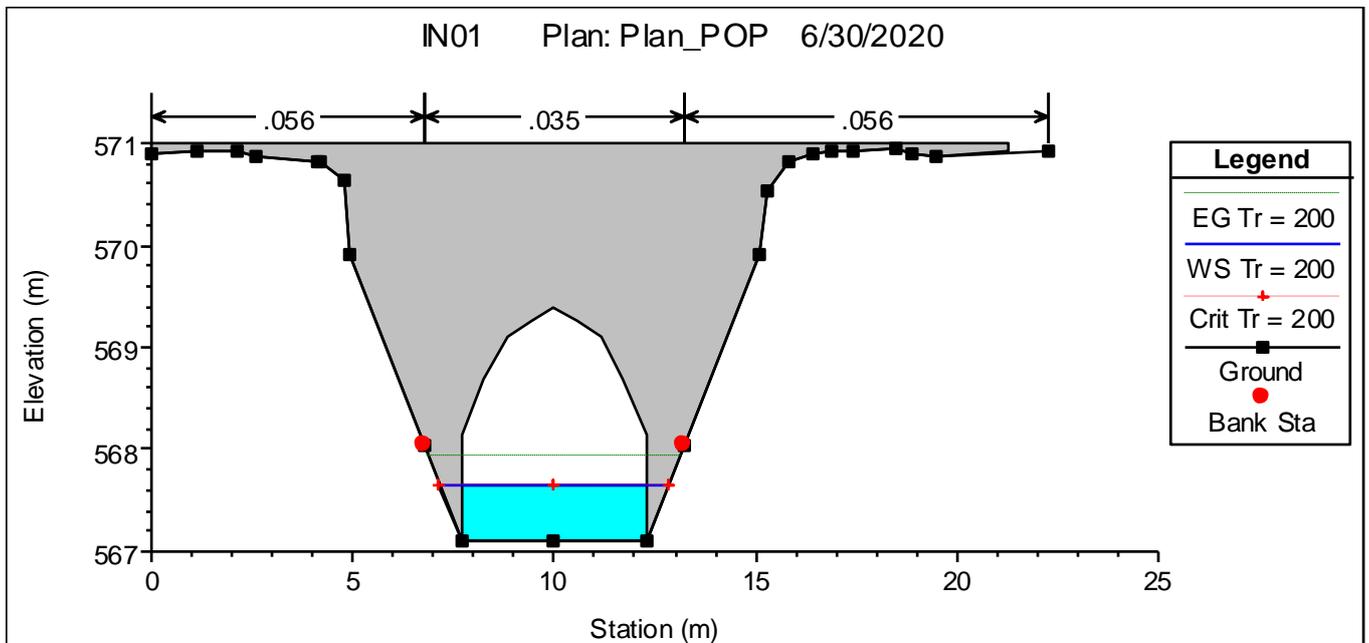


Figura 14 - Sezione del tombino esistente Post Operam - Tr=200anni

Tabella 6 - Risultati per sezione della simulazione Post Operam – Tr=200 anni

River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
497	Tr = 200	6.05	602.29	602.96	603.02	603.24	0.12503	2.33	2.6	7.01	1.22
456	Tr = 200	6.05	596.96	597.66	597.73	598.01	0.125796	2.64	2.29	4.97	1.24
432	Tr = 200	6.05	594.48	595.24	595.26	595.49	0.086613	2.23	2.72	5.88	1.05
410	Tr = 200	6.05	591.59	592.01	592.14	592.44	0.274577	2.89	2.09	7.42	1.74
388	Tr = 200	6.05	588.14	589.49	589.04	589.59	0.010817	1.37	4.86	5.71	0.42
362	Bridge										
346	Tr = 200	6.05	584.05	584.74	584.74	584.98	0.082167	2.19	2.76	5.77	1.01
334	Tr = 200	6.05	582.32	582.9	583.09	583.51	0.208082	3.45	1.77	4.02	1.6
327	Tr = 200	6.05	581.39	582.12	582.16	582.45	0.093258	2.53	2.4	4.5	1.09
311	Tr = 200	6.05	579.94	580.64	580.68	580.96	0.088773	2.52	2.44	4.82	1.08
282	Tr = 200	6.05	574.97	575.42	575.65	576.22	0.475415	3.96	1.53	5.08	2.3
270	Tr = 200	6.05	571.28	571.9	572.06	572.43	0.22649	3.22	1.88	4.76	1.64
262	Tr = 200	6.05	569.08	569.52	569.71	570.13	0.381525	3.48	1.74	5.97	2.06
258	Tr = 200	6.05	568.26	569.21	569.05	569.4	0.036949	1.96	3.13	4.35	0.71
255	Bridge										
252	Tr = 200	6.05	567.71	568.51	568.47	568.78	0.013155	2.33	2.62	4.18	0.91
251.90*	Tr = 200	6.05	567.71	568.47	568.47	568.78	0.015787	2.45	2.48	4.19	0.99
251.80*	Tr = 200	6.05	567.72	568.48	568.47	568.77	0.014974	2.4	2.54	4.27	0.97
251.70*	Tr = 200	6.05	567.72	568.49	568.46	568.76	0.013426	2.31	2.64	4.35	0.92
251.6	Tr = 200	6.05	567.72	568.51	568.44	568.75	0.011093	2.16	2.82	4.45	0.85
245	Bridge										
238.3	Tr = 200	6.05	567.11	567.84	567.65	567.97	0.005943	1.54	3.92	6.09	0.61
238	Tr = 200	6.05	567.1	567.85	567.64	567.96	0.005661	1.52	3.98	6.09	0.6
227	Bridge										
213	Tr = 200	6.05	565.85	566.39	566.39	566.64	0.041856	2.21	2.74	5.51	0.99
204	Tr = 200	6.05	565.4	566.11	566.06	566.31	0.026194	2.03	3.13	6.08	0.84
198	Tr = 200	6.05	565.16	565.84	565.84	566.1	0.041873	2.25	2.69	5.29	1
176	Tr = 200	6.05	564.17	564.83	564.86	565.11	0.048059	2.34	2.59	5.41	1.07
162	Tr = 200	6.05	563.48	564.07	564.13	564.39	0.057291	2.48	2.44	5.44	1.17
142	Tr = 200	6.05	559.46	559.9	560.28	561.6	0.530335	5.78	1.05	3.34	3.3
122	Tr = 200	6.05	558.22	558.9	558.9	559.15	0.042066	2.19	2.76	5.66	1
120	Tr = 200	6.05	558.17	558.6	558.71	559	0.10405	2.79	2.17	6.21	1.5
119	Tr = 200	6.05	556.43	556.8	557.14	558.47	0.755888	5.72	1.06	4.44	3.74
117	Tr = 200	6.05	555.98	556.39	556.66	557.37	0.275645	4.39	1.38	4.1	2.41
114	Tr = 200	6.05	555.98	556.81	556.69	557.01	0.025663	2	3.02	4.45	0.78
109	Bridge										
104	Tr = 200	6.05	555.77	556.53	556.53	556.81	0.015007	2.38	2.54	4.47	1.01
77	Tr = 200	6.05	554.77	555.53	555.74	556.17	0.041854	3.52	1.72	3.64	1.64
60	Tr = 200	6.05	554.13	554.94	555.15	555.59	0.040303	3.57	1.69	3.17	1.56
52	Tr = 200	6.05	554.11	555.35	555	555.47	0.003842	1.56	3.9	4.7	0.53
40	Tr = 200	6.05	553.97	555.32	554.88	555.43	0.002958	1.47	4.17	4.56	0.47
28	Tr = 200	6.05	553.9	555.15	555.02	555.36	0.008502	2.06	2.98	4.68	0.76

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO “VARIANTE VAL DI RIGA” VARIANTE DI RIGA					
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A

6 ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Dal confronto tra le tabelle dei risultati ante e post operam e la comparazione dei profili idrici, si può notare come il prolungamento del tombino non comporti un aumento del tirante all'interno del tombino esistente. Rispetto la situazione iniziale si produce l'effetto di un innalzamento del tirante a monte del prolungamento; tale innalzamento è comunque contenuto nell'ordine di pochi centimetri. In Figura 15 è riportato un dettaglio del confronto tra profili ante e post operam.

Vengono riproposte le dei risultati idraulici ante e post operam. Si può notare che :

- il grado di riempimento del tombino esistente risulta invariato ed è minore del 66%; si ricorda che è stato valutato solo sull'altezza del montante verticale, pari ad 1 metri, non tenendo conto della forma ad arco del tombino.
- il grado di riempimento del tombino del prolungamento è pari a 39%; tale valore risulta minore del grado di riempimento del tombino esistente in quanto è stato valutato rispetto l'intradosso dell'opera di prolungamento.
- I franchi rispetto al carico energetico si mantengono superiori a 0.5m;
- In riferimento al cap. 5.1.2.3 delle NTC 2018 e relativa circolare applicativa, e al Manuale di Progettazione RFI 2019, le tabelle mostrano che sono stati rispettati i requisiti di cui al 5.1.3;
- l'esistente livello di pericolosità idraulica, valutato sul profilo idrico, non viene aggravato per effetto del prolungamento del tombino.

Pertanto l'intervento di prolungamento è ritenuto compatibile con la pericolosità idraulica esistente.

Tabella 7 – Sezione Tombino Esistente – Risultati Ante-Operam – Tr=200 anni

INTERFERENZA	Tipologia	Altezza considerata per il G.R.*	Portata	h idrica	Franco linea dei carichi totali - intradosso	G.R.*	v**
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(%)	(m/s)
<i>INO1 – esistente</i>	Sezione ad Arco	h = 1m	6.05	0.56	1.72	56%	3.98-2.72

* G.R. = grado di riempimento

** v = velocità di deflusso

*** viene considerata solo l'altezza del montante pari ad 1 metro

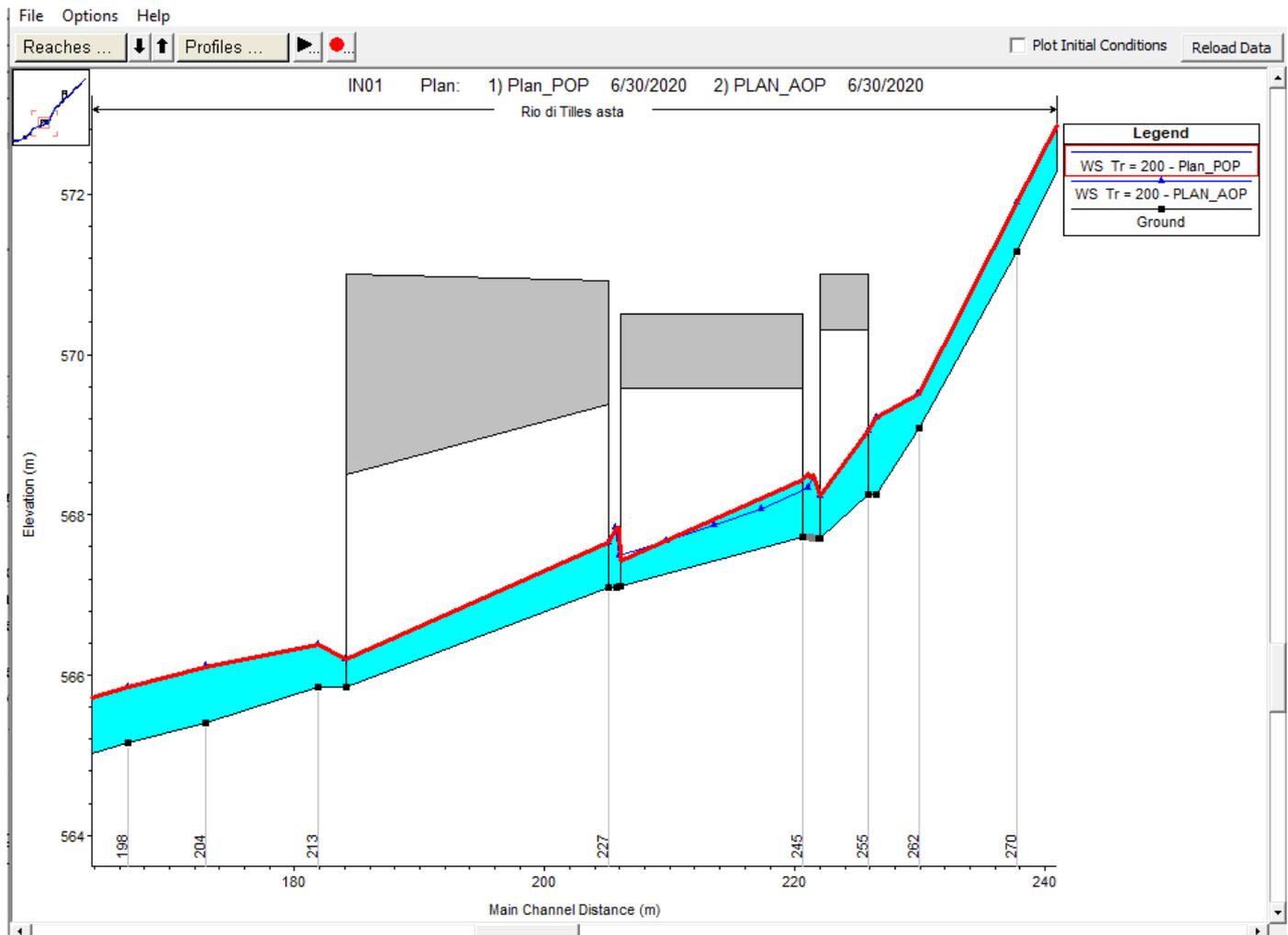
Tabella 8 – Sezione Tombino Esistente – Risultati Post-Operam – Tr=200 anni

INTERFERENZA	Tipologia	Altezza considerata per il G.R.*	Portata	h idrica	Franco linea dei carichi totali - intradosso	G.R.*	v**
			(m ³ /s)	(m)	(m)	(%)	(m/s)
<i>IN01 – prolungamento</i>	Sezione Trapezia	1.85	6.05	0.72	0.83	39%	2.16-1.54
<i>IN01 – esistente</i>	Sezione ad Arco	h* = 1m	6.05	0.56	1.44	56%	1.52-2.21

* G.R. = grado di riempimento

** v = velocità di deflusso

*** viene considerata solo l'altezza del montante pari ad 1 metro


Figura 15 – Confronto Profili Idrico Ante e Post Operam

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA					
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. A	FOGLIO 28 di 45

6.1 AREE DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Nella Figura 16 si riporta un estratto del Piano delle zone di pericolo Idrogeologico - Comune di Bressanone, relativo alle aree di pericolosità idraulica presenti. Nel tratto di intervento il Rio di Tilles presenta per lo più una pericolosità relativa all'alveo inciso.

Si mette in evidenza inoltre in Figura 17, come vi sia una leggera differenza di estensione tra l'impronta delle aree inondabili calcolate con il modello HEC-RAS 1D e l'impronta delle aree inondabili calcolate dalla mappatura ufficiale della pericolosità.

Tale differenza è dovuta a:

- ai diversi schemi di calcolo, in quanto con il modello HEC-RAS si aveva lo specifico obiettivo di valutare unicamente la modifica del profilo idrico duecentennale nelle condizioni ante e posto operam;
- al fatto che il modello HEC-RAS valuta l'impronta dell'area esondata interpolando il pelo idrico tra una sezione e l'altra invece che valutarlo cella per cella come in un approccio bidimensionale; in quest'ultimo risulterà inondata, con lo stesso tirante, tutta la cella di calcolo;
- sempre in Figura 17 si nota come i centri delle celle di calcolo ben si adattino all'impronta dell'area inondata valutata con HEC-RAS 1D, confermando l'ipotesi di cui al punto precedente.

Pertanto si ritiene che l'intervento di prolungamento non produca un aumento della pericolosità idraulica.

Il confronto dei tiranti è stato limitato all'analisi del profilo idrico, in quanto le mappe di pericolosità della provincia sono state ricavate secondo uno schema di modellazione bidimensionale, diverso da quello qui utilizzato per la valutazione del profilo idrico.

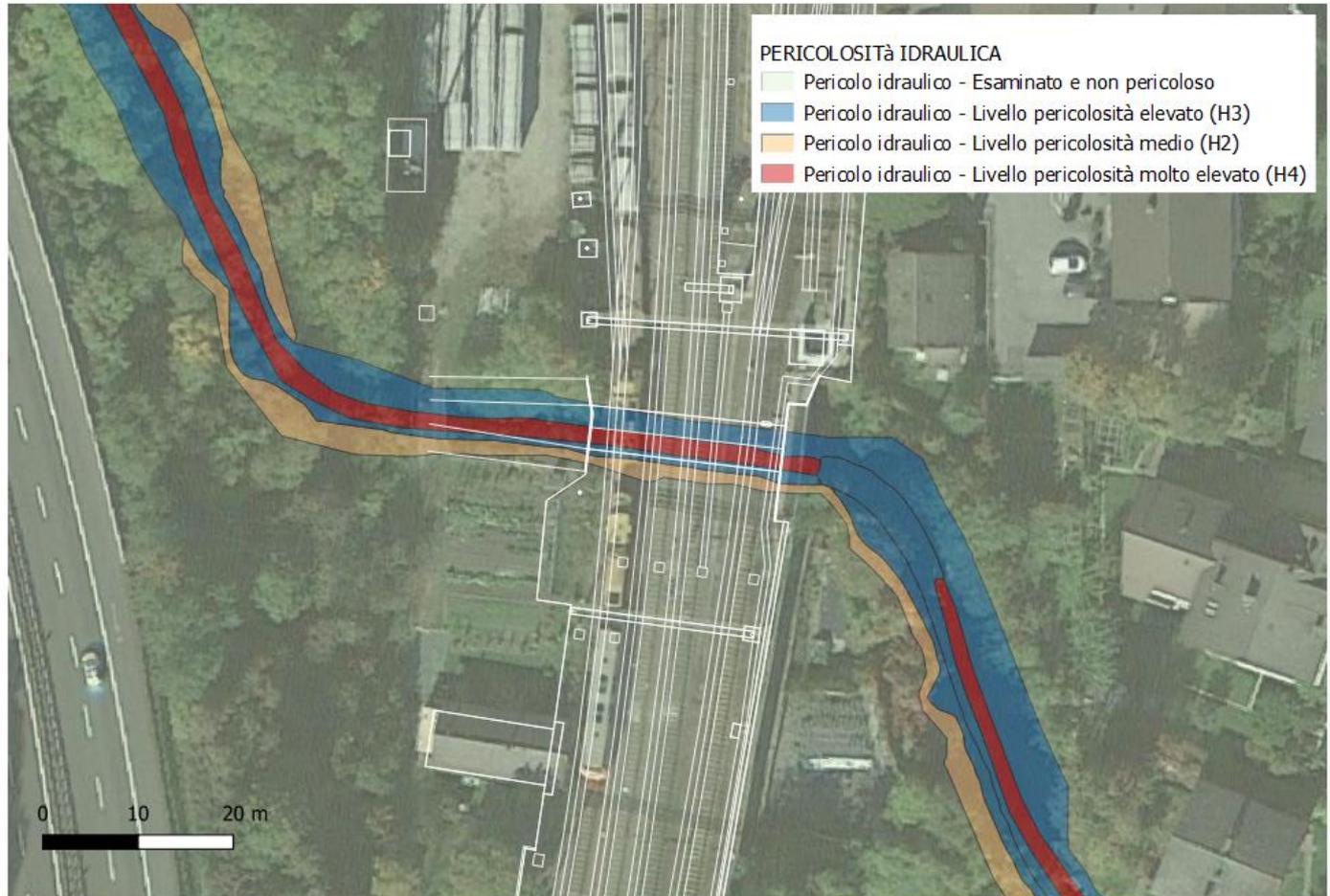


Figura 16 – Aree di Pericolosità Idraulica - Provincia Autonoma Di Bolzano - Piano delle zone di pericolo Idrogeologico Comune di Bressanone

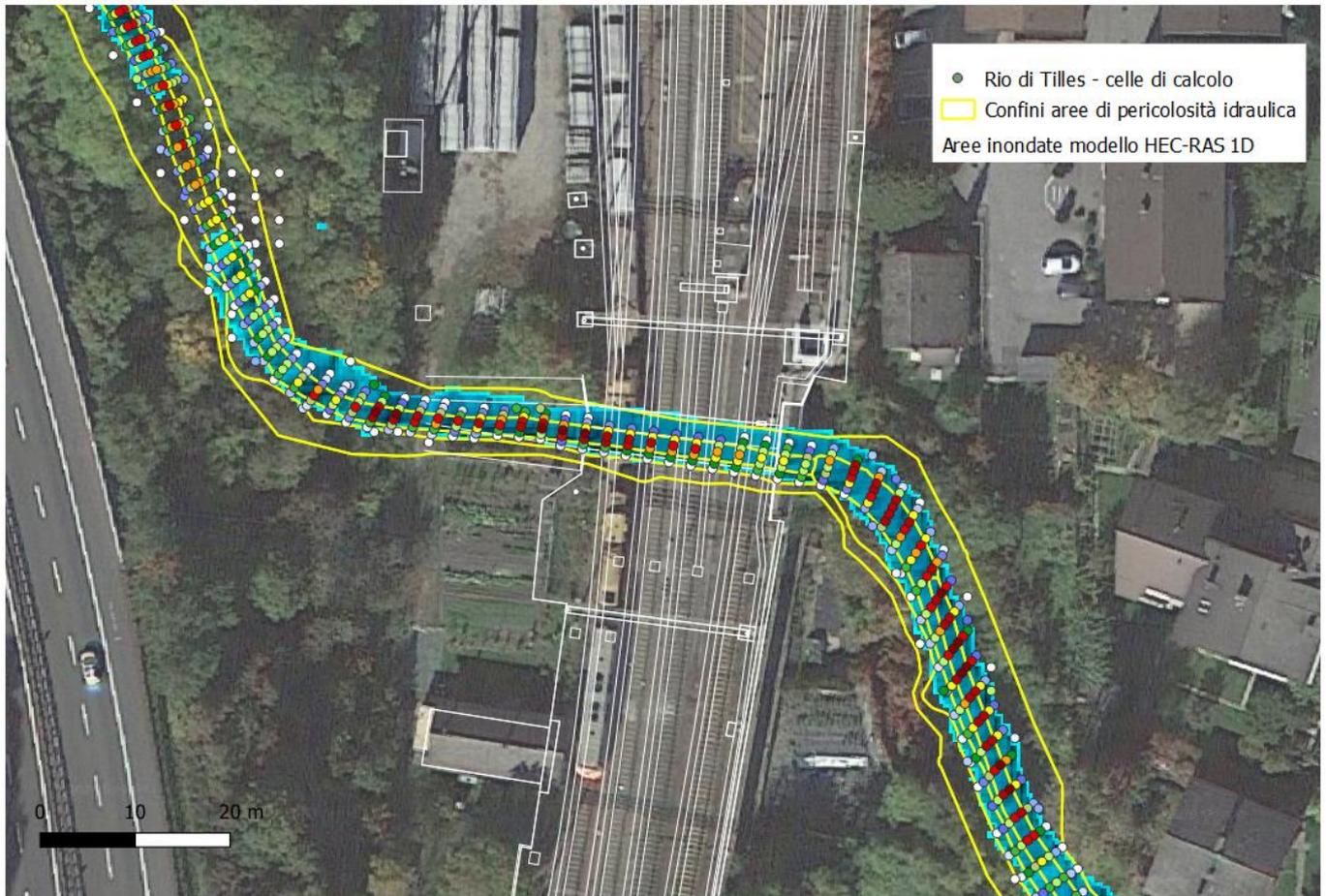


Figura 17 – Confronto tra aree inondate post-operam 1D HEC-RAS, celle di calcolo e impronta pericolosità idraulica della Provincia Autonoma di Bolzano

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA				
RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001	REV. FOGGIO A 31 di 45

6.2 NORME TECNICHE DI ATTUAZIONE

L'intervento in esame rientra nell'articolo 9 commi g ed h; pertanto è ritenuto un intervento compatibile con la normativa vigente. Si riporta un estratto delle Norme Tecniche di Attuazione e Prescrizioni di Piano

... omissis...

ARTICOLO 9 – Disciplina degli interventi nelle aree classificate a pericolosità molto elevata P4

1. Nelle aree classificate a pericolosità molto elevata P4 può essere esclusivamente consentita

l'esecuzione di:

g. realizzazione o ampliamento di infrastrutture a rete pubbliche o di interesse pubblico, diverse da strade o da edifici, riferite a servizi essenziali non diversamente localizzabili o non delocalizzabili ovvero mancanti di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, purché se necessario dotate di sistemi di interruzione del servizio o delle funzioni; nell'ambito di tali interventi sono anche da ricomprendersi eventuali manufatti accessori e di servizio, di modesta dimensione e, comunque, non destinati all'uso residenziale o che consentano il pernottamento;

h. realizzazione o ampliamento di infrastrutture viarie, ferroviarie e di trasporto pubblico nonché di piste ciclopedonali, purché siano contestualmente attuati i necessari interventi di mitigazione della pericolosità o del rischio; in particolare gli interventi di realizzazione di nuove infrastrutture stradali devono anche essere coerenti alle previsioni del piano di protezione civile ove esistente; adeguamenti delle infrastrutture viarie esistenti sono ammissibili anche in deroga all'obbligo di contestuale realizzazione degli interventi di mitigazione solo nel caso in cui gli adeguamenti si rendano necessari per migliorare le condizioni di sicurezza della percorribilità delle stesse;

... omissis...

	LINEA VERONA – BRENNERO E LINEA FORTEZZA – SAN CANDIDO NUOVO COLLEGAMENTO FERROVIARIO "VARIANTE VAL DI RIGA" VARIANTE DI RIGA				
	RELAZIONE IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI MINORI E COMPATIBILITÀ IDRAULICA	COMMESSA IB0H	LOTTO 00	CODIFICA D 29 DI	DOCUMENTO RI 00 02 001

7 APPENDICE 1 – DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO HEC-RAS

Per la valutazione della compatibilità idraulica delle opere in progetto con l'attuale conformazione dei corsi d'acqua interferenti è stato sviluppato uno studio idraulico teso alla determinazione dei profili di rigurgito in moto permanente sia nella configurazione attuale che post operam.

La modellazione idraulica è stata condotta attraverso l'ausilio del programma di calcolo numerico HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center del US Army Corps of Engineers.

Il modello idraulico è ideato per il calcolo del profilo di rigurgito in moto permanente gradualmente vario con l'ipotesi di fondo alveo fisso. In particolare, è basato sulla soluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia valutando le perdite di energia per attrito (equazione di Manning) e quelle causate dalla contrazione o espansione delle sezioni.

Laddove la corrente subisce brusche variazioni, come ad esempio in condizioni di regime misto, nei punti di passaggio da corrente veloce a corrente lenta (risalti idraulici) ed in corrispondenza di confluenze o di attraversamento di ponti, è utilizzata l'equazione della conservazione della quantità di moto.

Nei calcoli possono essere considerati gli effetti di punti singolari quali ponti, sottopassi e manufatti con paratoie.

Conservazione dell'energia totale

Isolando un tratto di fiume e indicando con 1 e 2 le sezioni a monte e a valle del tratto, si è definita l'equazione dell'energia, in riferimento alla Figura seguente, nel modo seguente:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (7.1)$$

dove

h_e , perdite di energia;

V_i , velocità media nella sezione pari al rapporto tra portata totale ed area totale;

α_i , coefficienti legati alla velocità

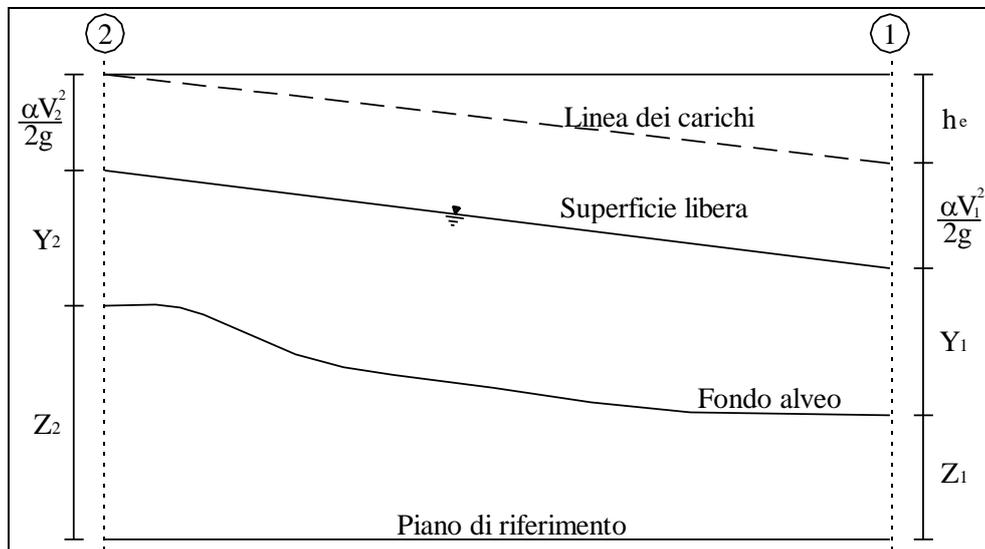


Figura 18 - Schema di calcolo

La perdita di carico h_e presente tra due sezioni è causata prevalentemente dalla perdita per attrito o per le variazioni di velocità intrinseche nelle zone di espansione o contrazione della corrente. Indicando con J la cadente piezometrica e con C un coefficiente che tiene conto del fenomeno dell'espansione o contrazione, le perdite di pressione sono state calcolate nel modo seguente:

$$h_e = LJ + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (7.2)$$

La lunghezza L del ramo è stata valutata tenendo in conto la forma non regolare che presenta la sezione trasversale del fiume.

Il coefficiente C di espansione o contrazione è stato valutato in funzione del tipo di transizione che avviene secondo la Tabella 9 seguente

Tabella 9 - Coefficiente di contrazione o espansione

C	Contrazione	Espansione
Nessuna transizione	0,0	0,0
Transizione graduale	0,1	0,3
Sezione tipica di un ponte	0,3	0,5
Rapida transizione	0,6	0,8

La presenza di una espansione o contrazione è valutata confrontando la velocità a monte e a valle della sezione considerata. In particolare, se la velocità a monte risulta maggiore della velocità a valle, nella sezione si attesta un'espansione del canale; viceversa una contrazione.

Le incognite presenti nelle equazioni (1) e (2) sono la cadente piezometrica J e il coefficiente adimensionale α . La pendenza d'attrito J è stata calcolata come rapporto tra la portata media Q ed il coefficiente medio di resistenza K .

$$J = \left(\frac{Q}{K} \right)_{\text{con}}^2 \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (7.3)$$

dove

- n , coefficiente di scabrezza di Mannings;
- A , area della sezione;
- R , raggio idraulico.

Il coefficiente α è stato valutato come media pesata sulle portate della velocità suddividendo la sezione in più campi. Ad esempio, nella figura seguente otteniamo:

$$\frac{\alpha \bar{V}^2}{2g} = \frac{Q_1 \frac{V_1^2}{2g} + Q_2 \frac{V_2^2}{2g}}{Q_1 + Q_2} \Rightarrow \alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \bar{V}^2} \quad (7.4)$$

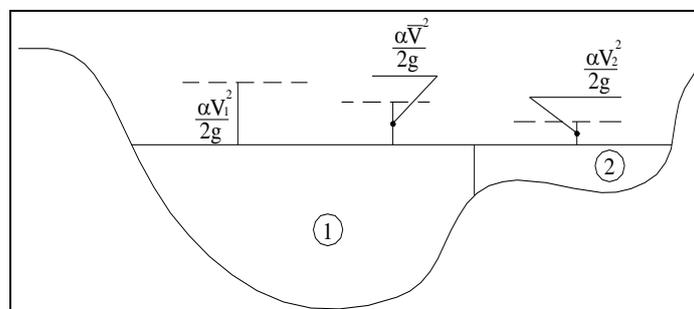


Figura 19 – Schema di calcolo

Una soluzione in forma chiusa della (1) non risulta di facile individuazione. Si è proceduto quindi con metodi iterativi cercando di volta in volta di raffinare la soluzione fino a giungere ad un errore che sia stimato accettabile.

L'equazione (1) è applicabile a correnti che presentano un regime costante per tutto il tratto. È risultato quindi necessario calcolare l'altezza critica della sezione al fine di determinare il tipo di corrente.

Per definizione l'altezza critica della corrente coincide con il minimo dell'energia totale, come del resto evidenziata dalla Figura 20, dove è diagrammata nel piano h, H la curva dell'energia totale della corrente.

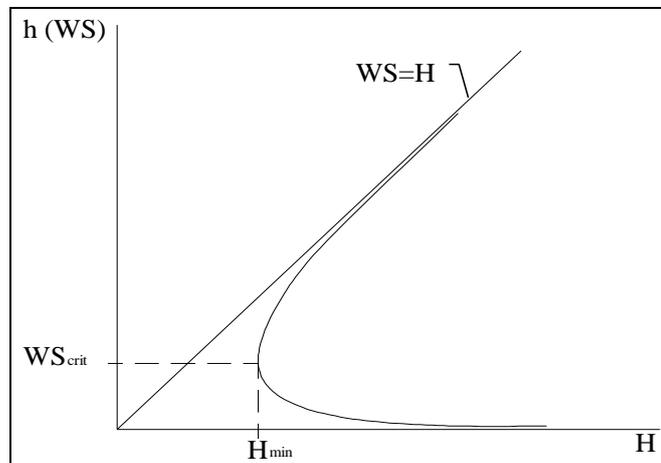


Figura 20 – Diagramma (H,h) per una generica sezione trasversale

Partendo quindi dalla definizione

$$H = h + \frac{\alpha V^2}{2g}$$

per iterazioni successive al variare di h e di V si è ricavato il valore di H fino ad arrivare ad un valore di H_{cr} corrispondente al minimo.

Equazione della Conservazione della quantità di moto

L'equazione della conservazione dell'energia totale (1) ha validità solo nel caso di correnti variabili lentamente all'interno del ramo in esame. In particolare, essa è stata applicata nel caso di corrente ovunque subcritiche o supercritiche. Qualora all'interno di un ramo si verificasse il passaggio da corrente lenta a veloce si è utilizzata l'equazione della conservazione del momento.

Applicando la seconda legge di Newton $\sum F_x = ma$, con x la direzione del moto, ad un elemento di fluido tra due sezioni 1-2, Figura 21, per equilibrio si ottiene:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (7.5)$$

dove

- P_i , risultante della pressione idrostatica;
- W_x , componente della forza peso nella direzione del moto;
- F_f , forza d'attrito tra le due sezioni;
- Q , portata complessiva;
- ρ , densità del fluido;
- ΔV_x , variazione della velocità tra le due sezioni.

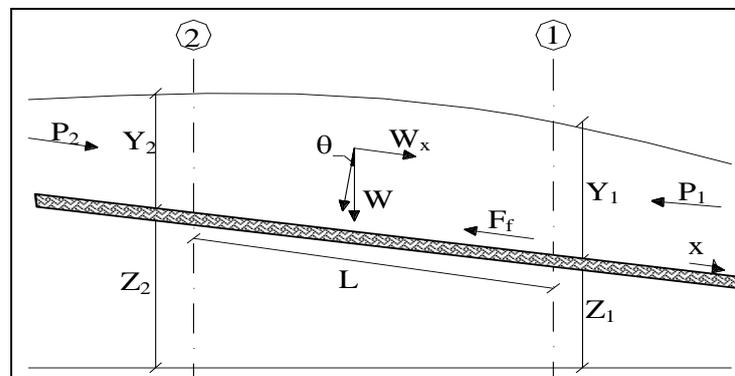


Figura 21 – Schema di calcolo

La risultante della pressione idrostatica per pendenze dell'ordine di 1 a 10 è valutabile come

$$P = \gamma A \bar{Y} \cos \theta \cong \gamma A \bar{Y} \quad (7.6)$$

potendo porre, per le pendenze in esame, $\cos \theta = 1$.

Nella relazione (6) γ corrisponde al peso specifico del fluido, A l'area della sezione ed \bar{Y} l'altezza del pelo libero nel baricentro della sezione.

La componente della forza peso, noto il peso specifico del fluido, la lunghezza L del tronco e l'area totale di fluido presente, è stata valutata nel modo seguente:

$$W = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \Rightarrow W_x = W \cdot \sin\theta \quad (7.7)$$

La forza d'attrito F_f è funzione delle caratteristiche del fluido come la densità dell'acqua, l'azione tangenziale che si esplica sul letto del fiume e la cadente piezometrica J.

In particolare, scriviamo:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma RJ \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} JPL = \gamma \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot JL \quad (7.8)$$

dove P e R sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

La soluzione dell'equazione (5) è stata fatta per iterazioni successive.

Le equazioni (1) e (5) sono state applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. È stato sufficiente suddividere il tratto interessato in più sezioni e ripetere per la successione di esse l'analisi svolta per il tratto delimitato da sole due sezioni.

Prendendo un tratto caratterizzato dalla presenza di un ponte, Figura 22 e Figura 23, si evidenziano 3 zone:

una zona di contrazione in cui arriva la corrente;

una zona intermedia interessata dalla presenza del ponte;

una zona di espansione in cui esce la corrente.

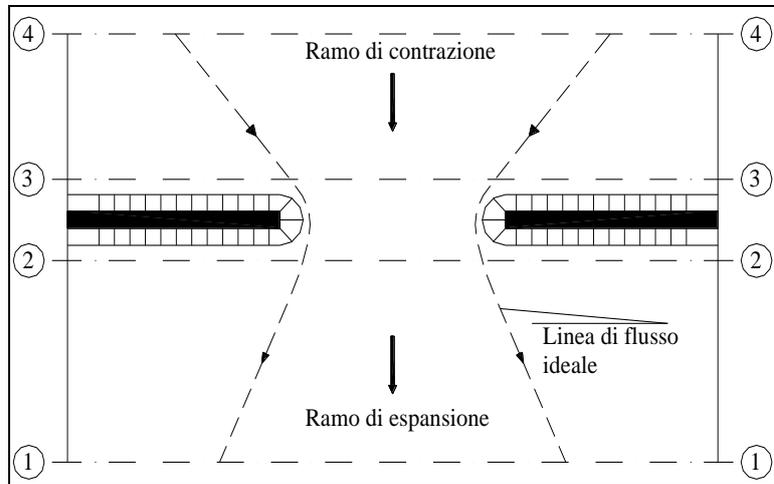


Figura 22 – Pianta schematica di un attraversamento fluviale

L'applicazione dell'equazione della conservazione del momento tra le sezioni 1-2 e 3-4 è del tutto analoga alla situazione vista in precedenza mentre la presenza del ponte comporta termini nuovi nella valutazione dell'equilibrio tra le sezioni 2-BD (Step 1), BD-BU (Step 2) e BU-3 (Step 3).

Step 1; definendo con A_{pi} l'area ostruita e con Y_{pi} la distanza verticale che intercorre tra il baricentro delle pile e la superficie libera WS nella zona di valle, l'espressione del bilancio è stata scritta come

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{gA_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} = \frac{Q_2^2 \beta_2}{gA_2} + A_2 Y_2 - A_{P_{BD}} Y_{P_{BD}} + F_f - W_x$$

Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

$$\frac{Q_{BD}^2 \beta_{BD}}{gA_{BD}} + A_{BD} Y_{BD} + F_f - W_x = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{gA_{BU}} + A_{BU} Y_{BU}$$

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

$$\frac{Q_3^2 \beta_3}{gA_3} + A_3 Y_3 = \frac{Q_{BU}^2 \beta_{BU}}{gA_{BU}} + A_{BU} Y_{BU} - A_{P_{BU}} Y_{P_{BU}} + F_f - W_x + \frac{1}{2} C_D \frac{A_{P_{BU}} Q_3^2}{gA_3^2}$$

con C_D coefficiente di resistenza idrodinamica intorno alla pila ricavabile dalla Tabella 10 in funzione del tipo di pila presente.

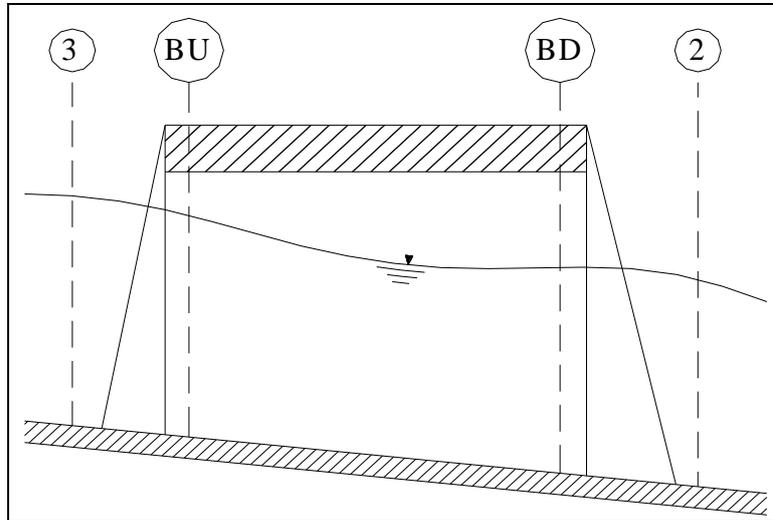


Figura 23 – Sezione schematica di un attraversamento fluviale

TIPO DI PILA	C_D
Pila circolare	1.2
Pila allungata con punta semicircolare	1.33
Pila ellittica con rapporto assi 2 :1	0.6
Pila ellittica con rapporto assi 4 :1	0.32
Pila ellittica con rapporto assi 8 :1	0.29
Pila rettangolare	2.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 30^\circ$	1.00
Pila triangolare con apertura $\alpha = 60^\circ$	1.39
Pila triangolare con apertura $\alpha = 90^\circ$	1.60
Pila triangolare con apertura $\alpha = 120^\circ$	1.72

Tabella 10 – Coefficiente di resistenza idrodinamico C_D

Equazione di Yarnell

In alternativa all'equazione della conservazione del momento si è utilizzata l'equazione di Yarnell che permette di valutare le perdite di energia localizzate in corrispondenza di un ponte.

Con riferimento alle Figura 22 e Figura 23, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono state valutate nel modo seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15\alpha^4) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (7.9)$$

dove H_{i-j} rappresenta appunto la perdita di energia nel passaggio della corrente attraverso la sezione ostruita e K , coefficiente di Yarnell, tiene conto delle differenti sagome di pila esistenti, Tabella 11;

TIPO DI PILA	K
Pila semicircolare in punta	0.9
Pila cilindrica doppia collegata con diaframma	0.95
Pila cilindrica doppia senza diaframma	1.05
Pila con punta triangolare $\alpha = 90^\circ$	1.05
Pile rettangolari	1.25
Dieci pile a cavalletto inclinate	2.5

Tabella 11 – Coefficiente di Yarnell

ω rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2; α il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine V_2 la velocità a valle della sezione.

Il modello elaborato prevede una corrente con un'altezza idrica minore dell'altezza di intradosso del ponte. Nel caso di correnti con altezza idrica superiore o eguale alla quota di intradosso dell'attraversamento fluviale, la valutazione delle perdite di energia è effettuata attraverso il calcolo della portata che attraversa la sezione. In particolare, in riferimento ad un caso generico, Figura 24, la portata è calcolata nel modo seguente:

$$Q = C_d A_1 \left[2g \left(Y_1 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (7.10)$$

dove

C_d , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 25, con valori tra 0.27 e 0.5;

- A_1 , area della luce nella sezione di monte;
- Y_1 , altezza idrica della sezione di monte;
- α , coefficiente correttivo cinetico;
- V_1 , velocità della corrente a monte.
-

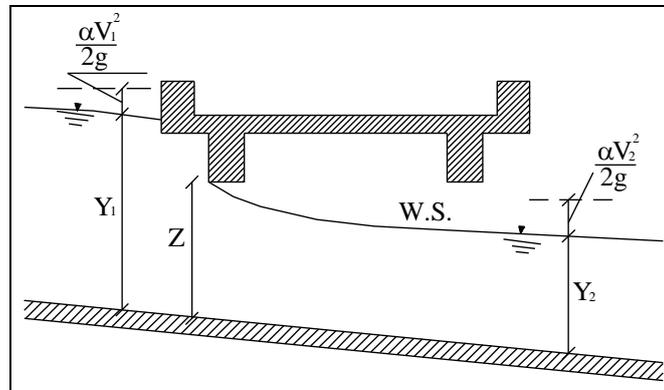


Figura 24 – Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

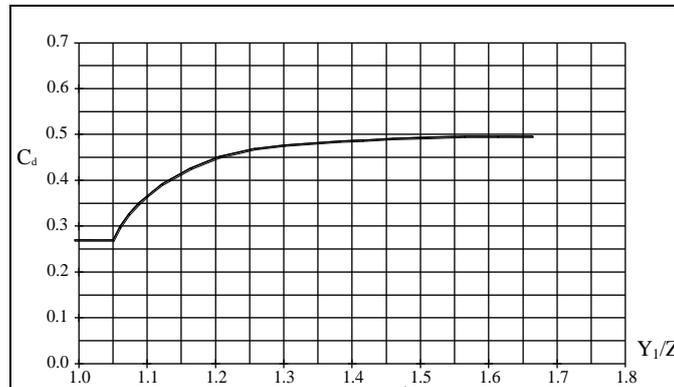


Figura 25 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd

Se il ponte è in pressione sia a monte che a valle l'equazione (10) è corretta nel modo seguente:

$$Q = CA\sqrt{2gH}$$

dove C assume il valore di 0.8 ed H coincide con la perdita di energia totale tra la sezione di monte e di valle del ponte come indicato in Figura 26.

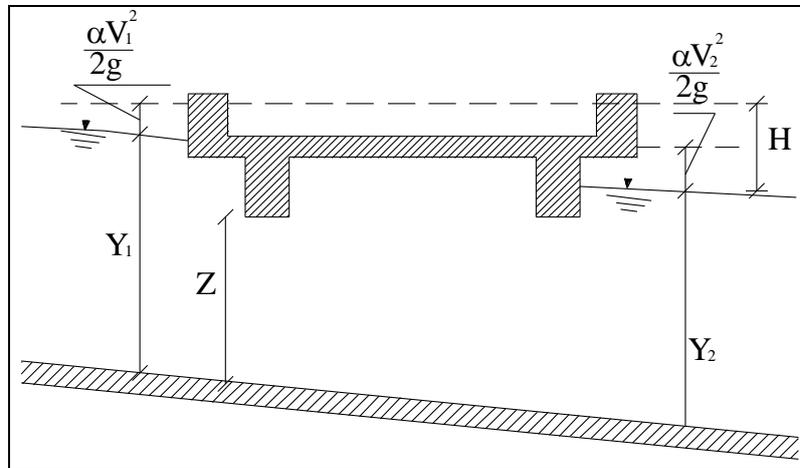


Figura 26 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine, se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 27, la portata si calcola nel modo seguente:

$$Q = CLH^{2/3}$$

con C si indica un coefficiente correttivo della portata, L la lunghezza del ponte ed H la differenza di energie tra monte e valle.

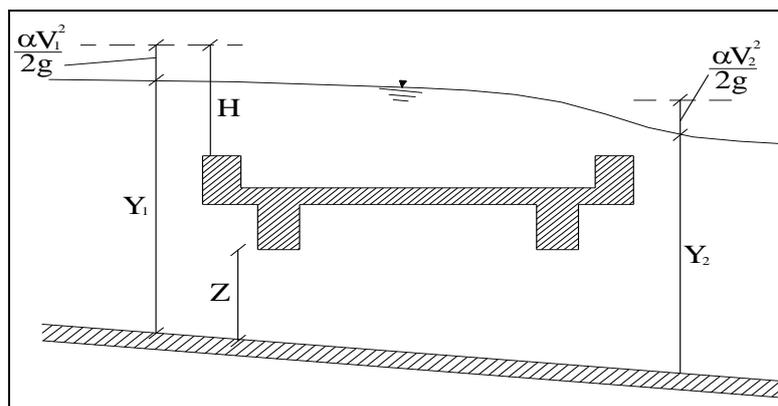


Figura 27 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Modellazione dei salti di fondo.

In favore di sicurezza, i salti di fondo sono stati modellati come delle discontinuità geometriche del fondo che determinano il passaggio per l'altezza critica della superficie libera e la localizzazione del risalto idraulico.

8 APPENDICE 2 – TABELLA COEFFICIENTI DI MANNING DA CHOW, 1959

Tabella 12 - Manning's n for Channels (Chow, 1959).

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
Natural streams - minor streams (top width at floodstage < 100 ft)	(sm ^{-1/3})	(sm ^{-1/3})	(sm ^{-1/3})
1. Main Channels			
a. clean, straight, full stage, no rifts or deep pools	0.025	0.030	0.033
b. same as above, but more stones and weeds	0.030	0.035	0.040
c. clean, winding, some pools and shoals	0.033	0.040	0.045
d. same as above, but some weeds and stones	0.035	0.045	0.050
e. same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.040	0.048	0.055
f. same as "d" with more stones	0.045	0.050	0.060
g. sluggish reaches, weedy, deep pools	0.050	0.070	0.080
h. very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stand of timber and underbrush	0.075	0.100	0.150
2. Mountain streams, no vegetation in channel, banks usually steep, trees and brush along banks submerged at high stages			
a. bottom: gravels, cobbles, and few boulders	0.030	0.040	0.050
b. bottom: cobbles with large boulders	0.040	0.050	0.070
3. Floodplains			
a. Pasture, no brush			
1. short grass	0.025	0.030	0.035
2. high grass	0.030	0.035	0.050
b. Cultivated areas			
1. no crop	0.020	0.030	0.040
2. mature row crops	0.025	0.035	0.045
3. mature field crops	0.030	0.040	0.050
c. Brush			
1. scattered brush, heavy weeds	0.035	0.050	0.070
2. light brush and trees, in winter	0.035	0.050	0.060
3. light brush and trees, in summer	0.040	0.060	0.080
4. medium to dense brush, in winter	0.045	0.070	0.110

5. medium to dense brush, in summer	0.070	0.100	0.160
d. Trees			
1. dense willows, summer, straight	0.110	0.150	0.200
2. cleared land with tree stumps, no sprouts	0.030	0.040	0.050
3. same as above, but with heavy growth of sprouts	0.050	0.060	0.080
4. heavy stand of timber, a few down trees, little undergrowth, flood stage below branches	0.080	0.100	0.120
5. same as 4. with flood stage reaching branches	0.100	0.120	0.160
4. Excavated or Dredged Channels			
a. Earth, straight, and uniform			
1. clean, recently completed	0.016	0.018	0.020
2. clean, after weathering	0.018	0.022	0.025
3. gravel, uniform section, clean	0.022	0.025	0.030
4. with short grass, few weeds	0.022	0.027	0.033
b. Earth winding and sluggish			
1. no vegetation	0.023	0.025	0.030
2. grass, some weeds	0.025	0.030	0.033
3. dense weeds or aquatic plants in deep channels	0.030	0.035	0.040
4. earth bottom and rubble sides	0.028	0.030	0.035
5. stony bottom and weedy banks	0.025	0.035	0.040
6. cobble bottom and clean sides	0.030	0.040	0.050
c. Dragline-excavated or dredged			
1. no vegetation	0.025	0.028	0.033
2. light brush on banks	0.035	0.050	0.060
d. Rock cuts			
1. smooth and uniform	0.025	0.035	0.040
2. jagged and irregular	0.035	0.040	0.050
e. Channels not maintained, weeds and brush uncut			
1. dense weeds, high as flow depth	0.050	0.080	0.120
2. clean bottom, brush on sides	0.040	0.050	0.080
3. same as above, highest stage of flow	0.045	0.070	0.110
4. dense brush, high stage	0.080	0.100	0.140
5. Lined or Constructed Channels			
a. Cement			
1. neat surface	0.010	0.011	0.013
2. mortar	0.011	0.013	0.015
b. Wood			

1. planed, untreated	0.010	0.012	0.014
2. planed, creosoted	0.011	0.012	0.015
3. unplaned	0.011	0.013	0.015
4. plank with battens	0.012	0.015	0.018
5. lined with roofing paper	0.010	0.014	0.017
c. Concrete			
1. trowel finish	0.011	0.013	0.015
2. float finish	0.013	0.015	0.016
3. finished, with gravel on bottom	0.015	0.017	0.020
4. unfinished	0.014	0.017	0.020
5. gunite, good section	0.016	0.019	0.023
6. gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
7. on good excavated rock	0.017	0.020	
8. on irregular excavated rock	0.022	0.027	
d. Concrete bottom float finish with sides of:			
1. dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
2. random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
3. cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
4. cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
5. dry rubble or riprap	0.020	0.030	0.035
e. Gravel bottom with sides of:			
1. formed concrete	0.017	0.020	0.025
2. random stone mortar	0.020	0.023	0.026
3. dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036
f. Brick			
1. glazed	0.011	0.013	0.015
2. in cement mortar	0.012	0.015	0.018
g. Masonry			
1. cemented rubble	0.017	0.025	0.030
2. dry rubble	0.023	0.032	0.035
h. Dressed ashlar/stone paving	0.013	0.015	0.017
i. Asphalt			
1. smooth	0.013	0.013	
2. rough	0.016	0.016	
j. Vegetal lining	0.030		0.500