

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**LINEA FERROVIARIA CATANIA C.LE - GELA**

**TRATTA FERROVIARIA CALTAGIRONE - GELA**

**PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA**

**S.O. PROGETTAZIONE INTEGRATA SUD**

**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE - GELA**

**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI - GELA**

IDROLOGIA E IDRAULICA

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

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

RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Definitiva	A. Totaro	Agosto 2022	V. Colamesta	Agosto 2022	P. Mosca	Agosto 2022	F. Sacchi Settembre 2022
B	Emissione Definitiva	V. Colamesta	Settembre 2022	A. Tortora	Settembre 2022	P. Mosca	Settembre 2022	F. Sacchi Settembre 2022

ITX FERR S.p.A.  
Gruppo Ferrovie dello Stato  
Dipartimento Tecnico  
S.O. Progettazione Integrata e Field Engineering  
Dott. Ing. Francesco Sacchi  
Ordine degli Ingegneri Prov. di Roma n. 23172 Srg.A

File: RS6K00R78RIID0002001B.doc

n. Elab.:

## INDICE

1. PREMESSA .....	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO.....	7
INQUADRAMENTO MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO DELLA LINEA FERROVIARIA .....	8
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA.....	13
3.1.1 <i>Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico</i> .....	13
3.1.2 <i>Piano di Gestione Rischio Alluvioni</i> .....	17
3.1.3 <i>Manuale di progettazione ferroviario</i> .....	18
3.1.4 <i>NTC 2018 e relativa circolare applicativa</i> .....	19
3.1.5 <i>Criteri di Verifica</i> .....	27
3.1.6 <i>Modello matematico utilizzato</i> .....	27
3.1.7 <i>Verifiche a moto uniforme</i> .....	28
4. DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE .....	29
4.1 CARATTERISTICHE GEOMETRICHE .....	29
4.2 PORTATE DI PROGETTO.....	29
4.3 DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI SCABREZZA.....	30
4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO .....	32
5. VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE MINORI.....	34
5.1 TOMBINO ALLA PK STORICA 340+598 E PK DI PROGETTO 340+580 .....	35
5.2 TOMBINO ALLA PK STORICA 342+329 E PK DI PROGETTO 342+310 .....	39
5.3 TOMBINO ALLA PK STORICA 342+506 E PK DI PROGETTO 342+483 .....	43
5.4 TOMBINO ALLA PK STORICA 342+577 E PK DI PROGETTO 342+589 .....	47
5.6 TOMBINO ALLA PK STORICA 354+557 E PK DI PROGETTO 354+540 .....	51
5.7 TOMBINO ALLA PROGRESSIVA 349+047– PIAZZALE PT05 E VIABILITÀ PRIOLO SOTTANO .....	55
i. <i>Elaborati di riferimento</i> .....	55
ii. <i>Simulazione numerica ante operam</i> .....	55
iii. <i>Simulazione numerica post operam</i> .....	61
iv. <i>Sistemazione e protezione</i> .....	68
5.8 CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 349+315 – TOMBINO VIABILITÀ NV03 PRIOLO SOTTANO....	70

v.	<i>Elaborati di riferimento</i> .....	70
vi.	<i>Simulazione numerica post operam</i> .....	70
vii.	<i>Sistemazione e protezione</i> .....	74
5.9 CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 340+920 – PIAZZALE PT03 E VIABILITÀ DELL'ARCIA NORD..		77
viii.	<i>Elaborati di riferimento</i> .....	77
ix.	<i>Simulazione numerica ante operam</i> .....	77
x.	<i>Simulazione numerica post operam</i> .....	82
5.10 CORSO D'ACQUA ALLA PROGRESSIVA 342+534 – PIAZZALE PT04 DELL'ARCIA SUD .....		86
xi.	<i>Elaborati di riferimento</i> .....	86
xii.	<i>Simulazione numerica ante operam</i> .....	86
xiii.	<i>Simulazione numerica post operam</i> .....	91
6.	COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI.....	96
6.1	ANALISI DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA .....	96
BIBLIOGRAFIA .....		98
APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS.....		100

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>														
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>4 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	4 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	4 di 115									

## 1. PREMESSA

Il presente documento è parte del progetto di fattibilità tecnico-economica finalizzato alla riattivazione della linea ferroviaria Caltagirone – Gela e in particolare della tratta compresa tra Niscemi e Gela, facente parte del Lotto 2.

Per le nuove opere di attraversamento presenti lungo la linea ferroviaria esistente e per le quali, nell'ambito della presente fattibilità, è previsto la demolizione per motivi strutturali e il successivo rifacimento, l'analisi di compatibilità idraulica è stata effettuata tramite verifica idraulica monodimensionale/moto uniforme. Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche riportate nella relativa relazione, sono stati verificati i gradi di riempimento massimi richiesti per il transito delle portate con periodo di ritorno di 200 anni, nel rispetto della normativa di riferimento.

In particolare, con riferimento alle opere oggetto di studio idrologico e idraulico si riporta la seguente sintesi:

- Tombini alle pk storiche 340+598, 342+329, 342+506, 342+577 e 354+557 – è previsto in progetto la demolizione delle opere esistenti e l'inserimento di tombini circolari DN1500 con relative sistemazioni idrauliche a monte e a valle. Per i tombini alle pk 342+329, 342+577 e 354+557, in mancanza di un rilievo di dettaglio delle opere esistenti non è stato possibile individuarne l'esatta ubicazione. Pertanto, in questa fase è stata ipotizzata la posizione dell'opera di attraversamento sulla base dei dati cartografici disponibili. Rispetto a tale posizione è stata ubicata la nuova opera di attraversamento e le relative sistemazioni monte/valle. Nella successiva fase progettuale sarà, pertanto, necessario rilevare le opere idrauliche esistenti e individuare l'esatta ubicazione dell'intervento.
- Tombini alle pk storiche 355+175, 355+357, 355+523 e 355+808 - si è prevista la demolizione delle opere esistenti e l'inserimento di tombini scatolari 2.00x2.00 di trasparenza idraulica. Attualmente le suddette opere risultano incassate rispetto al piano campagna funzionando, pertanto, come sifoni. L'area in cui si collocano tali opere non vede la presenza di incisioni naturali e si presenta per lo più pianeggiante. Pertanto, nell'ambito della presente fattibilità è stato sviluppato un modello idraulico 2D a pioggia distribuita sul bacino afferente al tratto ferroviario oggetto di analisi. Per i dettagli dello studio si rimanda

alla relazione specifica (RS6K00R78RIID0002002A). Al fine di assicurare la funzione di trasparenza idraulica, i tombini di progetto sono stati previsti con quote di scorrimento prossime a quelle del piano campagna nell'intorno delle opere stesse. Per consentire l'inserimento degli scolarari di progetto si è reso necessario un innalzamento del piano ferro esistente variabile tra 0.80 m e 1.5 m. Inoltre, si è prevista la protezione di entrambe le scarpate del rilevato ferroviario con materassi di tipo reno per tutto il tratto interessato dalla presenza di tali opere di trasparenza e dall'area di allagamento risultante dal modello.

- Tombino alla pk storica 349+047 – si è prevista la demolizione dell'opera esistente e l'inserimento di uno scolarare 2.00x2.00 e della sistemazione idraulica a monte e a valle; la verifica idraulica ante e post operam è stata condotta mediante modello HEC-RAS monodimensionale a moto permanente.
- Analisi di compatibilità relativa ai piazzali e alle viabilità previsti a dell'Arcia Nord (NV02 e PT03), a dell'Arcia Sud (PT04) e a Priolo Sottano (NV03 e PT05). Per consentire il naturale deflusso delle acque a seguito della realizzazione della nuova viabilità NV03 di accesso al PM di Piazzale Sottano, si è prevista la realizzazione di uno scolarare di dimensioni 4.00 x 2.00 m e della relativa sistemazione a monte e a valle.

Si riportano di seguito le opere idrauliche previste lungo linea.

*Tabella 1 – Opere idrauliche oggetto di intervento*

N.	Pk storica	Pk di progetto	Opera prevista in progetto
1	pk 340+598	pk 340+580	Tombino circolare $\phi$ 1500
2	pk 342+329	pk 342+310	Tombino circolare $\phi$ 1500
3	pk 342+506	pk 342+483	Tombino circolare $\phi$ 1500
4	pk 342+577	pk 342+589	Tombino circolare $\phi$ 1500
5	pk 354+557	pk 354+540	Tombino circolare $\phi$ 1500
6	pk 349+047	pk 349+028	Tombino scolarare 2x2 m
7	pk 355+175	pk 355+160	Tombino scolarare 2x2 m
8	pk 355+357	pk 355+339	Tombino scolarare 2x2 m
9	pk 355+523	pk 355+526	Tombino scolarare 2x2 m
10	pk 355+808	pk 355+784	Tombino scolarare 2x2 m

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>														
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>6 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	6 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	6 di 115									

Nel dettaglio l'analisi idraulica effettuata ha seguito le seguenti fasi:

- verifica idraulica delle opere di attraversamento delle interferenze definite intermedie mediante simulazione idraulica su modello matematico monodimensionale in schema di moto permanente;
- verifica idraulica a moto uniforme delle opere di attraversamento delle interferenze definite minori;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere in accordo con le normative vigenti;
- individuazione dei rivestimenti delle sistemazioni dei corsi d'acqua di progetto;
- analisi di compatibilità idraulica.

## 2. INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI INTERVENTO

L'intervento progettuale in oggetto ricade all'interno del bacino del Fiume Acate-Dirillo, nel versante meridionale dell'Isola, sviluppandosi principalmente nei territori delle province di Catania e Caltanissetta.

I territori comunali interessati dal tracciato sono quelli di: Niscemi e Gela.

In Figura 2-1 è rappresentato l'inquadramento geografico della linea ferroviaria di progetto e in particolare la tratta Caltagirone – Niscemi.



Figura 2-1 - Inquadramento linea ferroviaria su ortofoto.

### Inquadramento manufatti di attraversamento della linea ferroviaria

Le nuove opere di attraversamento presenti lungo la linea ferroviaria esistente e per le quali, nell'ambito della presente fattibilità, è prevista la demolizione per motivi strutturali e il successivo rifacimento sono di seguito elencate.

*Tabella 2 - Elenco interferenze idrauliche*

N.	Pk storica	Pk di progetto	Opera esistente	Opera prevista in progetto
1	pk 340+598	pk 340+580	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$
2	pk 342+329	pk 342+310	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$
3	pk 342+506	pk 342+483	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$
4	pk 342+577	pk 342+589	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$
5	pk 354+557	pk 354+540	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$
6	pk 349+047	pk 349+028	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m
7	pk 355+175	pk 355+160	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m
8	pk 355+357	pk 355+339	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m
9	pk 355+523	pk 355+526	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m
10	pk 355+808	pk 355+784	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m

Nelle figure seguenti è riportato un inquadramento geografico su ortofoto di tali opere.



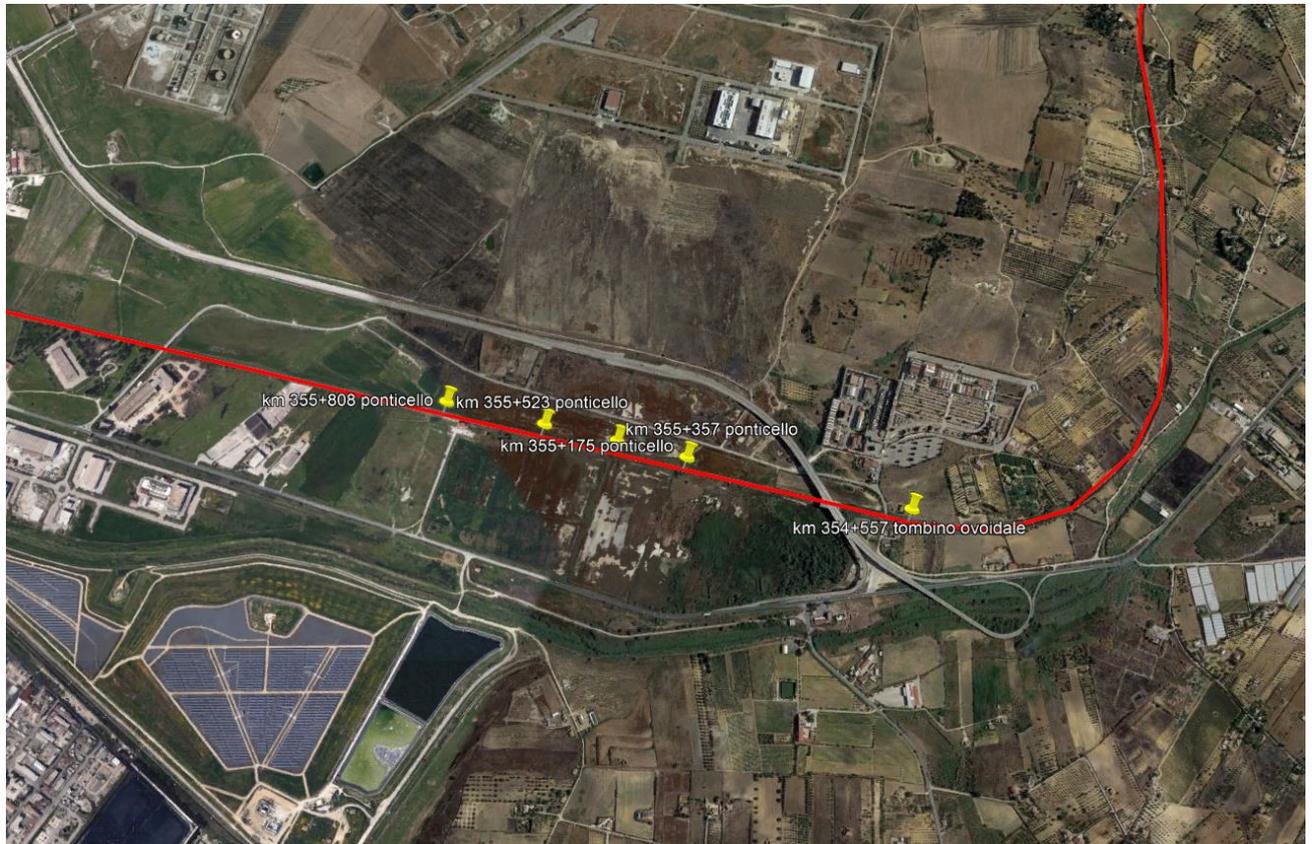
Figura 2-2 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 1.



Figura 2-3 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 2.



*Figura 2-4 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 3.*



*Figura 2-5 - Inquadramento su ortofoto interferenze idrauliche intermedie e minori. Foto 4.*

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78 RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>13 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	13 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	13 di 115								

### 3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO E CRITERI DI VERIFICA

I principali riferimenti per il presente progetto sono rappresentati dalle seguenti normative e/o strumenti di pianificazione:

- Regio Decreto del 08/05/1904, n.368
- Regio Decreto del 25/07/1904 n.523
- Legge n. 183/1989, "Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo"
- Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sicilia e relative Norme Tecniche di Attuazione
- D.Lgs. n. 152/2006 "Norma in materia ambientale"
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni del Distretto idrografico della Sicilia e relative Norme Tecniche di Attuazione
- Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC2018)
- Circolare del 21 gennaio 2019, n.7 del C.S.LL.PP., esplicative delle NTC 2018
- Manuale di Progettazione delle opere ferroviarie (RFIDTCSICSMAIFS001E)

#### 3.1.1 Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico

L'analisi condotta nel presente studio ha preso in considerazione gli strumenti di pianificazione territoriale in vigore. Tra gli strumenti legislativi vigenti vi è il P.A.I., Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (dicembre 2004 e successivi aggiornamenti) della Regione Siciliana che individua le aree a rischio idraulico ed idrogeologico.

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico o P.A.I., redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 ter, della L. 183/89, dell'art. 1, comma 1, del D.L. 180/98, convertito con modificazioni dalla L. 267/98, e dell'art. 1 bis del D.L. 279/2000, convertito con modificazioni dalla L. 365/2000, ha valore di Piano

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
<b>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</b>	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B	FOGLIO 14 di 115

Territoriale di Settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni, gli interventi e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idrogeologico del territorio siciliano.

La definizione di norme d'uso e di salvaguardia è finalizzata alla difesa idrogeologica, al miglioramento delle condizioni di stabilità del suolo, al recupero di situazioni di degrado e di dissesto, al ripristino e/o alla conservazione della naturalità dei luoghi, alla regolamentazione del territorio interessato dalle piene.

Il P.A.I. della Sicilia quindi tende ad ottimizzare la compatibilità tra la domanda di uso del suolo per uno sviluppo sostenibile del territorio e la naturale evoluzione geomorfologica dei bacini, nel quadro di una politica di governo del territorio rispettosa delle condizioni ambientali.

Il P.A.I. ha sostanzialmente tre funzioni:

1. La funzione conoscitiva, che comprende lo studio dell'ambiente fisico e del sistema antropico, nonché della ricognizione delle previsioni degli strumenti urbanistici e dei vincoli idrogeologici e paesaggistici;
2. La funzione normativa e prescrittiva, destinata alle attività connesse alla tutela del territorio e delle acque fino alla valutazione della pericolosità e del rischio idrogeologico e alla conseguente attività di vincolo in regime sia straordinario che ordinario;
3. La funzione programmatica, che fornisce le possibili metodologie d'intervento finalizzate alla mitigazione del rischio, determina l'impegno finanziario occorrente e la distribuzione temporale degli interventi.

Il P.A.I. definisce una metodologia semplificata per la definizione della pericolosità idraulica, in funzione del tempo di ritorno e, in particolare, in modo inversamente proporzionale allo stesso. Per quanto riguarda la scelta dei tempi di ritorno ai quali fare riferimento per la valutazione della pericolosità e quindi del rischio, il D.P.C.M. del 29/09/98, nella fase 2 di perimetrazione e valutazione dei livelli di rischio, indica che dovranno essere identificate sulla cartografia aree caratterizzate da tre diverse probabilità di evento e, conseguentemente, da diverse rilevanze di piena:

- aree ad alta probabilità di inondazione (con tempi di ritorno di 20-50 anni);
- aree a moderata probabilità di inondazione (con tempi di ritorno di 100-200 anni);
- aree a bassa probabilità di inondazione (con tempi di ritorno di 300-500 anni).

In particolare, nell'ambito del P.A.I. sono stati selezionati tempi di ritorno pari a 50, 100 e 300 anni, cioè gli estremi inferiori degli intervalli proposti per le probabilità di inondazione moderata e bassa e, a vantaggio di sicurezza, l'estremo superiore per alta probabilità di inondazione. La pericolosità, così come già detto prima, è stata valutata in modo inversamente proporzionale al tempo di ritorno stesso. Mediante l'incrocio del dato relativo all'elemento con quello della classe di pericolosità, si può pertanto risalire agevolmente al grado di rischio (tabella seguente).

Il valore del rischio si è assunto, in via convenzionale e qualitativa, crescente con l'indice della classe di appartenenza. Le diverse condizioni di rischio sono state dunque aggregate in quattro classi gravosità crescente.

Rischio	E1	E2	E3	E4
P1	R1	R1	R2	R3
P2	R1	R2	R3	R4
P3	R2	R2	R4	R4

*Tabella 3 - Valutazione del rischio idraulico secondo la metodologia semplificata.*

La pericolosità idraulica è correlata con la probabilità annua di superamento di una portata di riferimento (portata di piena), valutata in funzione di uno specifico tempo di ritorno. La pericolosità idraulica è quindi correlata all'inverso del tempo di ritorno di una portata di piena e, se disponibile, al relativo tirante idrico. L'area di pericolosità idraulica è rappresentata dall'area di inondazione, relativa al tempo di ritorno di una portata di piena, conseguente all'esondazione di un corso d'acqua naturale o artificiale.

La stima della pericolosità costituisce il presupposto essenziale per la valutazione del rischio sul territorio.

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

Le carte del P.A.I sulla pericolosità idraulica sono state redatte incrociando le informazioni relative al tempo di ritorno con quelle relative alla distribuzione spaziale delle altezze idriche. In particolare nell'ambito del P.A.I sono stati selezionati tempi di ritorno pari a 50, 100 e 300 anni.

<b>T</b>	<b>P</b>
50	P3
100	P2
300	P1

*Tabella 4 - Calcolo della pericolosità idraulica mediante la metodologia semplificata del P.A.I.*

<b>Battente Idraulico</b>	<b>Tempo di Ritorno</b>		
	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>300</b>
H < 0.3 m	P1	P1	P1
0.3 < H < 1 m	P2	P2	P2
1 < H < 2 m	P4	P3	P2
H > 2 m	P4	P4	P3

*Tabella 5 - Calcolo della pericolosità idraulica secondo la metodologia completa.*

Per l'area in esame, dalle carte di pericolosità idraulica del Bacino idrografico del fiume Acate-Dirillo e del Fiume Gela, non emerge alcuna sovrapposizione con le aree a pericolosità idraulica individuate dal PAI, a meno del tratto coincidente con la fine intervento (pk fine intervento 359+099). Con riferimento al tratto in questione, sono previsti interventi minimi sul rilevato ferroviario, ovvero rimozione dell'armamento e di parte del rilevato esistente (per 1 m dal piano di regolamento), sostituzione del rilevato e ripristino del terreno vegetale e dell'armamento. Inoltre, in questa zona il piano ferro è a circa 1.50 m da piano campagna pertanto, non si intravedono particolari criticità legate alla sicurezza idraulica della linea. Alla luce delle considerazioni sopra esposte, l'interventi in oggetto non comportano alcun aggravio della pericolosità idraulica né compromettono futuri interventi di sistemazione idraulica.

Di seguito si riporta lo stralcio planimetrico della sovrapposizione dell'ambito di progetto con le aree a pericolosità idraulica.



Figura 6 - Aree a Pericolosità idraulica per l'ambito di studio.

### 3.1.2 Piano di Gestione Rischio Alluvioni

La regione Sicilia con Decreto Presidenziale n° 47 del 18/02/2016 ha adottato il progetto di Piano di Gestione del Rischio Alluvioni per il suo territorio.

Con pubblicazione in gazzetta ufficiale n. 198 del 24 Agosto 2019 il PGRA del distretto idrografico della ha ottenuto l'approvazione definitiva da parte del Consiglio dei Ministri.

Il PGRA del distretto idrografico della Sicilia costituisce stralcio funzionale del Piano di bacino del distretto idrografico della Sicilia e ha valore di piano territoriale di settore.

Per l'area in esame, il PGRA riporta quanto previsto nel PAI e pertanto, anche per esso valgono le considerazioni sulla compatibilità idraulica degli interventi sopra riportate.

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

### 3.1.3 Manuale di progettazione ferroviario

Per la sicurezza idraulica della linea, le opere d'arte di attraversamento, esistenti o di progetto, devono osservare le prescrizioni del Manuale di progettazione RFI.

In sintesi, le opere idrauliche di attraversamento andranno verificate per eventi di massima piena caratterizzati dai seguenti tempi di ritorno:

*omississ...*

*Manufatti di attraversamento (ponti e tombini):*

- *linea ferroviaria  $T_r=200$  anni*
- *deviazioni stradali  $T_r=200$  anni*

*...omississ...*

Per la verifica idraulica delle opere di attraversamento principali il manuale prevede quanto segue:

“Relativamente ai requisiti idraulici nei confronti dei livelli di massima piena si specifica quanto segue:

- *franco minimo non inferiore a 1,50 m sopra al livello idrico nella sezione immediatamente a monte dell'attraversamento, per la portata con tempo di ritorno prescritto dalla normativa nazionale o locale vigente*
- *franco minimo non inferiore a 0,50 m sopra la quota del carico idraulico totale per la portata con tempo di ritorno 200 anni*
- *posizionamento delle spalle del viadotto in modo tale da non ridurre significativamente la sezione di deflusso in alveo ed in golena*
- *posizionamento e geometria delle pile in alveo ed in golena in modo da non provocare significativi fenomeni di rigurgito ovvero fenomeni di erosione localizzati sulle sponde ed in alveo*
- *Il calcolo dello scalzamento localizzato indotto dalle opere di sostegno deve essere valutato considerando le dimensioni delle pile; nel caso in cui il plinto di fondazione venga messo allo scoperto dall'erosione, le dimensioni maggiori e le forme più tozze*

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78 RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>19 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	19 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	19 di 115								

*dello stesso provocano un ulteriore scalzamento e pertanto, in tale condizione, il calcolo dell'erosione localizzata va ripetuto portando in conto la diversa geometria.*

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.”*

### **3.1.4 NTC 2018 e relativa circolare applicativa**

L'Aggiornamento delle Norme Tecniche delle Costruzioni (D.M. 17 Gennaio 2018) e la Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 “Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 17 gennaio 2018, contengono le istruzioni per la progettazione dei ponti ferroviari interessanti corsi d'acqua naturali o artificiali, con particolare riferimento ai tempi di ritorno e ai franchi idraulici da adottare per le verifiche di compatibilità idraulica.

In particolare, al § 5.1.2.3 delle NTC 2018 “Compatibilità idraulica” si prescrive che:

*Quando il ponte interessa un corso d'acqua naturale o artificiale, il progetto deve essere corredato da uno studio di compatibilità idraulica costituito da una relazione idrologica e da una relazione idraulica riguardante le scelte progettuali, la costruzione e l'esercizio del ponte.*

*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. Deve in ogni caso essere definita una piena di progetto caratterizzata da un tempo di ritorno  $T_r$  pari a 200 anni ( $T_r=200$ ).*

*Coerentemente al livello di progettazione, lo studio di compatibilità idraulica deve riportare:*

- l'analisi idrologica degli eventi di massima piena e stima della loro frequenza probabile;*
- la definizione dei mesi dell'anno durante i quali siano da attendersi eventi di piena, con riferimento alla prevista successione delle fasi costruttive;*
- la definizione della scala delle portate nelle condizioni attuali, di progetto, e nelle diverse fasi costruttive previste, corredata dal calcolo del profilo di rigurgito indotto dalla presenza delle opere in alveo, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti;*
- la valutazione dello scavo localizzato con riferimento alle forme ed alle dimensioni di pile, spalle e relative fondazioni, nonché di altre opere in alveo provvisoriale e definitive, tenendo conto della possibile formazione di ammassi di detriti galleggianti oltre che dei fenomeni erosivi generalizzati conseguenti al restringimento d'alveo;*
- l'esame delle conseguenze di urti e abrasioni dovuti alla presenza di natanti e corpi flottanti.*

*Il manufatto non dovrà interessare con spalle, pile e rilevati la sezione del corso d'acqua interessata dalla piena di progetto e, se arginata, i corpi arginali.*

*Qualora fosse necessario realizzare pile in alveo, la luce netta minima tra pile contigue, o fra pila e spalla del ponte, non deve essere inferiore a 40 m misurati ortogonalmente al filone principale della corrente. Per i ponti esistenti, eventualmente interessati da luci nette di misura inferiore, è ammesso l'allargamento della piattaforma, a patto che questo non comporti modifiche dimensionali*

*delle pile, delle spalle o della pianta delle fondazioni di queste, e nel rispetto del franco idraulico come nel seguito precisato.*

*In tutti gli altri casi deve essere richiesta l'autorizzazione all'Autorità competente, che si esprime previo parere del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.*

*Nel caso di pile e/o spalle in alveo, cura particolare è da dedicare al problema delle escavazioni in corrispondenza delle fondazioni e alla protezione delle fondazioni delle pile e delle spalle tenuto anche conto del materiale galleggiante che il corso d'acqua può trasportare. In tali situazioni, una stima anche speditiva dello scalzamento è da sviluppare fin dai primi livelli di progettazione.*

*Il franco idraulico, definito come la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, è da assumersi non inferiore a 1,50 m, e comunque dovrà essere scelto tenendo conto di considerazioni e previsioni sul trasporto solido di fondo e sul trasporto di materiale galleggiante, garantendo una adeguata distanza fra l'intradosso delle strutture e il fondo alveo.*

*Quando l'intradosso delle strutture non sia costituito da un'unica linea orizzontale tra gli appoggi, il franco idraulico deve essere assicurato per una ampiezza centrale di 2/3 della luce, e comunque non inferiore a 40 m.*

*Il franco idraulico necessario non può essere ottenuto con il sollevamento del ponte durante la piena.*

*Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associate al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno (si assuma  $T_r = 1,001$ ) devono essere combinate con le altre azioni variabili adottando valori del coefficiente  $\psi_0$  unitario.*

*Lo scalzamento e le azioni idrodinamiche associati all'evento di piena di progetto devono essere combinate esclusivamente con le altre azioni variabili da traffico, adottando per queste ultime i coefficienti di combinazione  $\psi_1$ .*

Al § C5.1.2.4 della Circolare applicativa si prescrive inoltre:

*Ai fini dell'applicazione del punto 5.1.2.3 della Norma, s'intende per alveo la sezione occupata dal deflusso della portata di piena di progetto. Quest'ultima è a sua volta caratterizzata da un tempo di ritorno pari a  $Tr = 200$  anni, dovendosi intendere tale valore quale il più appropriato da scegliere, non escludendo tuttavia valori anche maggiori che devono però essere adeguatamente motivati e giustificati.*

*Gli elementi del ponte, quali le opere strutturali, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, fanno parte di un progetto unitario corredato dallo studio di compatibilità idraulica di cui al punto 5.1.2.3 delle NTC. Il progetto sarà impostato tenendo in considerazione la necessità di garantire l'accesso per il ripristino dell'ufficiosità idraulica degli attraversamenti parzialmente o totalmente intasati dai detriti durante gli eventi di piena.*

*Fermo restando quanto previsto dalla Norma, nello studio di compatibilità idraulica, in funzione delle diverse situazioni, è opportuno siano tra l'altro illustrati i seguenti aspetti:*

- analisi degli eventi di massima piena; esame dei principali eventi verificatisi nel corso d'acqua; raccolta dei valori estremi in quanto disponibili, e loro elaborazione in termini di frequenza probabile del verificarsi; per i ponti in sezioni di un corso d'acqua che abbiano a monte manufatti artificiali che limitino il naturale deflusso delle piene, queste sono da valutarsi anche nell'ipotesi che tali manufatti siano dismessi;*
- ricerca e raccolta, presso gli Uffici ed Enti competenti, delle notizie e dei rilievi esistenti, anche storici, utili per lo studio idraulico da svolgere;*
- giustificazione della soluzione proposta per: l'ubicazione del ponte, le sue dimensioni e le sue strutture in pianta, in elevazione ed in fondazione, tenuto conto del regime del corso d'acqua, dell'assetto morfologico attuale e della sua possibile evoluzione, nonché delle caratteristiche geotecniche della zona interessata;*
- allontanamento delle acque dall'impalcato e prevenzione del loro scolo incontrollato sulle strutture del ponte stesso o su infrastrutture sottostanti.*

*Inoltre è di interesse stimare i valori della frequenza probabile ( $1/Tr$ ) di ipotetici eventi che diano luogo a riduzioni del franco stesso.*

*Nello studio idraulico, in funzione delle diverse situazioni, sono inoltre considerati, ove applicabili, i seguenti problemi:*

*- classificazione del corso d'acqua ai fini dell'esercizio della navigazione interna: per ponti posti su vie classificate navigabili va rispettata la luce minima sotto il ponte che compete ai natanti per i quali il corso è classificato, fino alla portata per la quale sia consentita la navigazione;*

*- valutazione dell'influenza dello scavo localizzato che si realizza in corrispondenza delle pile e delle spalle, sulla stabilità di argini e sponde, oltre che delle fondazioni di altri manufatti presenti nelle vicinanze;*

*- esame delle conseguenze della presenza di corpi flottanti, considerando anche il possibile disormeggio dei natanti, trasportati dalle acque in relazione a possibili ostruzioni delle luci (specie se queste possono creare invasi anche temporanei a monte), sia in fase costruttiva sia durante l'esercizio delle opere;*

*- sollecitazioni indotte dall'acqua per evento sismico quando sia di qualche rilievo la superficie immersa delle pile (e, per i ponti esistenti, delle spalle) con riferimento al livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno.*

*Per la stima del livello idrico massimo che si verifica mediamente ogni anno, in assenza di dati che garantiscano una robusta caratterizzazione statistica degli eventi, è da utilizzarsi il minimo fra i valori di portata massimi annuali registrati. Scalzamento e azioni idrodinamiche devono in tal caso essere combinate con tutte le altre azioni variabili, mentre nella situazione corrispondente all'evento di piena di progetto, nella combinazione con le altre azioni variabili sono da considerare solo quelle variabili da traffico.*

*In situazioni particolarmente complesse può essere opportuno sviluppare le indagini anche con l'ausilio di modelli fisici.*

*Quando, per caratteristiche del territorio e del corso d'acqua, si possa verificare nella sezione oggetto dell'attraversamento il transito di tronchi di rilevanti dimensioni, in aggiunta alla prescrizione di un franco normale minimo di 1,50 m, è da raccomandare che il dislivello tra fondo e sottotrave sia indicativamente non inferiore a 6÷7 m. Nel caso di corsi di acqua arginati, la quota di sottotrave sarà comunque non inferiore alla quota della sommità arginale per l'intera luce. Per tutti gli*

*attraversamenti è opportuno sia garantito il transito dei mezzi di manutenzione delle sponde e/o delle arginature.*

*Le limitazioni alle modifiche delle pile o delle spalle e relative fondazioni di ponti esistenti previste al punto 5.1.2.3 della Norma, sono da riferirsi agli elementi che interessano l'alveo, come sopra definito, o i corpi arginali. La possibilità di deroga, subordinata all'autorizzazione dell'Autorità competente come previsto allo stesso punto della norma, è relativa alle sole pile.*

*Per i ponti esistenti sono ammessi gli interventi per l'incremento della sicurezza strutturale in analogia a quanto prescritto al § 8.4 della Norma, solo nel caso in cui siano esclusi incrementi, rispetto all'attuale, del livello di traffico di progetto e gli stessi interventi non vadano in alcun modo a peggiorare le condizioni di sicurezza idraulica esistenti. Poiché in questi casi sono possibili fenomeni di instabilità locale, in applicazione del §8.3 della Norma, è opportuno effettuare la verifica delle fondazioni, e quindi la valutazione dello scalzamento di eventuali spalle o pile in alveo. Anche gli interventi necessari per l'incremento della sicurezza strutturale devono essere accompagnati dallo studio di compatibilità idraulica dove sia messa in evidenza la frequenza probabile (1/Tr) degli eventi che garantiscono il franco previsto da Norma.*

*Nelle Relazioni idrologica e idraulica sarà valutato il sistema di smaltimento delle acque meteoriche, tenendo in considerazione anche i seguenti aspetti:*

- analisi degli eventi pluviometrici brevi ed intensi della zona;*
- disposizione delle caditoie in numero e posizioni dipendenti dalle loro dimensioni, dalla geometria plano-altimetrica della sede stradale e dai dati pluviometrici, al fine di evitare ristagni;*
- influenza del trasporto solido e dell'eventuale deposito residuo in condotta sul dimensionamento del sistema di tubazioni che colleghino le acque fino al tubo di eduazione;*
- posizione e lunghezza dei tubi di eduazione affinché l'acqua di scolo sia portata a distanza tale da evitare la ricaduta sulle strutture anche in presenza di vento.*

*Fermo restando il rispetto della normativa ambientale vigente, in tutti quei casi in cui le acque di eduazione possono produrre danni e inconvenienti o nel caso di attraversamento di zone urbane, è*

*opportuno considerare la possibilità che esse siano intubate fino a terra ed eventualmente immerse in un sistema fognante.*

*Nelle strutture a cassone va considerata l'opportunità di praticare, nei punti di possibili accumulo, fori di evacuazione di eventuali acque di infiltrazione. Tubi di evacuazione e gocciolatoi saranno predisposti in modo da evitare scoli di acque sul manufatto.*

*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 m<sup>3</sup>/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 m<sup>2</sup> 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.

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.

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

### 3.1.5 Criteri di Verifica

Sulla base di quanto riportato nei due precedenti paragrafi, le opere di attraversamento devono essere verificate secondo i seguenti i criteri:

Tabella 6 - Criteri di verifica

Normativa-Manuali	Opera di attraversamento	Periodo di ritorno	Franco	Grado di riempimento
Manuale di Progettazione	Ponte/Viadotto - linea ferroviaria	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico min <b>0.5m</b> sul livello energetico	-
	Ponte/Viadotto - deviazione stradale	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico min <b>0.5m</b> sul livello energetico	-
	Tombino	TR200 anni	-	max 70%
NTC2018 e relativa circolare applicativa	Ponte/Viadotto - linea ferroviaria	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico	-
	Ponte/Viadotto - deviazione stradale	TR200 anni	min <b>1.5m</b> sul livello idrico	-
	Tombino (per portate maggiori di 50mc/s va previsto un ponte)	TR200 anni	0.5 m dall'intradosso	Min. 2/3 dell'altezza e comunque franco 50 cm dall'intradosso

### 3.1.6 Modello matematico utilizzato

Lo studio idraulico dei corsi d'acqua minori classificati come interferenze "intermedie", nello stato di fatto e nello stato di progetto, è stato effettuato mediante l'implementazione e l'applicazione di un modello idraulico (HEC-RAS) monodimensionale a moto permanente.

Tale modello permette di indagare le altezze d'acqua, il carico idraulico totale e le velocità al variare della piena di riferimento nelle diverse sezioni in cui viene discretizzato il corso d'acqua,

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

tenendo conto anche degli effetti localizzati delle opere idrauliche presenti (ponti, tombini, strutture in linea quali traverse, strutture laterali quali sfioratori, ecc.).

Il modello idraulico HEC-RAS prodotto dall'Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers è un modello utilizzato diffusamente nelle applicazioni idrauliche di vario genere data la sua versatilità e la relativa facilità di gestione e organizzazione delle informazioni oltre che per la sua affidabilità. La versione del software utilizzata è la 6.2.

Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

### **3.1.7 Verifiche a moto uniforme**

Per i corsi d'acqua minori privi di una evidente incisione a monte e a valle del manufatto ferroviario, le verifiche idrauliche sono state condotte in condizioni di moto uniforme, applicando la relazione di Gauckler – Strickler:

$$Q = \frac{1}{n} \cdot \Omega \cdot R_H^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

dove:

- Q: portata in m<sup>3</sup>/s;
- n: coefficiente di scabrezza secondo Manning; c = 1/ n coefficiente di scabrezza secondo Glauckler-Strickler;
- R<sub>H</sub> : raggio idraulico;
- i: pendenza longitudinale del corso d'acqua;
- Ω : sezione bagnata.

Fissati il coefficiente di scabrezza n, la pendenza longitudinale *i* e la geometria del manufatto, si è in grado, con la formula precedente, di determinare l'altezza d'acqua che dà luogo ad una portata Q pari a quella massima di progetto da utilizzare nelle verifiche.

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>														
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>29 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	29 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	29 di 115									

## 4. DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE

### 4.1 Caratteristiche geometriche

Le caratteristiche geometriche dei corsi d'acqua e dei manufatti presenti lungo gli stessi sono state ricostruite a partire dai rilievi eseguiti da Italferr o reperiti presso altri Enti. Sono stati utilizzati, a seconda della disponibilità, i seguenti dati:

- rilievo LiDAR Italferr;
- rilievi celerimetrici, rilievi delle opere di attraversamento e della sede ferroviaria esistente;
- prospetti delle opere di scavalco esistenti;
- DTM e Cartografia Tecnica Regionale;
- documentazione fotografica.

### 4.2 Portate di progetto

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto (RS6K00R78RIID0001001A). In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC 2018, sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Nello studio idrologico le portate di calcolo sono state ottenute dall'applicazione del metodo razionale a partire da altezze di pioggia calcolate con tre metodologie diverse VAPI (Cannarozzo, D'Asaro e Ferro, 1993), VAPI (Conti et al., 2007) e Gumbel. Nelle verifiche idrauliche è stata considerata come portata di calcolo per ogni corso d'acqua quella massima tra quelle ottenute applicando le tre metodologie. In tabella sono riportati i valori delle portate di progetto ottenuti dalle analisi idrologiche.

 <b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	30 di 115

Tabella 7 - Portate di progetto  $T_r=200$  anni

N.	Pk storica	Pk di progetto	Opera esistente	Opera prevista in progetto	Portata di progetto TR = 200 anni (m <sup>3</sup> /s)
1	pk 340+598	pk 340+580	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$	2.61
2	pk 342+329	pk 342+310	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$	1.99
3	pk 342+506	pk 342+483	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$	0.20
4	pk 342+577	pk 342+589	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$	0.02
5	pk 354+557	pk 354+540	Tombino	Tombino circolare $\phi 1500$	1.85
6	pk 349+047	pk 349+028	Tombino	Tombino scatolare 2x2 m	12.25

#### 4.3 Definizione dei coefficienti di scabrezza

La stima dei coefficienti di scabrezza delle superfici è caratterizzata da un notevole grado di incertezza dal momento che questi parametri presentano un ampio spettro di valori in dipendenza dello stato dell'alveo, del grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

La relazione di piano del PAI dell'Autorità di Bacino della Sicilia riporta una tabella riepilogativa (Chow, 1959) per la scelta del coefficiente di Manning in funzione delle condizioni dell'alveo.

Nella valutazione dei coefficienti di scabrezza occorre tener presente che questi sono comunque suscettibili di modifiche per tenere conto degli effetti dissipativi legati a:

- perdite localizzate prodotte dall'interazione della corrente con irregolarità geometriche come presenza di ostacoli di vario genere, espansioni brusche, incisioni nelle golene, brusche variazioni di larghezza;
- perdite energetiche dovute alla modificazione del fondo dell'alveo, alla risospensione e trasporto solido, allo sradicamento e al trasporto di materiale vegetale.

Si preferisce dunque optare per dei coefficienti di scabrezza che tengano mediamente conto (vista la grande variabilità dei parametri) delle condizioni ambientali e restino a favore di sicurezza.

I sopralluoghi e le analisi di foto satellitari in diversi periodi hanno evidenziato la presenza di una folta vegetazione in corrispondenza dell'alveo con un certo deposito di ciottoli e ghiaia, oltre che

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>														
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th colspan="2">CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78</td> <td>RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>31 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	31 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO									
RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	31 di 115									

una certa tortuosità dei corsi d'acqua trattati. Le aree esterne all'alveo risultano invece prive di vegetazione o coltivate.

Pertanto, i coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione sono nello stato di fatto (ante operam):

- 0.050 s/m<sup>1/3</sup> per le aree golenali;
- 0.035 s/m<sup>1/3</sup> per l'alveo inciso;
- 0.015 s/m<sup>1/3</sup> per i canali in cls.

Nella modellazione dello stato di progetto, (post operam), sono stati assunti i seguenti coefficienti di Manning:

- 0.050 s/m<sup>1/3</sup> per le aree golenali;
- 0.035 s/m<sup>1/3</sup> per l'alveo inciso;
- 0.030 s/m<sup>1/3</sup> per i canali in cls rivestiti con massi emergenti cementati;
- 0.015 s/m<sup>1/3</sup> per i canali in cls.

<b>A. CORSI D'ACQUA NATURALI</b>				
<i>Corsi d'acqua minori (tirante inferiore a 3,5m)</i>				
<b>1. Corsi d'acqua di pianura</b>				
a. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati	0.025	0.030	0.033	
b. Puliti, rettilinei, in piena senza scavi localizzati, con sassi e sterpaglia	0.030	0.035	0.040	
c. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi	0.033	0.040	0.045	
d. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e pietre	0.035	0.045	0.050	
e. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, in magra	0.040	0.048	0.055	
f. Puliti, ondulati, con alcune buche e banchi, con cespugli e più pietrame	0.045	0.050	0.060	
g. Tratti lenti, sterpaglia e buche profonde	0.050	0.070	0.080	
h. Tratti molto erbosi, buche profonde e grossi arbusti e cespugli	0.070	0.100	0.150	
<b>2. Aree golenali</b>				
a. A pascolo senza vegetazione arbustiva	0.025	0.030	0.050	
b. Aree coltivate	0.020	0.035	0.050	
c. Con vegetazione arbustiva spontanea	0.035	0.070	0.160	
d. Con vegetazione arborea coltivata	0.030	0.060	0.120	
<b>3. Corsi d'acqua montani, senza vegetazione in alveo, sponde ripide alberi e cespugli lungo le sponde sommergibili durante le piene</b>				
a. Fondo: ghiaia, ciottoli e massi sparsi	0.030	0.040	0.050	
b. Fondo: ciottoli e massi grossi	0.040	0.050	0.070	
<b>B. CANALI ARTIFICIALI</b>				
<b>1. Canali in terra lisciata ed uniforme</b>				
a. Puliti, scavata di recente	0.016	0.018	0.020	
b. Puliti, dopo prolungata esposizione	0.018	0.022	0.025	
c. Ghiaia, sezione uniforme, pulita	0.022	0.025	0.030	
d. Erba corta, pochi cespugli	0.022	0.027	0.033	
<b>2. Canali in terra con ondulazioni o irregolari</b>				
a. Senza vegetazione	0.023	0.025	0.030	
b. Con erba e pochi cespugli	0.025	0.030	0.033	
c. Cespugli o piante acquatiche in canali profondi	0.030	0.035	0.040	
d. Fondo in terra e sponde in pietrisco	0.028	0.030	0.035	
e. Fondo in pietrame e sponde in cespugli	0.025	0.035	0.040	
f. Fondo in ciottoli e sponde pulite	0.030	0.040	0.050	
<b>3. Canali scavati o dragati</b>				
a. Senza vegetazione	0.025	0.028	0.033	
b. Cespugli sparsi sulle sponde	0.035	0.050	0.060	
<b>4. Canali in roccia</b>				
a. Lisci ed uniformi	0.025	0.035	0.040	
b. Frastagliati ed irregolari	0.035	0.040	0.050	
<b>5. Canali senza manutenzione, sterpaglia e cespugli</b>				
a. Sterpaglia densa, alta quanto il tirante idrico	0.040	0.050	0.080	
b. Fondo pulito cespugli sulle sponde	0.045	0.070	0.110	
c. Fondo pulito, cespugli sulle sponde, in piena	0.050	0.080	0.120	
d. Cespugli densi ed acque profonde	0.080	0.100	0.140	

Tabella 8 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

Per i tombini idraulici nello stato di progetto è stato assunto un coefficiente di Manning  $n=0.015$  s/m<sup>1/3</sup>, come richiesto dal manuale di progettazione RFI.

#### 4.4 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono necessarie per stabilire il livello iniziale della superficie libera, e quindi per avviare il processo di calcolo.

	<p><b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b></p> <p><b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b></p> <p><b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b></p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Commessa</th> <th>LOTTO</th> <th>CODIFICA</th> <th>DOCUMENTO</th> <th>REV.</th> <th>FOGLIO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>RS6K</td> <td>00</td> <td>R 78 RI</td> <td>ID0002 001</td> <td>B</td> <td>33 di 115</td> </tr> </tbody> </table>	Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	33 di 115
Commessa	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS6K	00	R 78 RI	ID0002 001	B	33 di 115								

Come riportata in Appendice A al paragrafo “Caratteristiche del Modello Matematico” il software HEC-RAS prevede che le simulazioni possano essere individuate in 3 differenti casi:

- corrente lenta (o subcritica), per la quale è necessario inserire una condizione al contorno di valle;
- corrente veloce (o supercritica): per la quale è necessario inserire una condizione al contorno di monte;
- corrente mista (subcritica e supercritica): per la quale è necessario inserire una condizione al contorno sia a monte che a valle.

Per i corsi d’acqua oggetto di studio, ubicati in generale nella porzione medio-valliva del bacino, i valori medi di pendenza suggerirebbero un regime di corrente veloce, ma la presenza di tombini, oltre che di numerose confluenze fra diversi tratti, che costituiscono singolarità per il flusso dell’acqua, potrebbe causare variazioni nel pelo libero dell’acqua.

Al fine di simulare correttamente eventuali variazioni nel profilo del pelo libero dell’acqua, mediante risoluzione dell’equazione dei momenti, si è scelto di effettuare le simulazioni in condizioni stazionarie di corrente mista (*steady flow*).

In particolare, per i casi oggetto di studio, si è scelto di attribuire come condizione al contorno sia in corrispondenza della sezione di monte che di quella di valle di ciascuno dei corsi d’acqua, l’altezza di stato critico (Critical Depth).

In questo caso il software è in grado di individuare la eventuale presenza (e posizione) di salti di bidone, mediante soluzione dell’equazione dei momenti, dunque bilancio di spinta fra corrente veloce e corrente lenta.

In particolare, qualora durante la simulazione il bilancio di spinte lungo l’intero corso d’acqua risultasse a favore della corrente veloce, il profilo di rigurgito risultante sarà un profilo di corrente veloce: in questo caso, il livello dell’acqua in corrispondenza della sezione di valle del corso d’acqua non coinciderà con l’altezza di stato critico (condizione al contorno di valle imposta inizialmente) ma sarà calcolato dal programma risolvendo l’equazione dei momenti.

## 5. VERIFICHE IDRAULICHE INTERFERENZE MINORI

Per le opere di attraversamento che non presentano un'evidente incisione a monte e a valle delle stesse, le verifiche idrauliche sono state condotte in condizioni di moto uniforme, applicando la relazione di Gauckler – Strickler.

Il valore del coefficiente di scabrezza per le strutture in calcestruzzo è stato assunto pari a  $K_s=75m^{1/3}/s$  (Manning  $n=0.013 s /m^{1/3}$ ); mentre per pareti in calcestruzzo non perfettamente lisce è stato assunto pari a  $K_s=50m^{1/3}/s$  (Manning  $n=0.02 s /m^{1/3}$ ) e infine per i canali trapezi con rivestimento in materasso tipo "Reno" e pietrame è stato assunto pari a  $K_s= 45 m^{1/3}/s$  (Manning  $n=0.022 s /m^{1/3}$ ).

Secondo quanto prescritto dalla normativa, il manufatto idraulico risulta verificato se il tirante idrico, all'interno della canna del tombino, non supera i 2/3 dell'altezza disponibile della sezione, con un franco minimo di 50 cm.

	<b>Manuale di progettazione ferroviaria</b>	<b>NTC 2018 e circolare applicativa NTC2018</b>
<b>Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)</b>	<i>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</i>	<p><i>Il tombino:</i></p> <p><i>- 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 0,50m.</i></p>

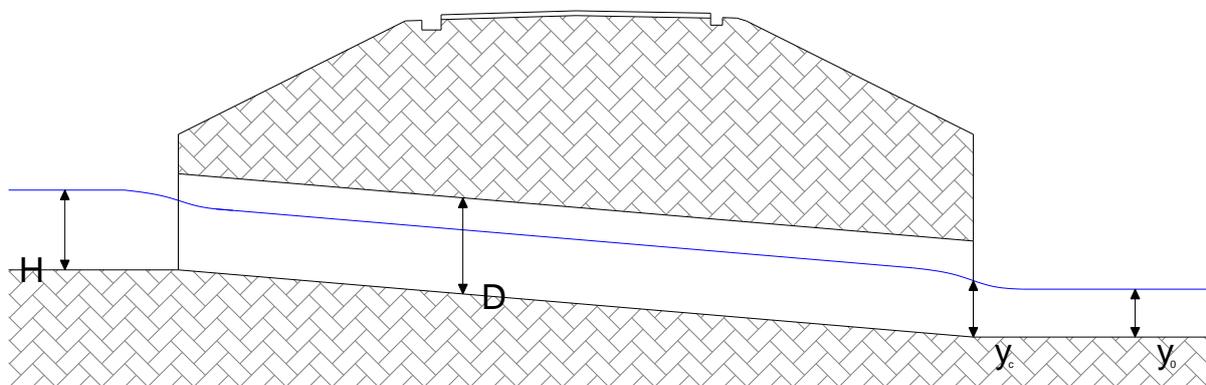


Figura 5-1 – Schema profilo longitudinale tombino.

Le portate utilizzate nel modello numerico sono state desunte dallo studio idrologico allegato al progetto (RS6K00R78RIID0001001A). In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2018 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Tabella 9 - Portate di progetto tombini

Pk storica	Pk di progetto	Opera prevista in progetto	Portata di progetto TR = 200 anni (m3/s)
pk 340+598	pk 340+580	Tombino circolare $\phi 1500$	2.61
pk 342+329	pk 342+310	Tombino circolare $\phi 1500$	1.99
pk 342+506	pk 342+483	Tombino circolare $\phi 1500$	0.20
pk 342+577	pk 342+589	Tombino circolare $\phi 1500$	0.02
pk 354+557	pk 354+540	Tombino circolare $\phi 1500$	1.85

### 5.1 Tombino alla pk storica 340+598 e pk di progetto 340+580

Nell'elaborato grafico RS6K00R78PZID0002001A "Pianta, profilo e sezioni post operam tipologico" è riportato lo stralcio planimetrico dell'intervento in progetto con le sezioni tipologiche e le quote altimetriche del tombino e delle sistemazioni idrauliche.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'opera in esame:

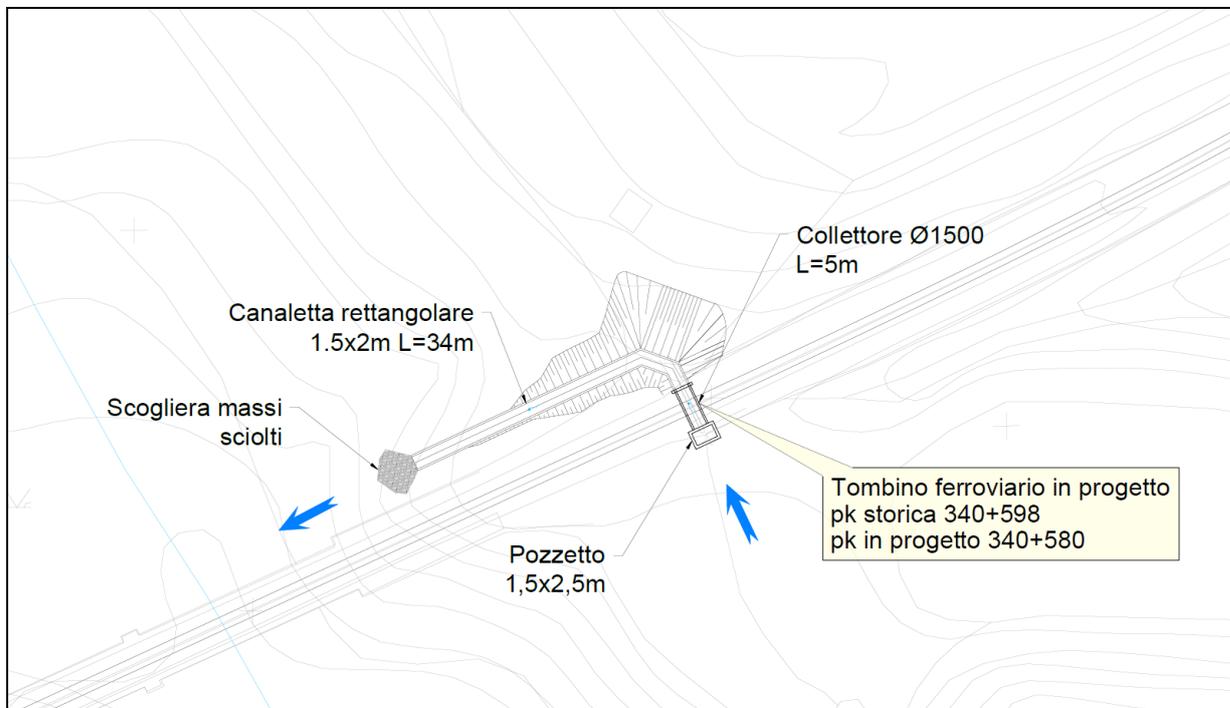


Figura 5-2 – Stralcio planimetrico sistemazione idraulica del tombino alla pk storica 340+598 e pk di progetto 340+580

La soluzione in progetto prevede per il tratto di reticolo in oggetto, caratterizzato da una fluenza non perenne e discontinua nel tempo:

- Tombino Circolare in CLS DN 1500 con pendenza del 0,70% e lunghezza di 5 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 2,50x1,50 m;
- Canale di restituzione al recapito finale a valle, a sezione rettangolare in c.a. con larghezza di base costante di 1,50 m e altezza di 2,00 m. La pendenza longitudinale del canale è costante ed è pari al 1%.
- Al termine del canale rettangolare in calcestruzzo, le acque vengono rilasciate, tramite l'inserimento di una copertura a Rip-Rap con massi sciolti, del diametro medio  $D_m$  800 mm, peso del singolo masso di circa 615 kg e spessore medio di circa 1,0 m, per ridurre gli effetti erosivi indotti dalla velocità della corrente al piede del canale.

Nel tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

	<b>LINEA CATANIA C. LE - GELA</b> <b>RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA</b> <b>LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA</b>					
	RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	Commessa RS6K	LOTTO 00	CODIFICA R 78 RI	DOCUMENTO ID0002 001	REV. B

- un tirante idrico massimo all'interno della canna di 91 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 60 % ed un franco idraulico di 0,59 m circa;
- una velocità massima di 3,2 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 2,9 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 Kg/mq.

Nel canale di restituzione a valle del tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo di 69 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 34 % ed un franco idraulico di 1,31 m circa;
- una velocità massima di 3,40 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 3,6 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 Kg/mq.

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportati, per la portata  $T_r= 200$  anni, e per ogni singolo tratto dei canali aperti e del tombino, i valori massimi della capacità di portata della sezione idraulica a piena sezione, per la portata di progetto i valori del tirante idrico, della velocità, della tensione di trascinamento, il franco idraulico e il grado di riempimento dei canali aperti, il franco idraulico ed energetico per la canna del tombino ed il relativo grado di riempimento.

**La verifica di tutti i tratti di canali a cielo aperto risulta soddisfatta essendo il grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{\text{max}} = 34\% \leq 70\%$ , come anche la verifica del tombino circolare per il quale si verifica un grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{\text{max}} = 60\% \leq 66,6\%$ , un franco idraulico di 0,59 m, inoltre risulta assicurata la compatibilità in termini di velocità e tensione di trascinamento di tutti i materiali previsti in progetto.**



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B 38 di 115

Tombino Circolare						Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franchi		Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	Portata di verifica (l/s)	D (mm)	DN (-)	Mater. (-)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$D-h_w$ (m)	$D-E$ (m)	$h/D$ (%)
pk 340+598	pk 340+580	2612	1500	-	CLS	75	0.007	6.2	2612	3.2	2.53	500	198	0.71	516	1175	0.79	0.28	47
pk 340+598	pk 340+580	2612	1500	-	CLS	50	0.007	4.1	2612	2.3	2.93	500	171	0.91	279	1186	0.59	0.31	60
Canale a cielo aperto						Angolo sponde	Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franco	Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	Portata di verifica (l/s)	B (m)	$H_{canale}$ (m)	Sponda sx (°)	Sponda dx (°)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$H_{canale}-h_w$ (m)	$h/D$ (%)
pk 340+598	pk 340+580	2612	1.50	2.00	-	-	75	0.010	4.5	2612	3.40	3.05	500	164	0.51	588	1100	1.49	26
pk 340+598	pk 340+580	2612	1.50	2.00	-	-	50	0.010	3.0	2612	2.53	3.59	500	139	0.69	325	1015	1.31	34

## 5.2 Tombino alla pk storica 342+329 e pk di progetto 342+310

Nell'elaborato grafico RS6K00R78PZID0002001A "Pianta, profilo e sezioni post operam tipologico" è riportato lo stralcio planimetrico dell'intervento in progetto con le sezioni tipologiche e le quote altimetriche del tombino e delle sistemazioni idrauliche.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'opera in esame:

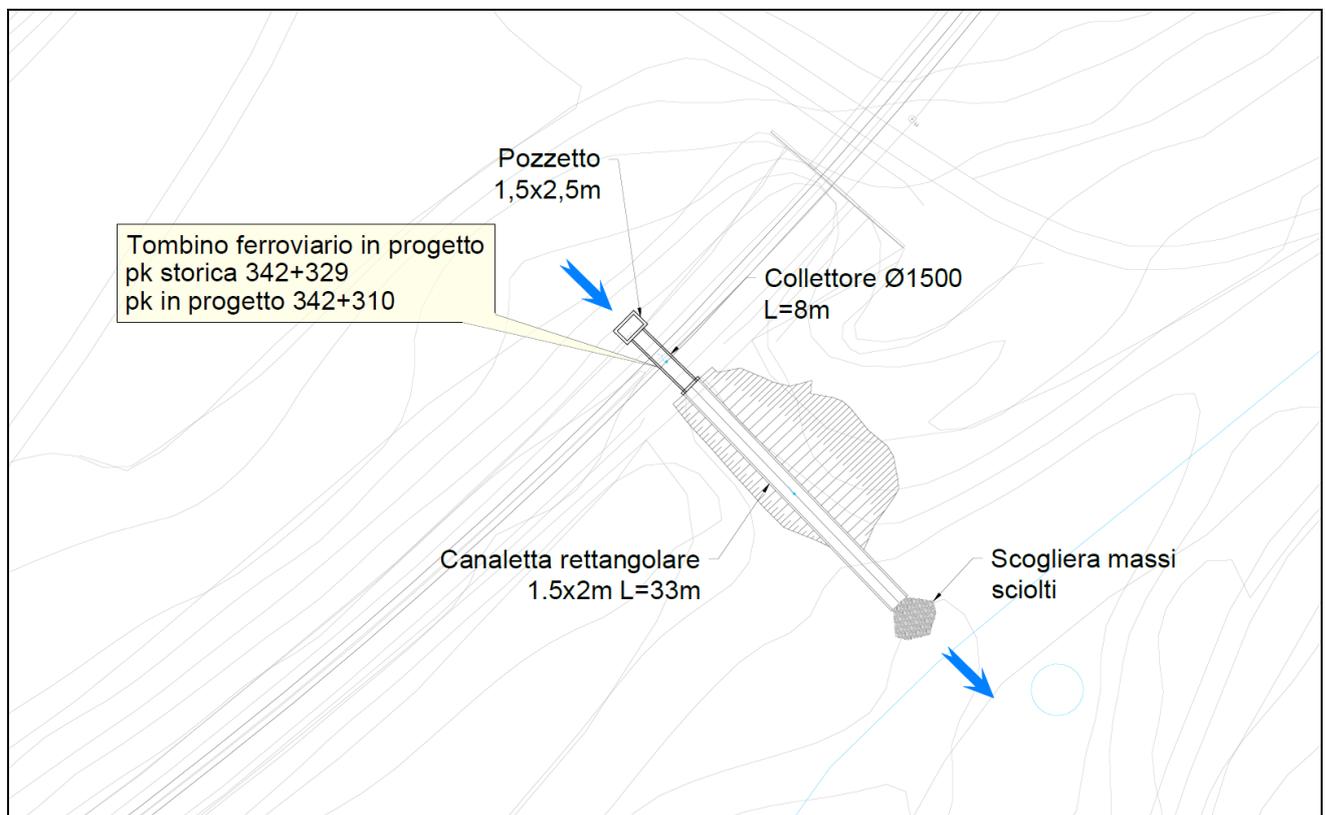


Figura 5-3 - Stralcio planimetrico sistemazione idraulica del tombino alla pk storica 342+329 e pk di progetto 342+310

La soluzione in progetto prevede per il tratto di reticolo in oggetto, caratterizzato da una fluenza non perenne e discontinua nel tempo:

- Tombino Circolare in CLS DN 1500 con pendenza dello 0,5% e lunghezza di 8,00 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 1,50x2,50 m;

- Canale di restituzione a valle, a sezione rettangolare in c.a. con larghezza di base costante di 1,50 m e altezza di 2 m. La pendenza longitudinale del canale è costante ed è pari al 1%.

- Al termine del canale rettangolare in calcestruzzo, le acque vengono rilasciate sul piano campagna, tramite l'inserimento di una copertura a Rip-Rap con massi sciolti, del diametro medio  $D_m$  800 mm, peso del singolo masso di circa 615 kg e spessore medio di circa 1,0 m, per ridurre gli effetti erosivi indotti dalla velocità della corrente al piede del canale e lungo le pareti del muro andatore del viadotto.

Nel tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo all'interno della canna di 85 cm (ipotesi scabrezza  $c = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 57 % ed un franco idraulico di 0,65 m circa;
- una velocità massima di 2,6 m/s (ipotesi scabrezza  $c = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 2,02 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 kg/mq.

Nel canale di restituzione a valle del tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo di 56 cm (ipotesi scabrezza  $c = 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 28 % ed un franco idraulico di 1,44 m circa;
- una velocità massima di 3,14 m/s (ipotesi scabrezza  $c = 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 3,2 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 Kg/mq.

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportati, per la portata  $T_r = 200$  anni, e per ogni singolo tratto dei canali aperti e del tombino, i valori massimi della capacità di portata della sezione idraulica a piena sezione, per la portata di progetto i valori del tirante idrico, della velocità, della tensione di trascinamento, il franco idraulico e grado di riempimento dei canali aperti, il franco idraulico ed energetico per la canna del tombino ed il relativo grado di riempimento.

**La verifica di tutti i tratti di canali a cielo aperto risulta soddisfatta essendo il grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max} = 28\% \leq 70\%$ , come anche la verifica del tombino circolare per il quale si verifica un grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max} = 57\% \leq 66,6\%$ , un franco idraulico di 0,65 m, inoltre risulta assicurata la compatibilità in termini di velocità e tensione di trascinamento di tutti i materiali previsti in progetto.**

Si segnala che per questo tombino non è stato possibile definire dal rilievo la corretta posizione dell'opera esistente; per questo motivo, nella successiva fase progettuale sarà necessario integrare il rilievo dell'opera definendo l'esatta posizione e il corretto collegamento con le opere di sistemazione di progetto a monte e a valle del manufatto.



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B 42 di 115

Tombino Circolare						Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franchi		Grado riemp.	
Pk storica	Pk di progetto	Portata di verifica (l/s)	D (mm)	DN (-)	Mater. (-)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$D-h_w$ (m)	$D-E$ (m)	$h/D$ (%)	
pk 342+329	pk 342+310	1991	1500	-	CLS	75	0.005	5.2	1991	2.6	1.73	500	288	0.67	350	1007	0.83	0.48	45	
pk 342+329	pk 342+310	1991	1500	-	CLS	50	0.005	3.5	1991	1.9	2.02	500	248	0.85	190	1039	0.65	0.46	57	
Canale a cielo aperto						Angolo sponde		Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franco	Grado riemp.
Nome - Progressiva		Portata di verifica (l/s)	B (m)	$H_{canale}$ (m)	Sponda sx (°)	Sponda dx (°)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$H_{canale}-h_w$ (m)	$h/D$ (%)	
pk 342+329	pk 342+310	1991	1.50	2.00	-	-	75	0.010	4.5	1991	3.14	2.71	500	185	0.42	502	925	1.58	21	
pk 342+329	pk 342+310	1991	1.50	2.00	-	-	50	0.010	3.0	1991	2.35	3.22	501	156	0.56	281	846	1.44	28	

### 5.3 Tombino alla pk storica 342+506 e pk di progetto 342+483

Nell'elaborato grafico RS6K00R78PZID0002001A "Pianta, profilo e sezioni post operam tipologico" è riportato lo stralcio planimetrico dell'intervento in progetto con le sezioni tipologiche e le quote altimetriche del tombino e delle sistemazioni idrauliche.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'opera in esame:

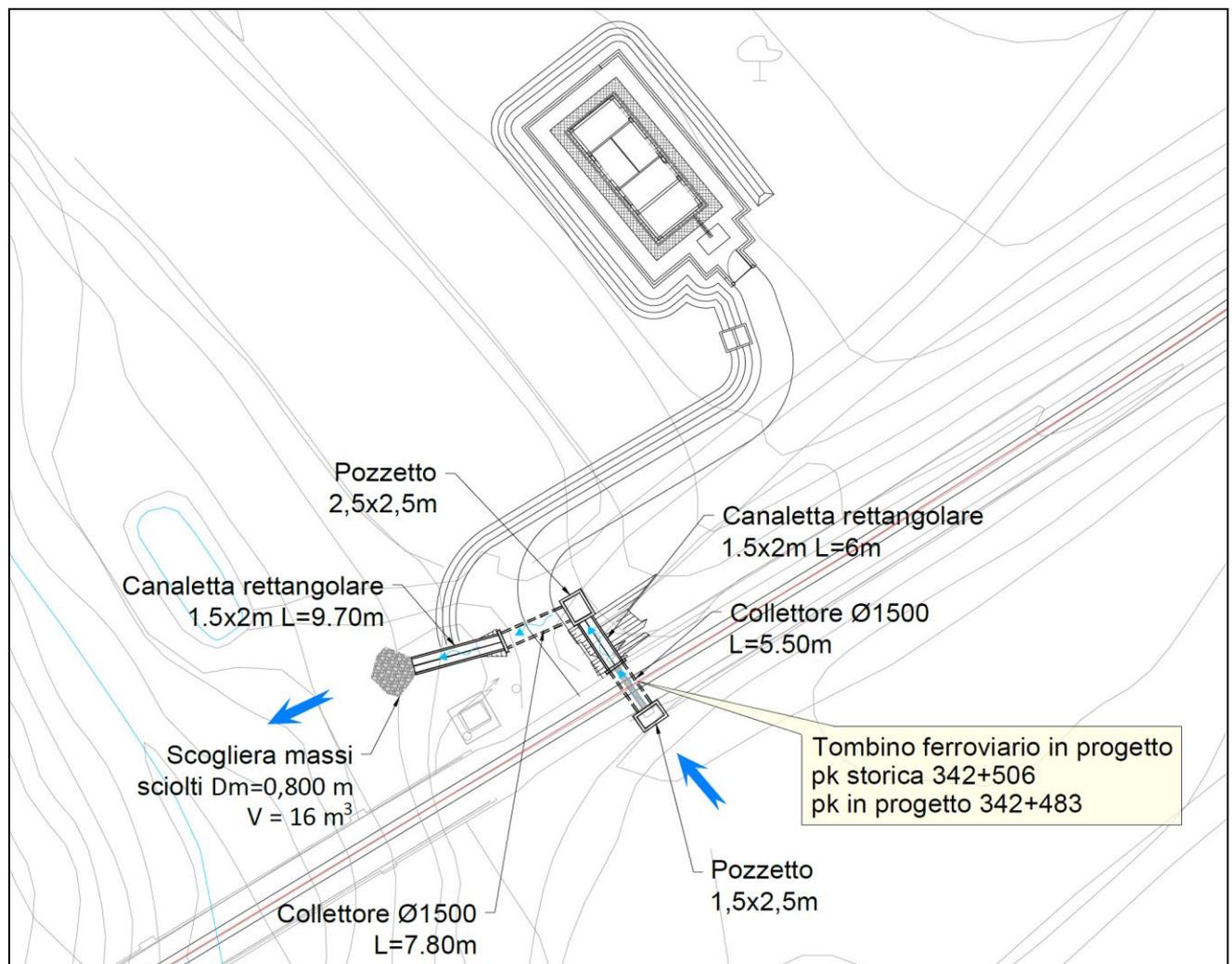


Figura 5-4 - Stralcio planimetrico sistemazione idraulica alla pk storica 342+506 e pk di progetto 342+483

La soluzione in progetto prevede per il tratto di reticolo in oggetto, caratterizzato da una fluenza non perenne e discontinua nel tempo:

- Tombino Circolare in CLS DN 1500 sotto la linea ferroviaria con pendenza dello 0,5% e lunghezza di 5,50 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 1,50x2,50 m;
- Tombino Circolare in CLS DN 1500 sotto la viabilità del piazzale PT04 con pendenza dello 0,5% e lunghezza di 3,10 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 2,50x2,50 m;
- Canali di restituzione, a sezione rettangolare in c.a. con larghezza di base costante di 1,50 m e altezza di 2 m. La pendenza longitudinale dei canali è costante ed è pari al 1%.
- Al termine del canale rettangolare in calcestruzzo, le acque vengono rilasciate sul piano campagna, tramite l'inserimento di una copertura a Rip-Rap con massi sciolti, del diametro medio Dm 800 mm, peso del singolo masso di circa 615 kg e spessore medio di circa 1,0 m, per ridurre gli effetti erosivi indotti dalla velocità della corrente al piede del canale e lungo le pareti del muro andatore del viadotto.

Nel tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo all'interno della canna di 24 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 16 % ed un franco idraulico di 1,26 m circa;
- una velocità massima di 1,4 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 0,82 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 kg/mq.

Nel canale di restituzione a valle del tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo di 12 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 6 % ed un franco idraulico di 1,88 m circa;
- una velocità massima di 1,41 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 1,0 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 Kg/mq.

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportati, per la portata  $T_r= 200$  anni, e per ogni singolo tratto dei canali aperti e del tombino, i valori massimi della capacità di portata della sezione idraulica a piena sezione, per la portata di progetto i valori del tirante idrico, della velocità, della tensione di trascinamento, il franco idraulico e grado di riempimento dei canali aperti, il franco idraulico ed energetico per la canna del tombino ed il relativo grado di riempimento.

**La verifica di tutti i tratti di canali a cielo aperto risulta soddisfatta essendo il grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max}= 6\% \leq 70\%$ , come anche la verifica del tombino circolare per il quale si verifica un grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max}= 16\% \leq 66,6\%$ , un franco idraulico di 1,26 m, inoltre risulta assicurata la compatibilità in termini di velocità e tensione di trascinamento di tutti i materiali previsti in progetto.**



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B 46 di 115

Tombino Circolare		Portata di verifica	D	DN	Mater.	Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franchi		Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	(l/s)	(mm)	(-)	(-)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$D-h_w$ (m)	$D-E$ (m)	$h/D$ (%)
pk 342+506	pk 342+483	195	1500	-	CLS	75	0.005	5.5	195	1.4	0.68	500	732	0.20	98	295	1.30	1.20	13
pk 342+506	pk 342+483	195	1500	-	CLS	50	0.005	3.6	195	1.0	0.82	500	611	0.24	55	299	1.26	1.20	16
Canale a cielo aperto		Portata di verifica	B	$H_{canale}$	Angolo sponde		Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franco	Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	(l/s)	(m)	(m)	Sponda sx (°)	Sponda dx (°)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$H_{canale}-h_w$ (m)	$h/D$ (%)
pk 342+506	pk 342+483	195	1.50	2.00	-	-	75	0.010	4.5	195	1.41	0.82	500	610	0.09	102	194	1.91	5
pk 342+506	pk 342+483	195	1.50	2.00	-	-	50	0.010	3.0	195	1.09	1.02	501	489	0.12	61	180	1.88	6

#### 5.4 Tombino alla pk storica 342+577 e pk di progetto 342+589

Nell'elaborato grafico RS6K00R78PZID0002001A "Pianta, profilo e sezioni post operam tipologico" è riportato lo stralcio planimetrico dell'intervento in progetto con le sezioni tipologiche e le quote altimetriche del tombino e delle sistemazioni idrauliche.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'opera in esame:

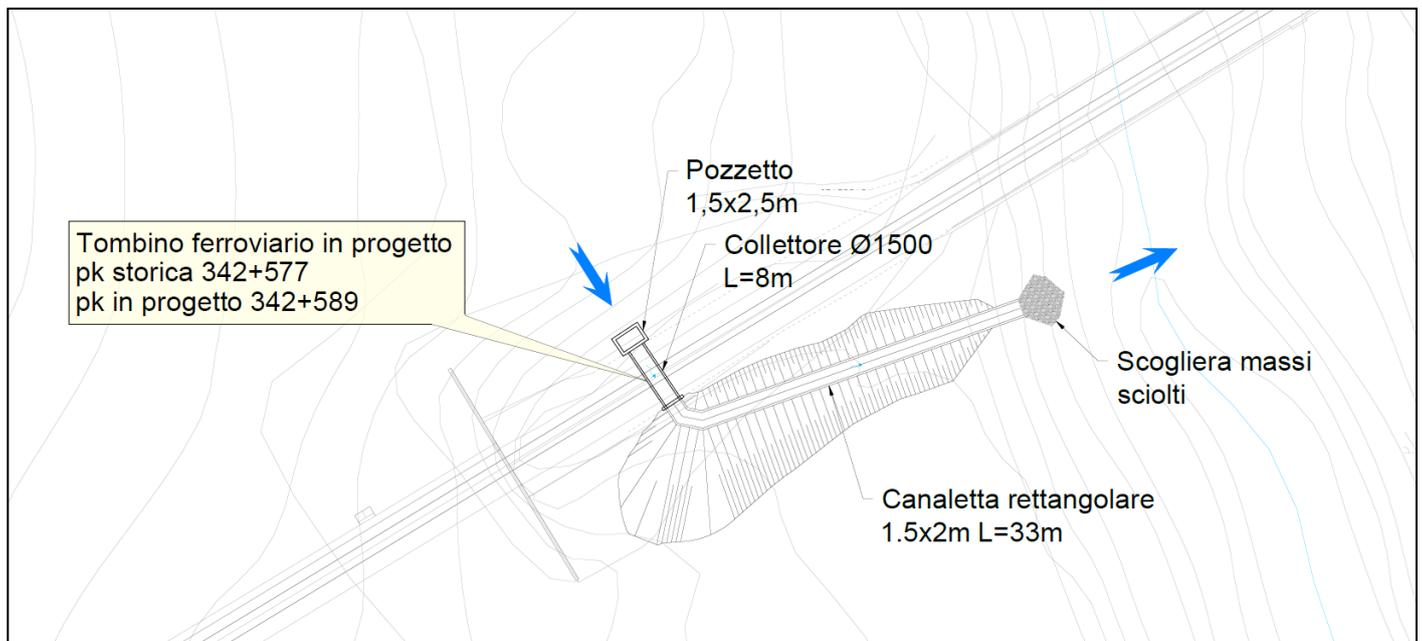


Figura 5-5 - Stralcio planimetrico sistemazione idraulica alla pk storica 342+577 e pk di progetto 342+589

La soluzione in progetto prevede per il tratto di reticolo in oggetto, caratterizzato da una fluenza non perenne e discontinua nel tempo:

- Tombino Circolare in CLS DN 1500 con pendenza dello 0,5% e lunghezza di 6,90 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 1,50x2,50 m;
- Canali di restituzione, a sezione rettangolare in c.a. con larghezza di base costante di 1,50 m e altezza di 2 m. La pendenza longitudinale dei canali è costante ed è pari al 1%.

- Al termine del canale rettangolare in calcestruzzo, le acque vengono rilasciate sul piano campagna, tramite l'inserimento di una copertura a Rip-Rap con massi sciolti, del diametro medio Dm 800 mm, peso del singolo masso di circa 615 kg e spessore medio di circa 1,0 m, per ridurre gli effetti erosivi indotti dalla velocità della corrente al piede del canale e lungo le pareti del muro andatore del viadotto.

Nel tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo all'interno della canna di 7 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 5 % ed un franco idraulico di 1,43 m circa;
- una velocità massima di 0,6 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 0,24 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 kg/mq.

Nel canale di restituzione a valle del tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo di 2 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 1 % ed un franco idraulico di 1,98 m circa;
- una velocità massima di 0,53 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 0,2 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 Kg/mq.

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportati, per la portata  $T_r= 200$  anni, e per ogni singolo tratto dei canali aperti e del tombino, i valori massimi della capacità di portata della sezione idraulica a piena sezione, per la portata di progetto i valori del tirante idrico, della velocità, della tensione di trascinamento, il franco idraulico e grado di riempimento dei canali aperti, il franco idraulico ed energetico per la canna del tombino ed il relativo grado di riempimento.

**La verifica di tutti i tratti di canali a cielo aperto risulta soddisfatta essendo il grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max}= 1\% \leq 70\%$ , come anche la verifica del**

**tombino circolare per il quale si verifica un grado di riempimento ampiamente soddisfatto  $h/D_{max} = 5\% \leq 66,6\%$ , un franco idraulico di 1,43 m, inoltre risulta assicurata la compatibilità in termini di velocità e tensione di trascinamento di tutti i materiali previsti in progetto.**

Si segnala che per questo tombino non è stato possibile definire dal rilievo la corretta posizione dell'opera esistente; per questo motivo, nella successiva fase progettuale sarà necessario integrare il rilievo dell'opera definendo l'esatta posizione e il corretto collegamento con le opere di sistemazione di progetto a monte e a valle del manufatto.



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B 50 di 115

Tombino Circolare		Portata di verifica	D	DN	Mater.	Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franchi		Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	(l/s)	(mm)	(-)	(-)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$D-h_w$ (m)	$D-E$ (m)	$h/D$ (%)
pk 342+577	pk 342+589	15	1500	-	CLS	75	0.005	5.3	15	0.6	0.20	500	2451	0.06	20	82	1.44	1.42	4
pk 342+577	pk 342+589	15	1500	-	CLS	50	0.005	3.5	15	0.5	0.24	500	2059	0.07	11	85	1.43	1.42	5
Canale a cielo aperto		Portata di verifica	B	$H_{canale}$	Angolo sponde		Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franco	Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	(l/s)	(m)	(m)	Sponda sx (°)	Sponda dx (°)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$H_{canale}-h_w$ (m)	$h/D$ (%)
pk 342+577	pk 342+589	15	1.50	2.00	-	-	75	0.010	4.5	15	0.53	0.19	500	2684	0.02	14	33	1.98	1
pk 342+577	pk 342+589	15	1.50	2.00	-	-	50	0.010	3.0	15	0.41	0.23	501	2143	0.02	9	33	1.98	1

### 5.6 Tombino alla pk storica 354+557 e pk di progetto 354+540

Nell'elaborato grafico RS6K00R78PZID0002001A "Pianta, profilo e sezioni post operam tipologico" è riportato lo stralcio planimetrico dell'intervento in progetto con le sezioni tipologiche e le quote altimetriche del tombino e delle sistemazioni idrauliche.

Si riporta di seguito uno stralcio planimetrico dell'opera in esame:

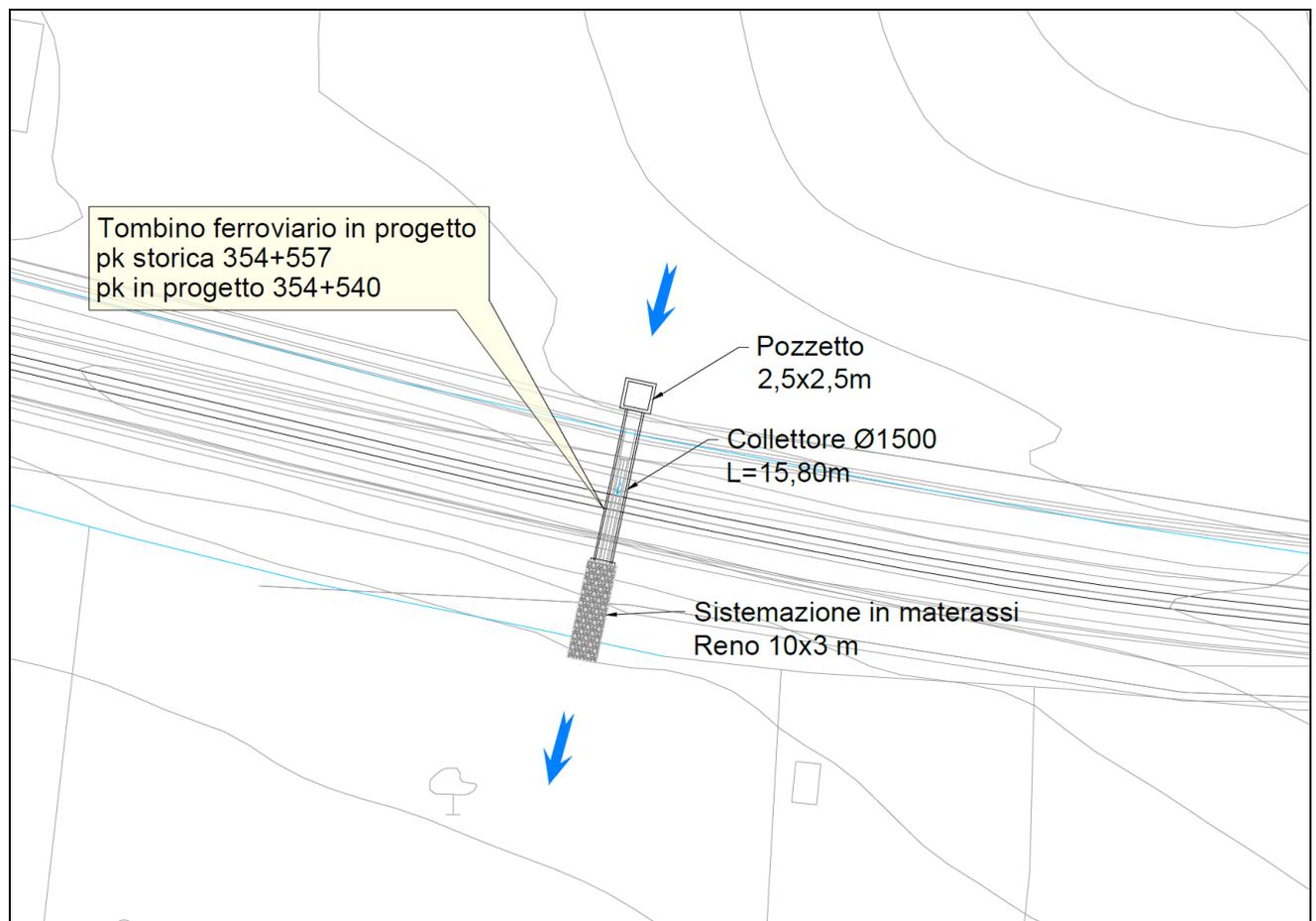


Figura 5-6 - Stralcio planimetrico sistemazione idraulica pk storica 354+557 e pk di progetto 354+540

La soluzione in progetto prevede per il tratto di reticolo in oggetto, caratterizzato da una fluenza non perenne e discontinua nel tempo:

- Tombino Circolare in CLS DN 1500 con pendenza dello 0,5% e lunghezza di 16,80 m, con pozzetto di imbocco a monte in c.a. delle dimensioni in pianta di 2,50x2,50 m;
- Canali di restituzione, a sezione rettangolare in c.a. con larghezza di base costante di 1,50 m e altezza di 2 m. La pendenza longitudinale dei canali è costante ed è pari al 1%.
- Al termine del canale rettangolare in calcestruzzo, le acque vengono rilasciate sul piano campagna, tramite l'inserimento di una la sezione trapezia con base minore di 3 m, altezza 0,3 m e scarpate 3/2 rivestita con materassi tipo "Reno" e pietrame, viene interessata da una corrente con tirante idrico di 30 cm, grado di riempimento del 60 %; la velocità massima, risulta pari a 1,80 m/s, minore della velocità critica (primo movimento) di 5,0 m/s, mentre la tensione di trascinamento massima risulta pari a 2,53 Kg/mq inferiore alla tensione ammissibile di 40 Kg/mq.

Nel tombino la portata di progetto duecentennale transita con:

- un tirante idrico massimo all'interno della canna di 79 cm (ipotesi scabrezza  $c= 50 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ , per manufatto con pareti non in buone condizioni e con deposito al fondo) che determina un grado di riempimento massimo del 53 % ed un franco idraulico di 0,71 m circa;
- una velocità massima di 2,6 m/s (ipotesi scabrezza  $c= 75 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$  per manufatto con pareti in buono stato di conservazione e senza sedimenti al fondo), inferiore alle velocità limite per il calcestruzzo e tensione di trascinamento intorno a 2,08 Kg/mq compatibili con i valori di tensione resistente nel calcestruzzo ben oltre i 500 kg/mq.

Nei tabulati di verifica di seguito allegati sono riportati, per la portata  $T_r= 200$  anni, e per ogni singolo tratto dei canali aperti e del tombino, i valori massimi della capacità di portata della sezione idraulica a piena sezione, per la portata di progetto i valori del tirante idrico, della velocità, della tensione di trascinamento, il franco idraulico e grado di riempimento dei canali aperti, il franco idraulico ed energetico per la canna del tombino ed il relativo grado di riempimento.

**La verifica di tutti i tratti di canali a cielo aperto risulta soddisfatta essendo il grado di riempimento soddisfatto  $h/D_{max}= 60\% \leq 70\%$ , come anche la verifica del tombino circolare per il quale si verifica un grado di riempimento soddisfatto  $h/D_{max}= 53\% \leq 66,6\%$ , un franco**



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**

**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**

**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa	LOTTO	CODIFICA		DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS6K	00	R 78	RI	ID0002 001	B	53 di 115

**idraulico di 0,71 m, inoltre risulta assicurata la compatibilità in termini di velocità e tensione di trascinamento di tutti i materiali previsti in progetto.**



**LINEA CATANIA C. LE - GELA**  
**RIPRISTINO TRATTA CALTAGIRONE- GELA**  
**LOTTO 2: RIPRISTINO TRATTA NISCEMI-GELA**

RELAZIONE IDRAULICA E DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Commessa LOTTO CODIFICA DOCUMENTO REV. FOGLIO  
 RS6K 00 R 78 RI ID0002 001 B 54 di 115

Tombino Circolare						Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franchi		Grado riemp.
Pk storica	Pk di progetto	Portata di verifica (l/s)	D (mm)	DN (-)	Mater. (-)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$D-h_w$ (m)	$D-E$ (m)	$h/D$ (%)
pk 354+557	pk 354+540	1851	1500		CLS	75	0.005	5.4	1851	2.6	1.78	500	281	0.63	354	983	0.87	0.52	42
pk 354+557	pk 354+540	1851	1500		CLS	50	0.005	3.6	1851	1.9	2.08	500	240	0.79	194	988	0.71	0.51	53
Canale a cielo aperto						Angolo sponde	Scabrezza	Pendenza	Portata		Velocità	Tensione di trascinamento			Tirante	Carico cinetico	Carico totale	Franco	Grado riemp.
Nome - Progressiva		Portata di verifica (l/s)	B (m)	$H_{canale}$ (m)	Sponda sx (°)	Sponda dx (°)	$K_s$ ( $m^{1/3} s^{-1}$ )	$i$ (m/m)	$Q_{max}$ ( $m^3/s$ )	$Q$ (l/s)	$V$ (m/s)	$\tau$ ( $kg/m^2$ )	$\tau_{cr}$ ( $kg/m^2$ )	$K = \tau_{cr} / \tau_0$ (-)	$h_w$ (m)	$V^2/2g$ (mm)	$E$ (mm)	$H_{canale}-h_w$ (m)	$h/D$ (%)
pk 354+557	pk 354+540	431	3.00	0.50	33.69	33.69	45	0.010	4.3	1851	1.80	2.53	40	16	0.30	165	463	0.20	60

## 5.7 Tombino alla progressiva 349+047– Piazzale PT05 e viabilità Priolo Sottano

### *i. Elaborati di riferimento*

ELENCO	SCALA	CODIFICA
Pianta, profilo e sezioni ante operam - Sistemazione ponticello alla pk 349+047	varie	RS6K00R78PZID0002002A
Pianta, profilo e sezioni post operam - Sistemazione ponticello alla pk 349+047	varie	RS6K00R78PZID0002003A

### *ii. Simulazione numerica ante operam*

Allo scopo di indagare la reale configurazione delle aree oggetto di studio, è stato messo a punto un modello idrodinamico monodimensionale esteso per circa 737 m, nelle immediate vicinanze dell'opera prevista in progetto. Il modello inizia a monte del tombino ferroviario alla pk storica 349+047 e pk di progetto 349+028.

L'alveo del corso d'acqua, caratterizzato da una larghezza pressoché costante, costituito dal canale di magra e dalle loro aree golenali di espansione, e il tombino esistente con sezione di larghezza 2 m e altezza 0,60 m sono stati modellati con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali. Il manufatto esistente è stato rappresentato nell'ambito del modello con una struttura di tipo "Culvert" di forma geometrica costante.

Nella sottostante Figura 5-7 riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione ante operam con l'ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico.

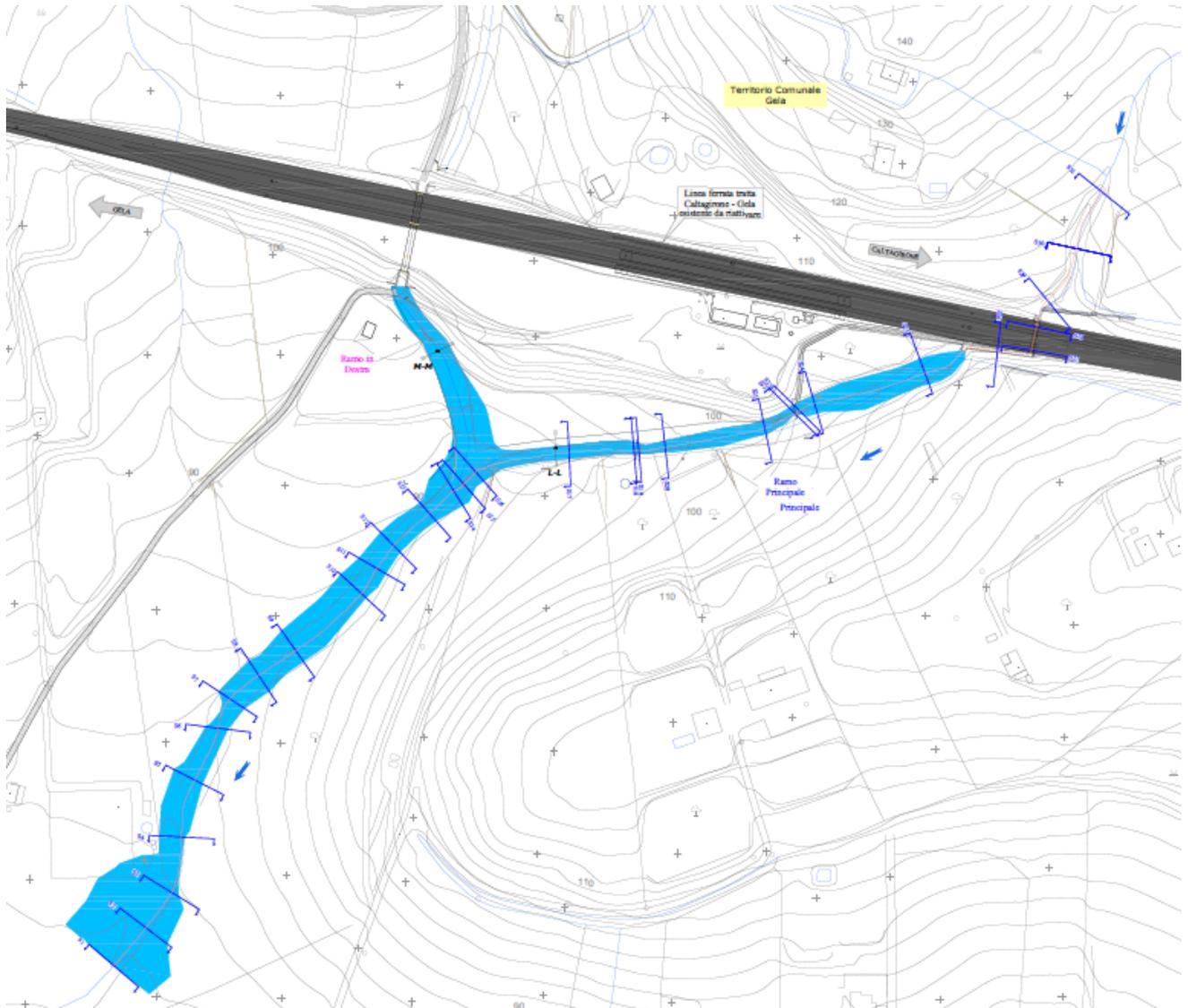


Figura 5-7 - Configurazione ante operam Pk 349+047

### Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 33
- N. manufatti 1

#### Condizioni al contorno

- Portata di verifica
  - Sez.31: 12.25 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
  - Sez. 14: 21.07 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
- Condizione monte
- Condizione valle
  - altezza di stato critico
  - altezza di stato critico
- **Caratteristiche dei manufatti**
  - Tombino scatolare esistente pk 349+047**
  - Tipologia Tombino Scatolare
  - Larghezza 2.0 m

- Altezza 0.6 m
- Lunghezza 10.60 m

- **Scabrezza (Manning)**
  - Alveo inciso esistente  $n=0.035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
  - Golene  $n=0.050 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

### Risultati

In Tabella 10 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 10 – Risultati ante operam Pk 349+047. Tr 200 anni.*

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
33	12.25	126.36	126.8	126.96	127.31	0.44	3.15	1.94
32	12.25	122.55	123.01	123.2	123.62	0.46	3.45	1.99
31	12.25	116.28	116.9	117.36	118.66	0.62	5.88	2.78
30	12.25	113.1	113.89	114.26	115.05	0.79	4.76	2.1
29	12.25	111.4	112.07	112.24	113.32	0.67	4.95	2.22
28	12.25	107.16	109.21	108.35	109.27	2.05	1.09	0.27
27	Culvert							
26	12.25	107.04	108.66	108.35	108.67	1.62	0.73	0.18
25	12.25	106.04	107.94	107.94	108.59	1.9	3.59	1
24	12.25	104.12	104.48	104.88	106.3	0.36	5.98	3.41
23	12.25	101.73	102.79	102.9	103.2	1.06	3.21	1.24
22	12.25	100.1	101.54	101.88	102.81	1.44	5.19	1.81
21	12.25	99.82	100.42	100.92	102.5	0.6	6.43	2.99
20	12.25	99.43	99.99	100.21	100.68	0.56	3.66	1.91
19	12.25	96.14	96.91	97.22	97.89	0.77	4.39	1.85
18	12.25	94.66	95.32	95.75	96.9	0.66	5.58	2.56
17	12.25	93.38	93.89	94.45	96.47	0.51	7.11	3.47
16	12.25	92.69	93.39	93.54	93.95	0.7	3.31	1.39
15	12.25	90.09	90.85	91.18	91.9	0.76	4.57	2.1
14	21.07	89.12	90.47	90.89	91.87	1.35	5.72	1.93
13	21.07	88.88	90.34	90.62	91.16	1.46	4.96	1.4
12	21.07	88.28	89.26	89.61	90.37	0.98	6.04	2.05
11	21.07	87.82	88.83	89.09	89.65	1.01	5.4	1.83
10	21.07	87.55	88.35	88.54	88.94	0.8	4.79	1.87
9	21.07	85.66	86.83	87.02	87.41	1.17	4.65	1.5

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
8	21.07	84.94	85.88	86.16	86.66	0.94	5.38	1.85
7	21.07	83.18	84.16	84.55	85.63	0.98	6.81	2.35
6	21.07	82.86	83.67	83.93	84.48	0.81	5.62	2.06
5	21.07	82.27	83.16	83.28	83.55	0.89	3.21	1.19
4	21.07	81.69	82.41	82.51	82.77	0.72	4	1.68
3	21.07	81.35	81.75	81.8	81.95	0.4	2.05	1.12
2	21.07	80.16	80.84	80.84	81.02	0.68	2.14	0.87
1	21.07	79.78	80.05	80.05	80.05	0.27	0.02	0.02

In Figura 5-8 è riportato il profilo idrico di calcolo.

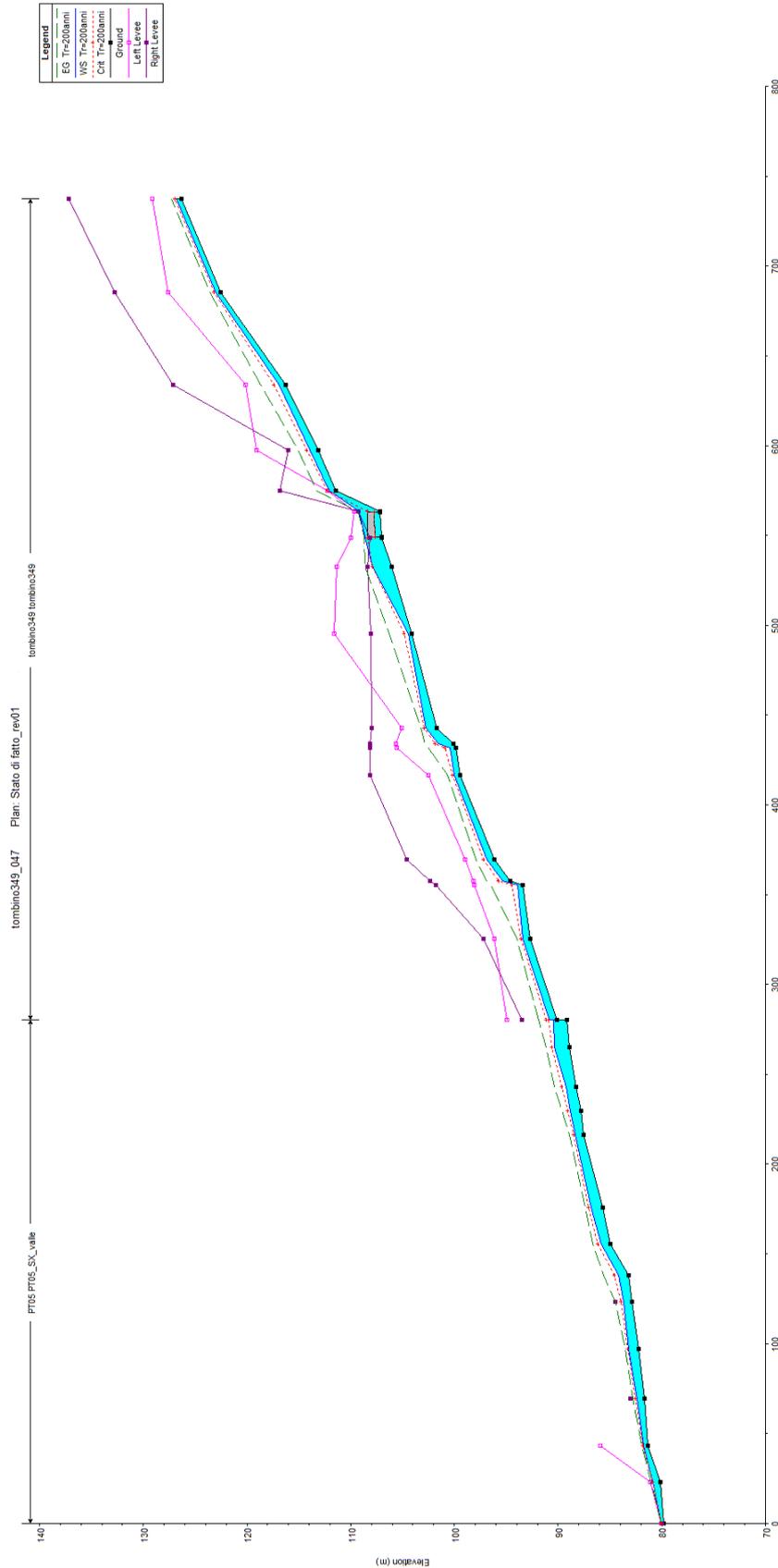


Figura 5-8- Profilo idraulico ante operam Pk 349+047. Tr 200 anni.

Il manufatto esistente è caratterizzato da valori del grado di riempimento e franco idraulico riportati in Tabella 11.

Tabella 11 - Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 349+315. Tr 200 anni

River ( <i>Fiume</i> ):		tombino349
Reach ( <i>Ramo</i> ):		tombino349
Profile ( <i>Tempo di ritorno</i> ):		Tr=200anni

Shape ( <i>Tipologia di sezione</i> ):		Box
# Barrels ( <i>n° di canne</i> )		1.00
Span ( <i>Larghezza sezione</i> )	[m]	2.00
Rise ( <i>Altezza sezione</i> )	[m]	0.60
Diameter ( <i>Diametro sezione</i> )	[m]	-
Culv Inv El Up ( <i>Quota scorrimento acqua imbocco</i> )	[m s.m.]	107.16
Culv Inv El Dn ( <i>Quota scorrimento acqua sbocco</i> )	[m s.m.]	107.04
Q Weir	[m <sup>3</sup> /s]	7.50
Manning's ( <i>Scabrezza tombino</i> )	[m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	0.015
E.G. US ( <i>Quota energia a monte</i> )	[m]	109.21
E.G. DS ( <i>Quota energia a valle</i> )	[m]	108.67
W.S. US ( <i>Quota livello idrico a monte</i> )	[m]	109.21
W.S. DS ( <i>Quota livello idrico a valle</i> )	[m]	108.66
Delta EG ( <i>Variazione quota energia</i> )	[m]	0.60
Delta WS ( <i>Variazione quota energia</i> )	[m]	0.55
Culv WS Inlet ( <i>Livello idrico imbocco</i> )	[m]	107.76
Culv WS Outlet ( <i>Livello idrico imbocco</i> )	[m]	107.64
W.S. Inlet ( <i>Livello idrico imbocco</i> )	[m]	2.65
W.S. Outlet ( <i>Livello idrico sbocco</i> )	[m]	1.03
Culv Nml Depth ( <i>Altezza di moto uniforme</i> )	[m]	0.50
Culv Crt Depth ( <i>Altezza di stato critico</i> )	[m]	0.60
Culv Vel US ( <i>Velocità a monte del tombino</i> )	[m/s]	2.48
Culv Vel DS ( <i>Velocità a monte del tombino</i> )	[m/s]	2.48
Culv Entr Loss ( <i>Perdita all'imbocco</i> )	[m]	0.16
Culv Exit Loss ( <i>Perdita allo sbocco</i> )	[m]	0.30

In Figura 5-9 è riportato il profilo idrico di calcolo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario esistente.

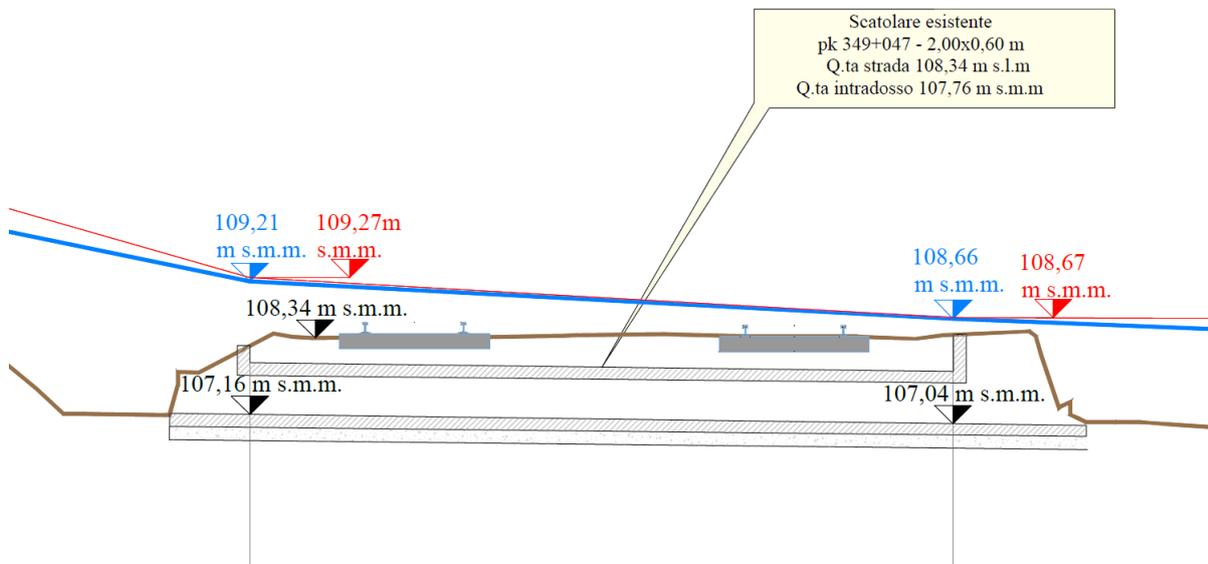


Figura 5-9 - Profilo idraulico tombino pk 349+047 ante operam

### iii. Simulazione numerica post operam

Scopo della simulazione post operam è quello di dimensionare il tombino ferroviario di progetto, e indagare la possibilità di allagamento del piazzale PT05 in progetto. L'alveo del corso d'acqua è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali e della geometria dell'attraversamento in progetto con l'inserimento delle sistemazioni idrauliche a monte del tombino alla pk storia 349+047 e a valle fino alla confluenza.

Il manufatto di progetto è stato rappresentato nell'ambito del modello con una struttura di tipo "Culvert" di forma geometrica costante.

Nella sottostante è riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione post operam con l'ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico.

Dalla simulazione condotta, l'impronta delle opere progettate non risulta essere interessata dalla portata valutata con tempo di ritorno di 200 anni, come mostrato nella figura di seguito.

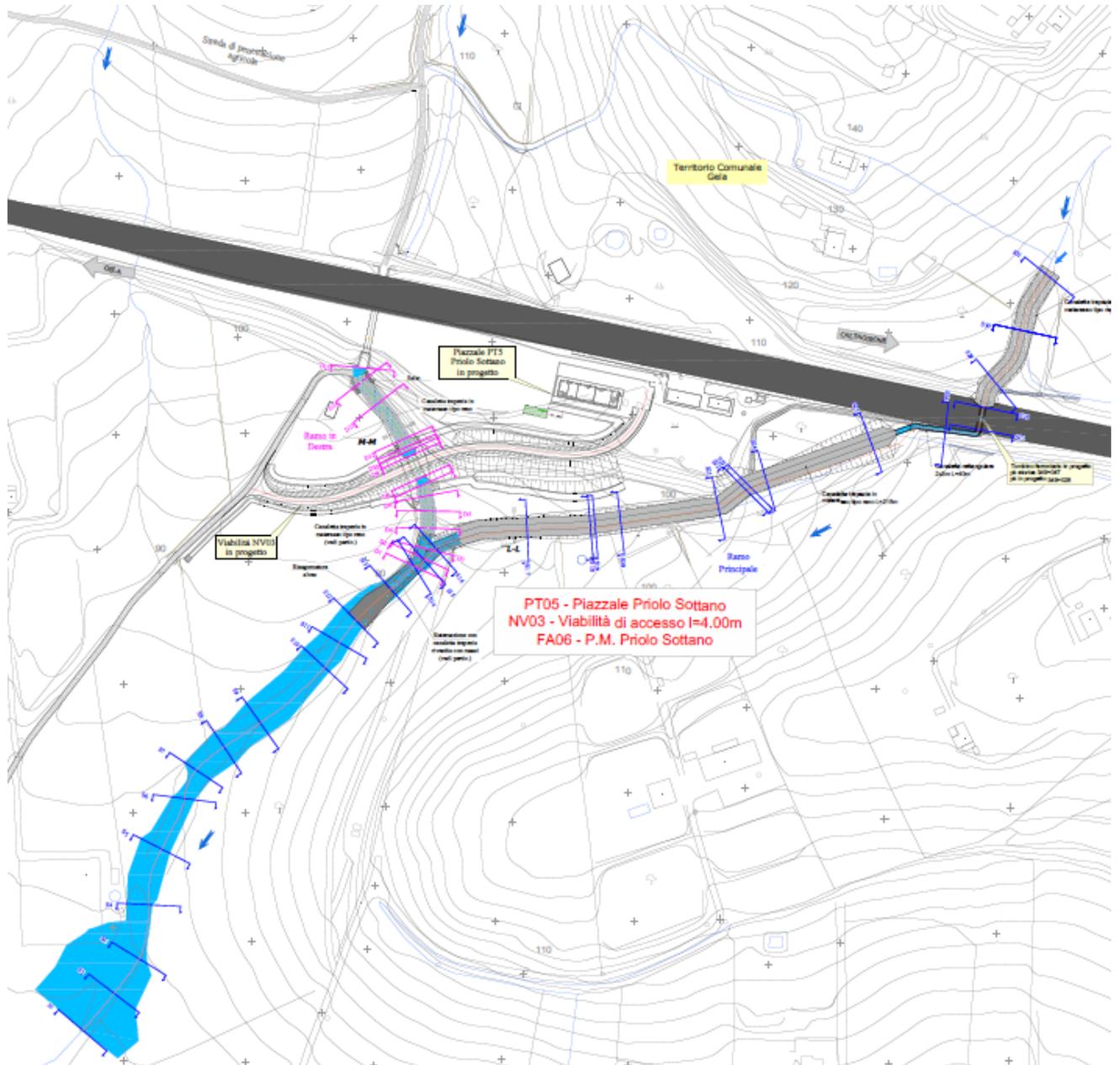


Figura 5-10 - Configurazione post operam Pk 349+047

**Dati principali per la verifica**

- N. sezioni (escluse interpolate) 34
- N. manufatti 1

Condizioni al contorno

- Portata di verifica Sez.31: 12.25 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
- Condizione monte Sez. 14: 21.07 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
- Condizione valle altezza di stato critico
- altezza di stato critico
- **Caratteristiche dei manufatti**
- **Tombino scatolare di progetto pk 349+047**
  - Tipologia Tombino Scatolare
  - Larghezza 2.0 m
  - Altezza 2.0 m
  - Lunghezza 10.60 m
- **Scabrezza (Manning)**
  - Manufatti in cls n=0.015 m-1/3 s
  - Alveo inciso n=0.035 m-1/3 s
  - Golene n=0.050 m-1/3 s

## Risultati

In Tabella 12 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 12 – Risultati post operam Pk 349+047. Tr 200 anni.*

Station (Sezione)	Q Total (Portata)	Min Ch El (Quota fondo)	W.S. Elev. (Quota livello idrico)	Crit. W.S. (Quota altezza critica)	EG Elev (Quota energia)	W.S. (Altezza tirante idrico)	Vel Chnl (Velocità canale)	Froude # Chl (n° Froude)
	[m <sup>3</sup> /s]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m]	[m/s]	
34	12.25	126.36	126.80	126.96	127.31	0.44	3.15	1.94
33	12.25	122.55	123.01	123.20	123.62	0.46	3.45	1.99
32	12.25	116.28	116.83	117.28	118.57	0.55	5.85	2.83
31	12.25	113.81	114.46	114.80	115.57	0.65	4.68	2.09
30	12.25	110.60	111.11	111.55	112.81	0.51	5.77	2.84
29	12.25	105.22	105.82	106.76	110.99	0.60	10.07	4.20
28	Culvert							
27	12.25	105.00	105.79	106.55	108.77	0.79	7.65	2.77
26	12.25	104.36	105.09	105.83	108.09	0.73	7.67	2.97
25	12.25	102.98	103.54	104.00	105.31	0.56	5.89	2.84
24	12.25	100.99	101.88	102.00	102.41	0.89	3.21	1.26
23	12.25	100.41	101.03	101.35	102.04	0.62	4.44	2.00
22	12.25	100.20	100.90	101.21	101.88	0.70	4.38	1.89
21	12.25	98.86	99.55	99.93	100.82	0.69	4.99	2.21
20	12.25	94.81	95.43	95.82	96.78	0.62	5.13	2.38
19	12.25	93.75	94.38	94.75	95.66	0.63	5.00	2.29
18	12.25	93.57	94.22	94.59	95.46	0.65	4.92	2.23

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
17	12.25	92.04	92.78	93.03	93.58	0.74	3.96	1.66
16	12.25	89.77	90.53	90.82	91.44	0.76	4.23	1.79
15	12.25	89.12	89.95	90.27	90.99	0.83	4.53	1.93
14	21.07	89.12	90.05	90.33	90.95	0.93	4.22	1.57
13	21.07	88.88	90.06	90.09	90.55	1.18	3.09	1.00
12	21.07	88.28	89.37	89.61	90.09	1.09	4.97	1.59
11	21.07	87.82	88.84	89.09	89.62	1.02	5.27	1.77
10	21.07	87.55	88.35	88.54	88.95	0.80	4.81	1.88
9	21.07	85.66	86.83	87.02	87.41	1.17	4.65	1.50
8	21.07	84.94	85.88	86.16	86.66	0.94	5.38	1.85
7	21.07	83.18	84.16	84.55	85.63	0.98	6.81	2.35
6	21.07	82.86	83.67	83.93	84.48	0.81	5.62	2.06
5	21.07	82.27	83.16	83.28	83.55	0.89	3.21	1.19
4	21.07	81.69	82.41	82.51	82.77	0.72	4.00	1.68
3	21.07	81.35	81.75	81.80	81.95	0.40	2.05	1.12
2	21.07	80.16	80.84	80.84	81.02	0.68	2.14	0.87
1	21.07	79.78	80.05	80.05	80.05	0.27	0.02	0.02

Di seguito è riportato il profilo idrico di calcolo.

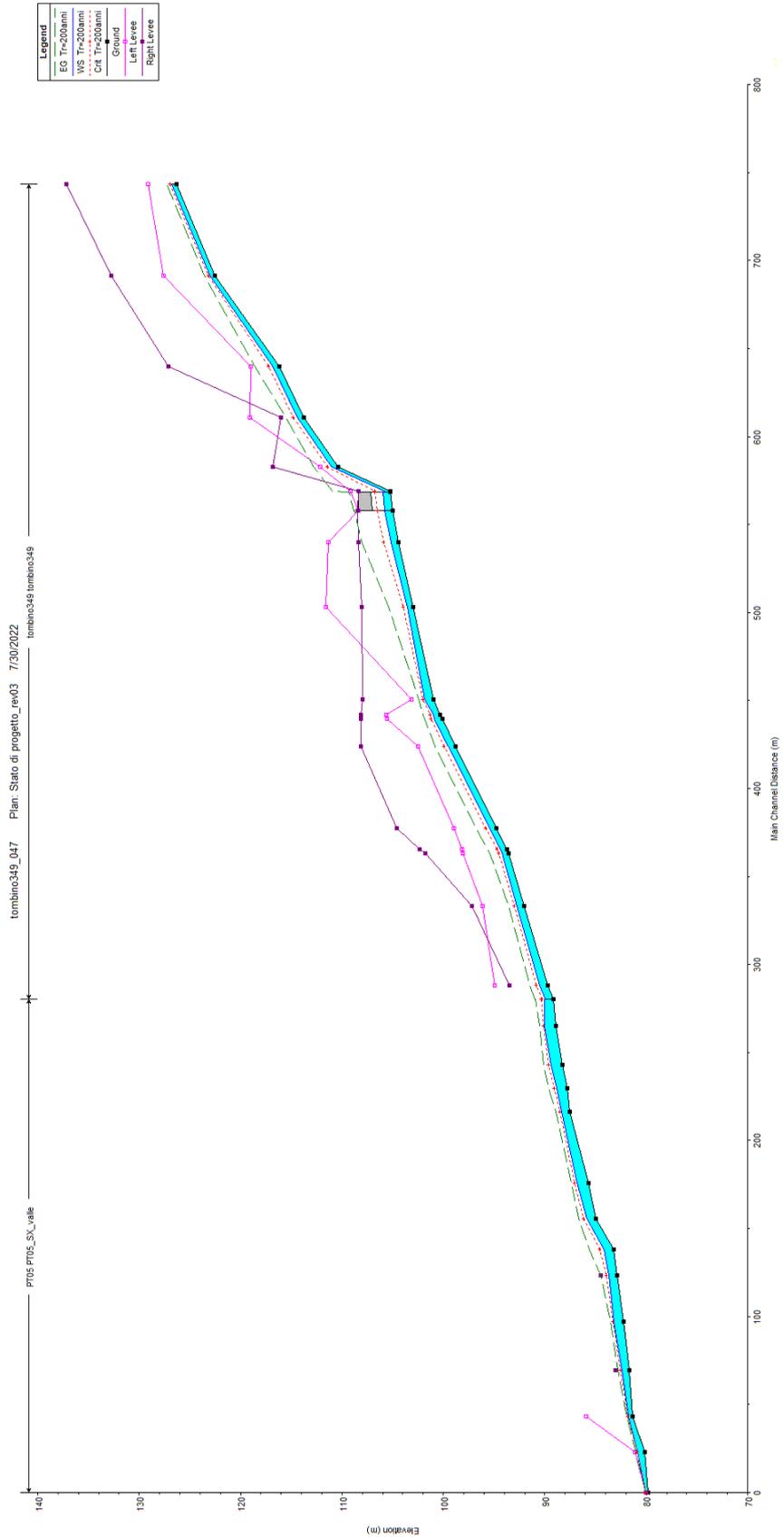


Figura 5-11 – Profilo idraulico post operam Pk 349+056. Tr 200 anni.

Il manufatto in progetto è caratterizzato da valori del grado di riempimento e franco idraulico riportati in *Tabella 13* che soddisfano i criteri di verifica riportati al capitolo 3 (grado di riempimento  $< 2/3$  e franco idraulico almeno pari a 50 cm).

In Figura 5-12 è riportato il profilo idrico di calcolo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario esistente.

*Tabella 13 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 349+315. Tr 200 anni.*

River (Fiume):		tombino349
Reach (Ramo):		tombino349
Profile (Tempo di ritorno):		Tr=200anni

Shape (Tipologia di sezione):		Box
# Barrels (n° di canne)		1.00
Span (Larghezza sezione)	[m]	2.00
Rise (Altezza sezione)	[m]	2.00
Diameter (Diametro sezione)	[m]	-
Culv Inv El Up (Quota scorrimento acqua imbocco)	[m s.m.]	105.22
Culv Inv El Dn (Quota scorrimento acqua sbocco)	[m s.m.]	105.00
Manning's (Scabrezza tombino)	[m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	0.015
E.G. US (Quota energia a monte)	[m]	110.99
E.G. DS (Quota energia a valle)	[m]	107.4
W.S. US (Quota livello idrico a monte)	[m]	105.82
W.S. DS (Quota livello idrico a valle)	[m]	106.27
Delta EG (Variazione quota energia)	[m]	3.59
Delta WS (Variazione quota energia)	[m]	0.46
Culv WS Inlet (Livello idrico imbocco)	[m]	105.96
Culv WS Outlet (Livello idrico imbocco)	[m]	105.79
W.S. Inlet (Livello idrico imbocco)	[m]	0.75
W.S. Outlet (Livello idrico sbocco)	[m]	0.79
Culv Nml Depth (Altezza di moto uniforme)	[m]	1.03
Culv Crt Depth (Altezza di stato critico)	[m]	1.56
Culv Vel US (Velocità a monte del tombino)	[m/s]	8.11
Culv Vel DS (Velocità a monte del tombino)	[m/s]	7.77
Culv Entr Loss (Perdita all'imbocco)	[m]	1.67
Culv Exit Loss (Perdita allo sbocco)	[m]	1.47

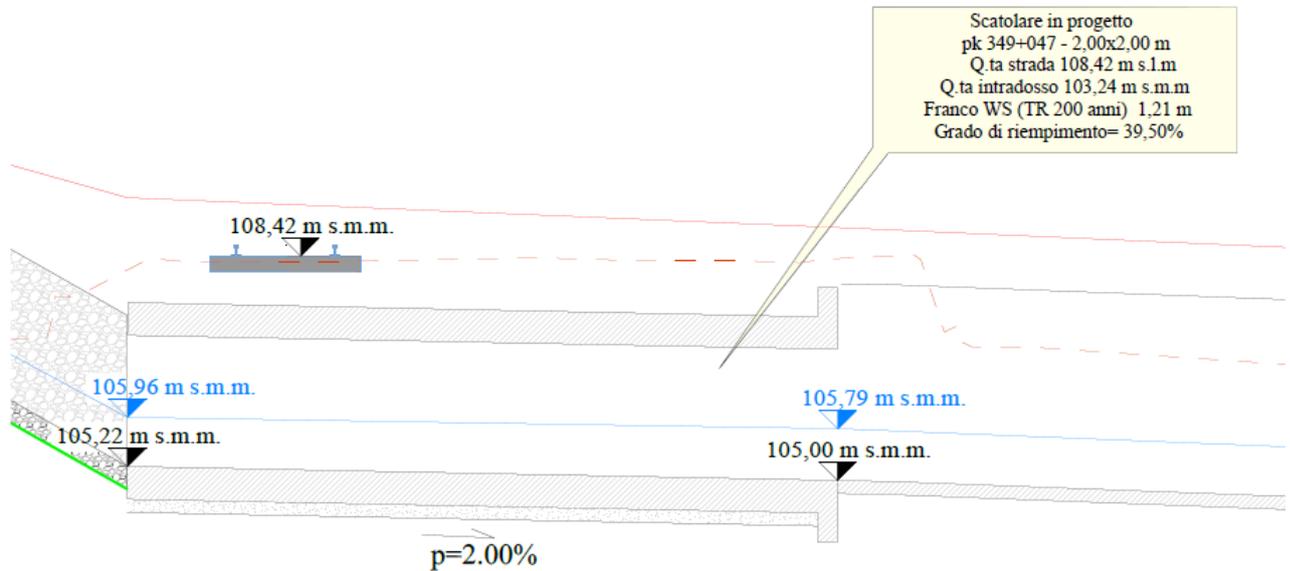


Figura 5-12 - Profilo idraulico tombino pk 349+047 post operam

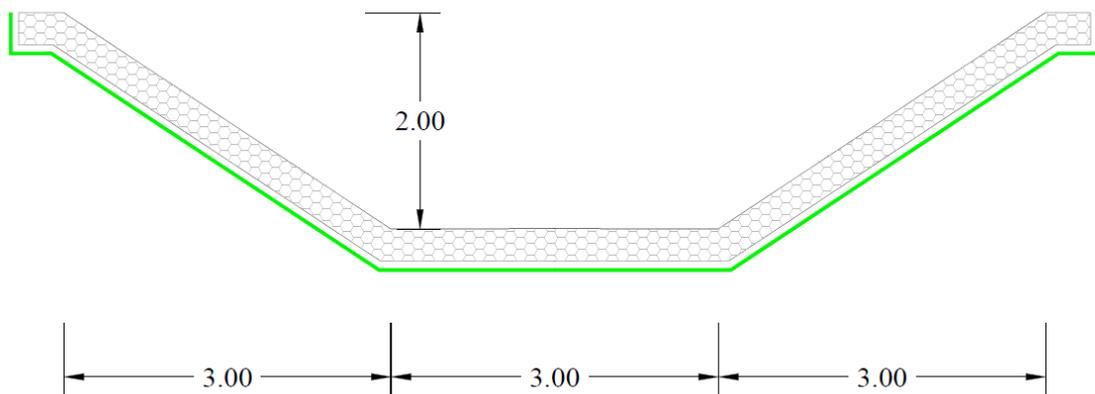
Per un maggior grado di tutela, oltre al calcolo dei parametri idraulici riferiti al manufatto di attraversamento, per la valutazione del grado di riempimento massimo e del franco idraulico minimo che si instaurano all'interno del tombino per il passaggio della portata valutata con tempo di ritorno pari a 200 anni, sono stati tenuti in considerazione anche i parametri idraulici delle sezioni subito a monte e a valle dell'opera in progetto. I risultati sono riportati in tabella.

Tabella 14 - Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 349+047. Tr 200 anni 2/2

Opera	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino [m]	Grado riempimento	Franco idraulico
Manufatto scatolare (SEZ.MONTE)	105.22	105.96	110.99	0.74	2.00	37%	1.25
Manufatto scatolare (SEZ.VALLE)	105.00	105.00	108.77	0.79	2.00	40.0%	1.21

#### **iv. Sistemazione e protezione**

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso a monte del manufatto di attraversamento secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3,0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno spessore 30 cm con fondo rivestito con filtro in geotessile monotessuto (Figura 5-17) e una regolarizzazione delle sezioni di deflusso a valle della sezione D4 secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 3,0 m e pendenza delle sponde 2:2 con fondo alveo rivestito con massi emergenti (Figura 5-18).



*Figura 5-13 – Sezione tipo sistemazione Pk 349+047 1/2*

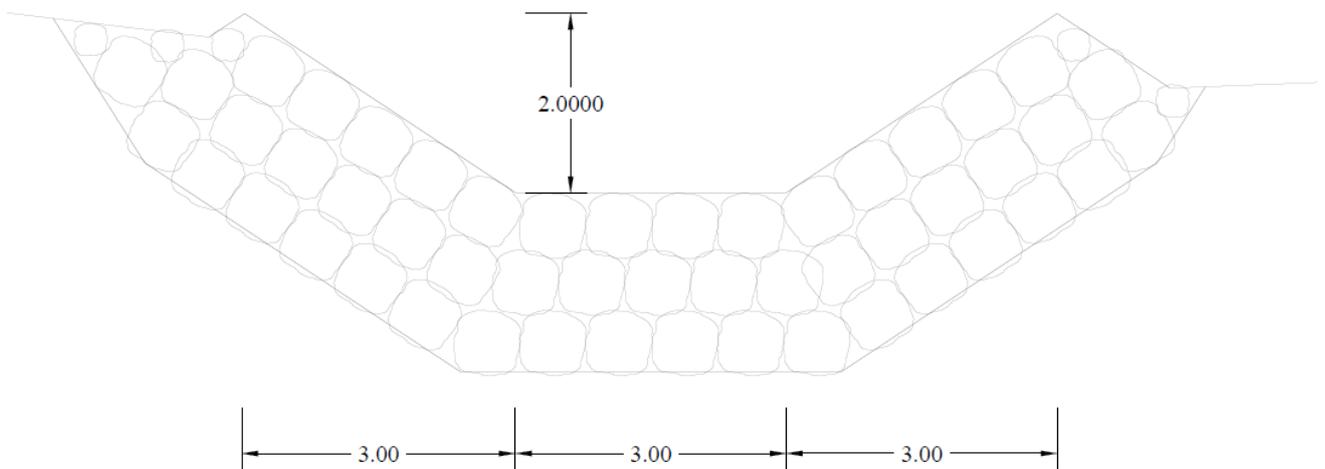
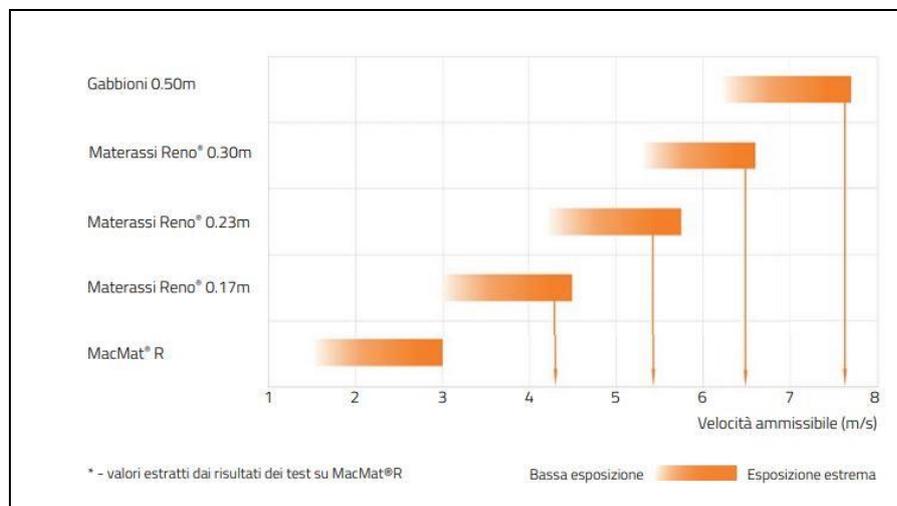


Figura 5-14- Sezione tipo sistemazione Pk 349+047 2/2.

I valori di velocità nelle sezioni in cui è previsto il rivestimento in materassi di tipo Reno risultano compatibili con i valori indicati nella tabella Maccaferri.



## 5.8 Corso d'acqua alla progressiva 349+315 – Tombino viabilità NV03 Priolo Sottano

### v. *Elaborati di riferimento*

ELENCO	SCALA	CODIFICA
Planimetria ante e post operam con aree allagamento - Piazzale PT05 - Priolo Sottano	varie	RS6K00R78PZID0002007A
Pianta, profilo e sezioni post operam - Sistemazione idraulica Priolo Sottano	varie	RS6K00R78PZID0002008A

### vi. *Simulazione numerica post operam*

Per questo corso d'acqua l'analisi idraulica si è limitata al solo post operam non essendo presente una vera e propria canalizzazione nello stato di fatto. Allo scopo di indagare la reale configurazione delle aree oggetto di studio, è stato messo a punto un modello idrodinamico monodimensionale esteso circa 360 m, nelle immediate vicinanze della viabilità NV03 in progetto.

L'alveo del corso d'acqua è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali e della geometria dell'attraversamento in progetto.

Per consentire il naturale deflusso delle acque a seguito della realizzazione della nuova viabilità NV03 in progetto, in corrispondenza dell'inserimento del nuovo Piazzale Sottano, si è prevista la realizzazione di uno scatolare di dimensioni 4,0 x 2,0 m.

Il manufatto di progetto è stato rappresentato nell'ambito del modello con una struttura di tipo "Culvert" di forma geometrica costante.

Nella sottostante Figura 5-15 è riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione post operam con l'ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico.

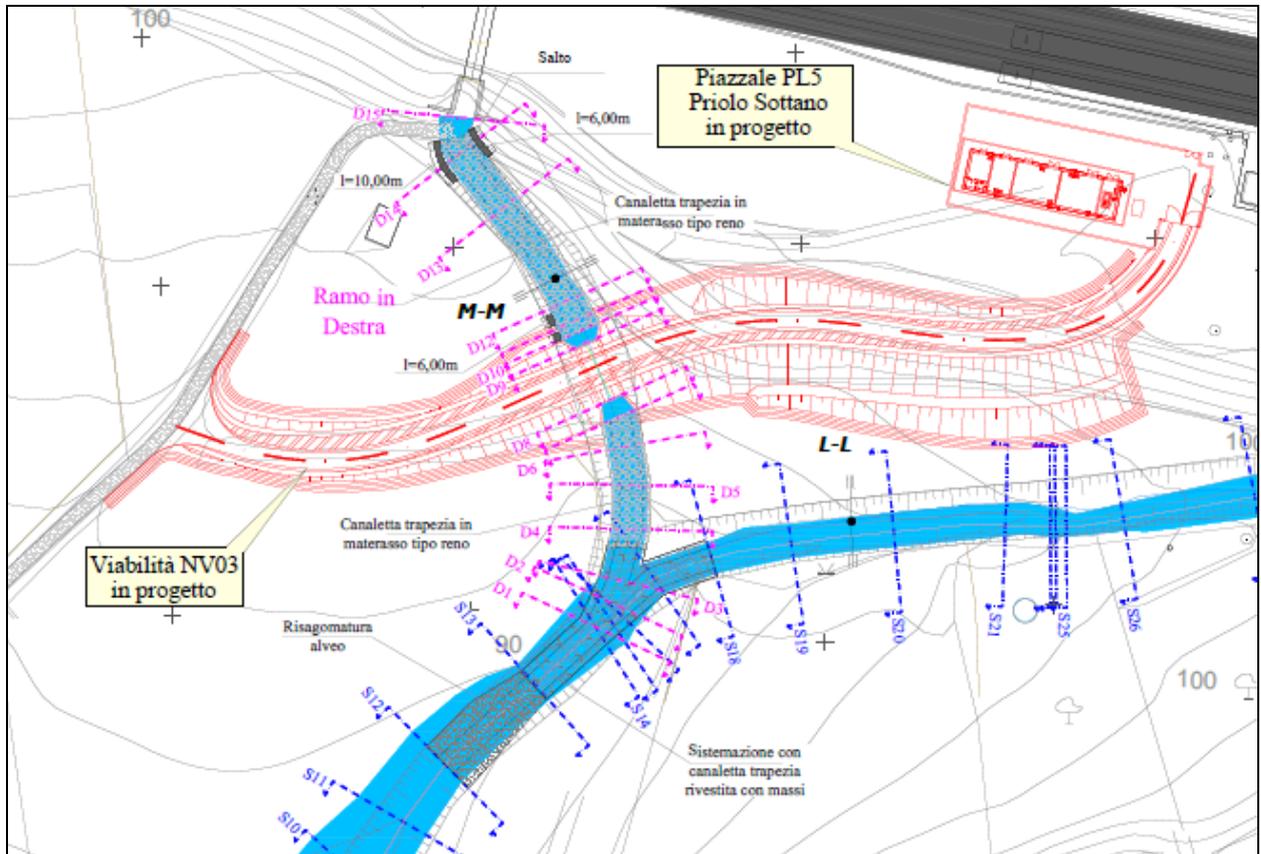


Figura 5-15- Configurazione post operam Pk 349+315-Tombino viabilità NV03

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche del manufatto e gli altri dati necessari alla modellazione.

### Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate) 15
- N. manufatti 1
- Caratteristiche dei manufatti
  - Tombino scatolare di progetto sotto viabilità NV03
    - Tipologia Tombino Scatolare
    - Larghezza 4,0 m
    - Altezza 2.0 m
    - Lunghezza 11.50 m
- Condizioni al contorno
  - Portata di verifica 8.82 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
  - Condizione monte altezza di stato critico
  - Condizione valle altezza di stato critico

- **Scabrezza (Manning)**
  - Alveo inciso di progetto n=0.035 m-1/3 s
  - Golene n=0.050 m-1/3 s
  - Culvert n=0.015 m-1/3 s

## Risultati

In *Tabella 15* vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti e di progetto lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 15 – Risultati post operam Pk 349+315-Tombino viabilità NV03*

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
15	8.82	98.50	99.13	99.13	99.36	0.63	2.37	1.03
14	8.82	97.97	98.48	98.69	99.15	0.51	3.63	1.75
13.9	8.82	96.97	97.69	97.69	97.99	0.72	2.41	1.00
13	8.82	95.25	95.97	95.97	96.27	0.72	2.40	0.99
12	8.82	94.12	94.86	94.84	95.14	0.74	2.34	0.96
11	8.82	93.91	94.94	94.63	95.06	1.03	1.55	0.55
10	8.82	93.80	94.95	94.52	95.04	1.15	1.33	0.44
9.5	8.82	93.76	94.79	94.55	95.02	1.03	2.14	0.67
9	Culvert							
8	8.82	93.56	94.15	94.35	94.86	0.59	3.73	1.55
7	8.82	93.49	93.96	94.21	94.78	0.47	4.02	2.02
6.9	8.82	93.24	93.65	93.96	94.75	0.41	4.65	2.47
6	8.82	92.53	93.25	93.25	93.55	0.72	2.41	1.00
5	8.82	91.11	91.45	91.83	93.13	0.34	5.73	3.31
4	8.82	90.33	90.75	91.05	91.81	0.42	4.56	2.40
3	8.82	89.73	90.22	90.45	90.96	0.49	3.81	1.87
2	8.82	89.46	90.71	90.18	90.78	1.25	1.15	0.36
1	8.82	89.12	90.73		90.76	1.61	0.84	0.23

Il manufatto in progetto è caratterizzato da valori del grado di riempimento e franco idraulico riportati in *Tabella 16* e in *Tabella 17* che soddisfano i criteri di verifica riportati al capitolo 3 (grado di riempimento <2/3 e franco idraulico almeno pari a 50 cm).

In Figura 5-16 è riportato il profilo idrico di calcolo in corrispondenza dell'attraversamento ferroviario esistente.

Tabella 16 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 349+315. Tr 200 anni.

Manufatto scatolare viabilità NV03		
River (Fiume):		-
Reach (Ramo):		-
Profile (Tempo di ritorno):		200 anni
River Station US (Sezione di monte):		9
River Station DS (Sezione di valle):		8
River Station (Sezione):		8.5
Shape (Tipologia sezione)		Box
# Barrels (n° di canne)		1
Span (Larghezza sezione)	[m]	4.00
Rise (Altezza sezione)	[m]	2.00
Diameter (Diametro sezione)	[m]	-
Upstream Invert Elev (Quota scorrimento acqua imbocco)	[m.s.m.]	93.76
Downstream Invert Elev (Quota scorrimento acqua sbocco)	[m.s.m.]	93.56
Q Culv (Portata tombino)	[m <sup>3</sup> /s]	8.82
Manning's (Scabrezza tombino)	[m <sup>1/3</sup> s <sup>-1</sup> ]	0.015
E.G. US (Quota energia a monte)	[m.s.m.]	95.03
E.G. DS (Quota energia a valle)	[m.s.m.]	94.75
W.S. US (Quota livello idrico a monte)	[m.s.m.]	94.79
W.S. DS (Quota livello idrico a valle)	[m.s.m.]	94.35
Delta E.G. (Variazione quota energia)	[m]	0.28
Delta W.S. (Variazione quota livello idrico)	[m]	0.44
Culv W.S. Inlet (Livello idrico imbocco)	[m]	94.55
Culv W.S. Outlet (Livello idrico sbocco)	[m]	94.14
W.S. Inlet (Tirante idrico imbocco)	[m]	0.79
W.S. Outlet (Tirante idrico sbocco)	[m]	0.58
Culv Nml Depth (Altezza di moto uniforme)	[m]	0.47
Culv Ctr Depth (Altezza di stato critico)	[m]	0.79
Culv Vel US (Velocità a monte del tombino)	[m/s]	2.79
Culv Vel DS (Velocità a valle del tombino)	[m/s]	3.75
Culv Entr loss (Perdita all'imbocco)	[m]	0.08
Culv Exit loss (Perdita allo sbocco)	[m]	0.12
W.P. Total Inlet (Contorno bagnato imbocco)	[m]	5.58
W.P. Total Outlet (Contorno bagnato sbocco)	[m]	5.16
R. Hydr Inlet (Raggio idraulico imbocco)	[m]	0.57
R. Hydr Outlet (Raggio idraulico sbocco)	[m]	0.45
Degree of Filling Inlet (Grado di riempimento imbocco)	[%]	39.50
Degree of Filling Outlet (Grado di riempimento sbocco)	[%]	29.00
Freeboard Inlet (Franco idraulico imbocco)	[m]	1.21
Franco Energetico imbocco	[m]	0.73
Freeboard Outlet (Franco idraulico sbocco)	[m]	1.42
Franco Energetico sbocco	[m]	0.81

Per un maggior grado di tutela, oltre al calcolo dei parametri idraulici riferiti al manufatto di attraversamento (Tabella 16), per la valutazione del grado di riempimento massimo e del franco idraulico minimo che si instaurano all'interno del tombino per il passaggio della portata valutata con tempo di ritorno pari a 200 anni, sono stati tenuti in considerazione anche i parametri idraulici delle sezioni subito a monte e a valle dell'opera in progetto. I risultati sono riportati nella Tabella 17.

Tabella 17 - Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 349+315. Tr 200 anni 2/2

Opera	Sezione con tirante massimo	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Livello energetico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino [m]	Grado riempimento	Franco idraulico	Franco energetico
Manufatto scatolare	Sez. 9	93.76	94.79	95.02	1.03	2.00	51.5%	0.97	0.74
Manufatto scatolare	Sez. 8	93.56	94.15	94.86	0.59	2.00	29.5%	1.41	0.7

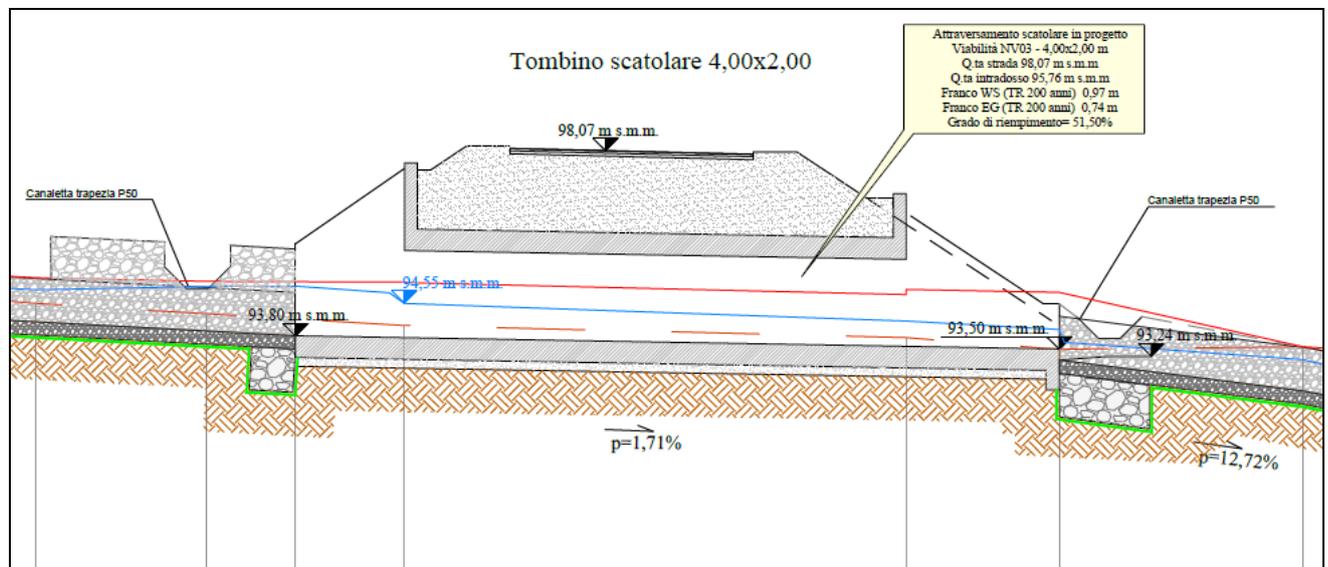


Figura 5-16- Profilo idraulico tombino scatolare in progetto Pk 349+315. Tr 200 anni.

### vii. Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede una regolarizzazione delle sezioni di deflusso a monte del manufatto di attraversamento secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 4,0 m e pendenza delle sponde 2:3 rivestita in materassi tipo Reno spessore 30 cm (Figura 5-17) e una regolarizzazione delle sezioni di deflusso a valle della sezione D4 secondo una sezione trapezia con

base di larghezza pari a 4,0 m e pendenza delle sponde 2:3 con fondo alveo rivestito con massi emergenti (Figura 5-18).

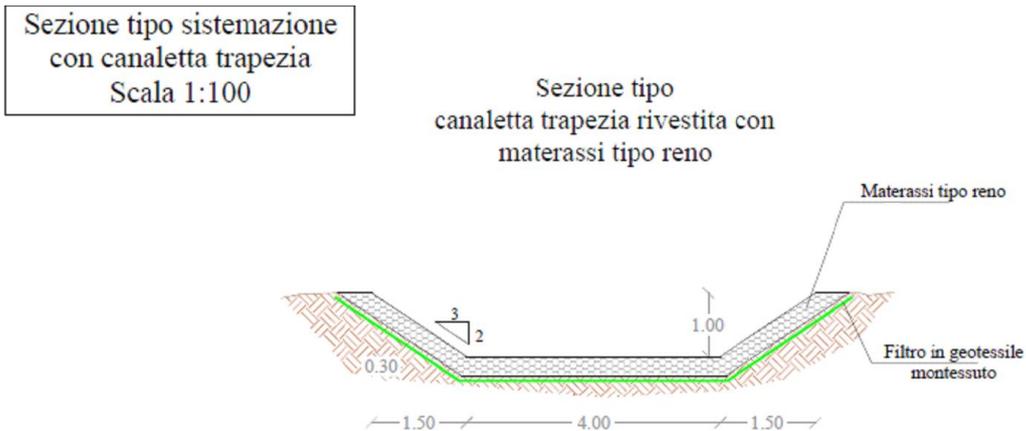


Figura 5-17 – Sezione tipo sistemazione Pk 349+315 1/2

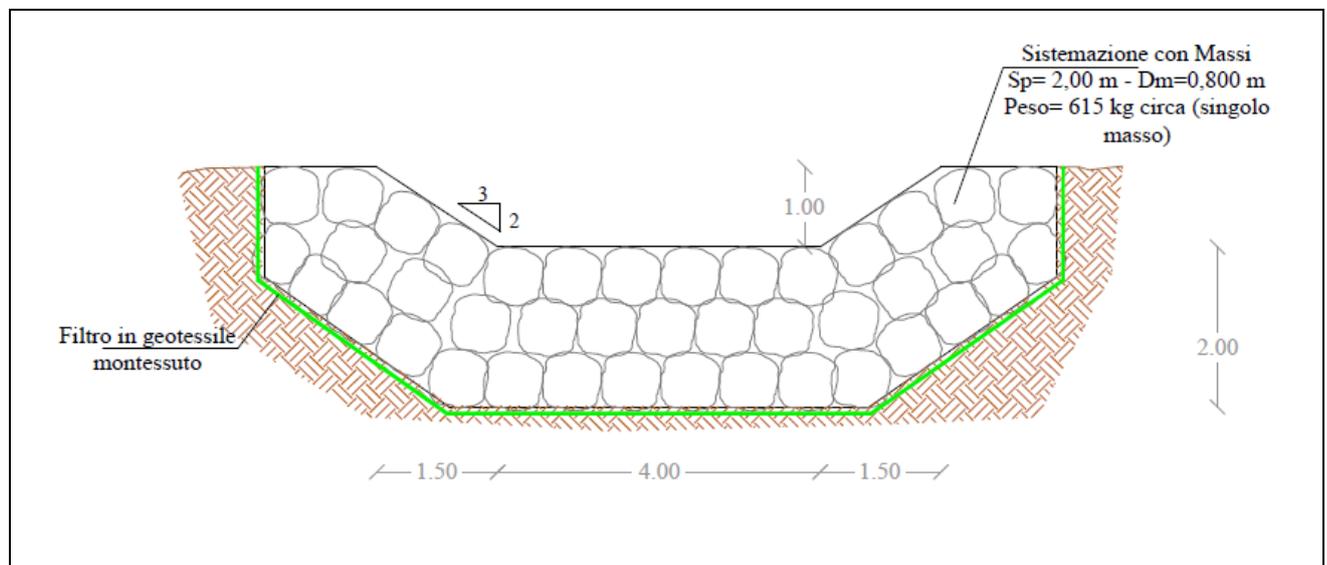
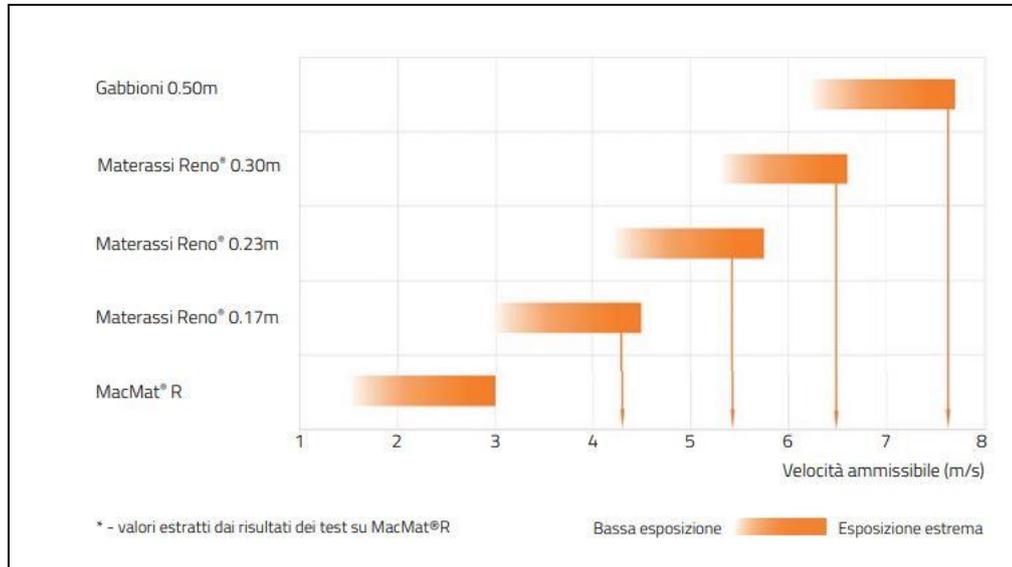


Figura 5-18– Sezione tipo sistemazione Pk 349+315 2/2.

I valori di velocità nelle sezioni in cui è previsto il rivestimento in materassi di tipo Reno risultano compatibili con i valori indicati nella tabella Maccaferri.



## 5.9 Corso d'acqua alla progressiva 340+920 – Piazzale PT03 e viabilità dell'Arcia Nord

### *viii. Elaborati di riferimento*

ELENCO	SCALA	CODIFICA
Planimetria ante e post operam con aree di allagamento e sezioni significative - Dell'Arcia Nord	varie	RS4N01R78PZID0002011A

### *ix. Simulazione numerica ante operam*

Allo scopo di indagare la reale configurazione delle aree oggetto di studio, è stato messo a punto un modello idrodinamico monodimensionale esteso circa 440 m, nelle immediate vicinanze dell'interferenza ferroviaria in progetto.

L'alveo del corso d'acqua, caratterizzato da una larghezza pressoché costante, costituito dal canale di magra e dalle loro aree golenali di espansione, è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali e della geometria dell'attraversamento della linea ferrata esistente e da riattivare Caltagirone-Gela.

Nella sottostante Figura 5-19 è riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione ante operam con l'ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico.

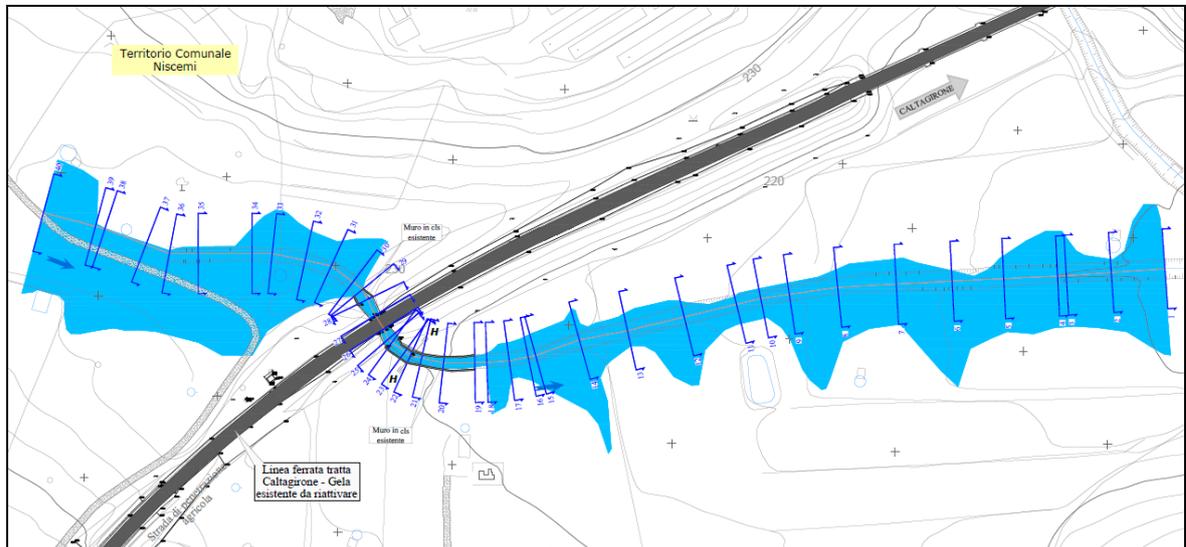


Figura 5-19- Configurazione ante operam Pk 340+920

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche del manufatto e gli altri dati necessari alla modellazione.

### Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 40
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
  - Ponte ad arco esistente*
    - Tipologia Ponte ad arco
    - Larghezza x Altezza (max) 3.0 m x 4.13 m
    - Lunghezza 4.95 m
- *Condizioni al contorno*
  - Portata di verifica 15.17 m<sup>3</sup>/s (Tr200)
  - Condizione monte altezza di stato critico
  - Condizione valle altezza di stato critico.
- *Scabrezza (Manning)*
  - Alveo inciso esistente n=0.035 m<sup>-1/3</sup> s
  - Golene n=0.050 m<sup>-1/3</sup> s
  - Canale in calcestruzzo esistente n=0.025 m<sup>-1/3</sup> s

### Risultati

In *Tabella 18* vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

Tabella 18 – Risultati ante operam Pk 340+920. Tr 200 anni.

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
40	15.17	223.82	224.24	224.18	224.31	0.42	1.34	0.72
39	15.17	223.49	223.94	223.93	224.09	0.45	1.82	0.91
38	15.17	223.47	223.89	223.89	224.04	0.42	1.81	0.91
37	15.17	223.18	223.56	223.59	223.75	0.38	1.92	1.13
36	15.17	222.96	223.46	223.46	223.62	0.50	1.88	0.91
35	15.17	222.66	223.07	223.19	223.38	0.41	2.58	1.49
34	15.17	222.29	222.99	222.76	223.03	0.70	0.88	0.37
33	15.17	222.23	222.99		223.01	0.76	0.77	0.30
32	15.17	222.30	222.94	222.94	222.98	0.64	1.05	0.47
31	15.17	222.00	222.80	222.56	222.88	0.80	1.28	0.49
30	15.17	221.87	222.63	222.63	222.81	0.76	2.03	0.91
29	15.17	220.12	220.76	221.26	222.54	0.64	5.91	2.36
28	15.17	220.04	222.08	220.87	222.11	2.04	0.84	0.21
27	15.17	219.97	221.50	221.35	222.06	1.53	3.31	0.86
26.5	Bridge							
26	15.17	219.91	221.29	221.29	221.97	1.38	3.67	1.00
25	15.17	219.85	221.44	220.74	221.55	1.59	1.50	0.39
24	15.17	219.80	220.94	220.94	221.50	1.14	3.34	1.00
23	15.17	219.70	220.73	220.84	221.42	1.03	3.67	1.15
22	15.17	219.63	220.61	220.77	221.37	0.98	3.87	1.25
21	15.17	219.51	220.44	220.64	221.29	0.93	4.09	1.35
20	15.17	219.34	220.26	220.48	221.13	0.92	4.13	1.37
19	15.17	219.00	219.85	220.14	220.86	0.85	4.44	1.53
18	15.17	218.85	220.32	220.32	220.35	1.47	1.21	0.44
17	15.17	218.01	218.52	218.87	220.10	0.51	5.57	3.54
16	15.17	217.56	218.46	218.60	218.92	0.90	3.01	1.90
15	15.17	217.38	218.40	218.50	218.72	1.02	2.50	1.54
14	15.17	217.13	218.36	218.36	218.48	1.23	1.93	0.69
13	15.17	216.00	216.68	217.05	218.04	0.68	5.75	2.64
12	15.17	215.44	216.42	216.54	216.74	0.98	3.28	1.26
11	15.17	214.46	215.30	215.56	216.08	0.84	4.03	1.69

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
10	15.17	214.00	214.61	214.90	215.56	0.61	4.36	2.12
9	15.17	213.72	214.25	214.38	214.67	0.53	3.87	1.99
8	15.17	213.23	213.85	213.89	214.08	0.62	2.31	1.04
7	15.17	212.17	212.60	212.81	213.34	0.43	4.43	2.26
6	15.17	211.16	212.05	212.15	212.37	0.89	3.10	1.27
5	15.17	210.56	211.08	211.27	211.67	0.52	3.76	1.84
4	15.17	209.94	210.80	210.63	210.87	0.86	1.36	0.53
3	15.17	209.84	210.78		210.86	0.94	1.32	0.52
2	15.17	209.73	210.53	210.53	210.73	0.80	2.78	1.09
1	15.17	209.60	209.91	210.02	210.16	0.31	2.96	1.78

In Figura 5-20 è riportato il profilo idrico di calcolo.

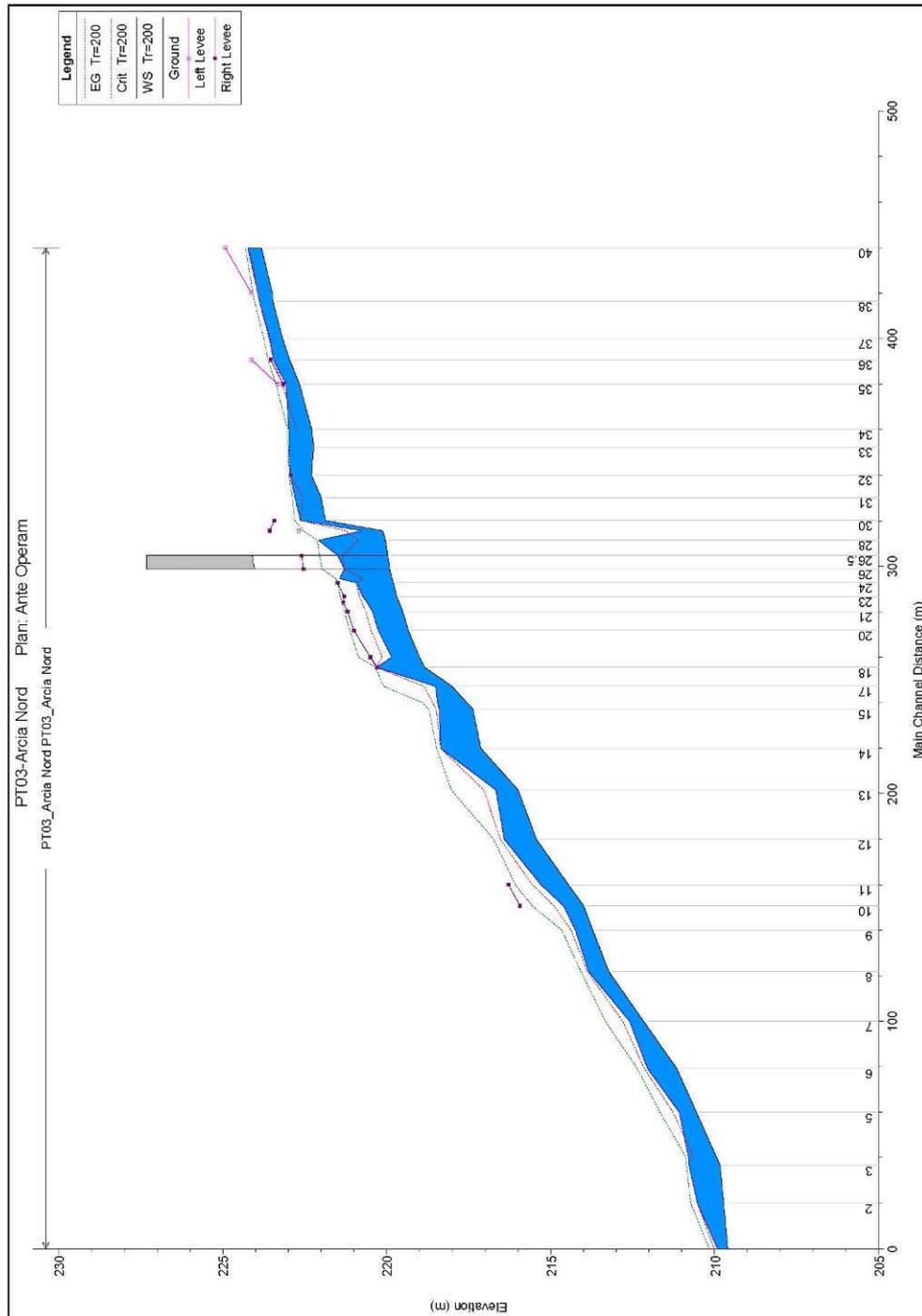


Figura 5-20 – Profilo idraulico ante operam Pk 340+920. Tr 200 anni.

### x. Simulazione numerica post operam

Scopo della simulazione post operam è quello di indagare la possibilità di allagamento del piazzale PT03 in progetto, lasciando inalterato il corrente sistema di deflusso delle acque. Il modello idraulico ed i risultati ottenuti restano pertanto invariati rispetto alla situazione ante operam.

Dalla simulazione condotta, l'impronta delle opere progettate non risulta essere interessata dalla portata valutata con tempo di ritorno di 200 anni; è presente un unico tratto di interferenze tra l'area di esondazione duecentennale e il canale di scarico delle acque di drenaggio della viabilità; nella successiva fase progettuale andrà dimensionata un'opera di presidio che confini le aree di allagamento al di fuori degli interventi in progetto nel rispetto delle condizioni di sicurezza dell'area oggetto di studio.

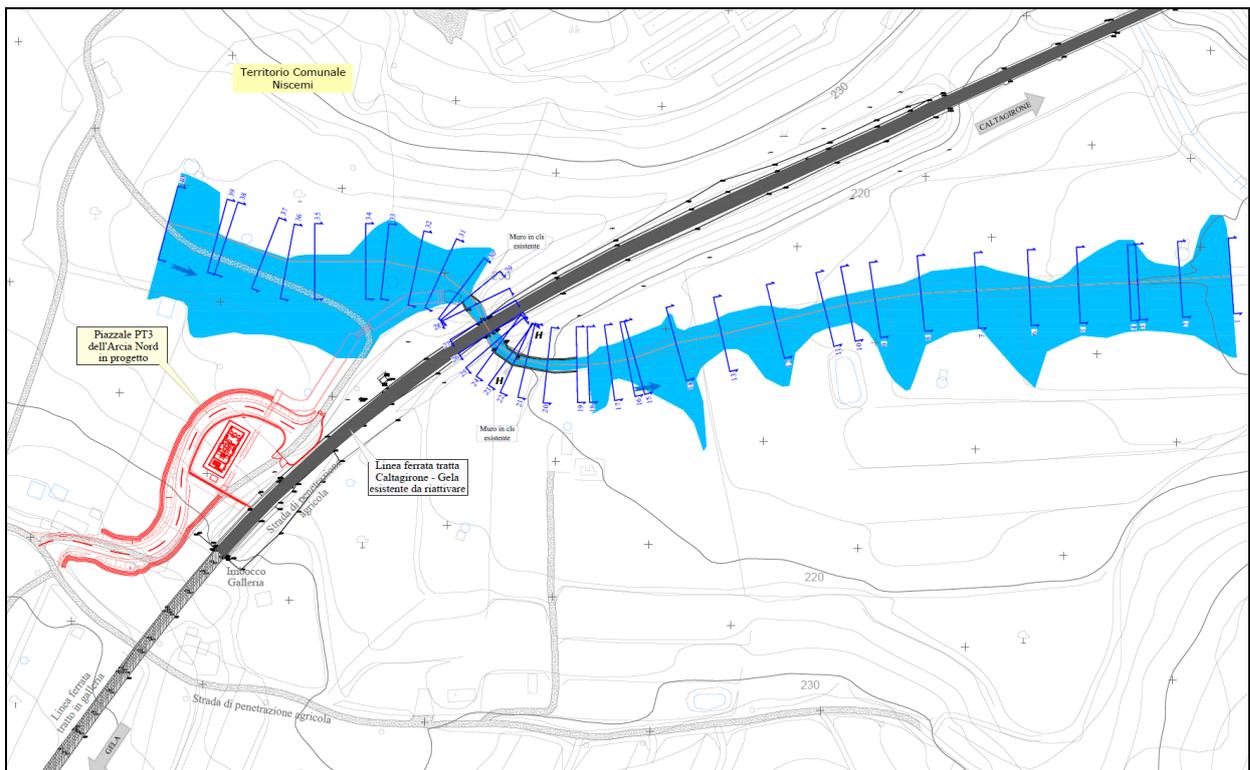


Figura 5-21 – Configurazione post operam Pk 340+920

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche del manufatto e gli altri dati necessari alla modellazione.

#### Dati principali per la verifica

- N. sezioni (escluse interpolate)

- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
  - Ponte ad arco esistente*
    - Tipologia Ponte ad arco
    - Larghezza x Altezza (max) 3.0 m x 4.13 m
    - Lunghezza 4.95 m
- *Condizioni al contorno*
  - Portata di verifica 15.17 m<sup>3</sup>/s (Tr200)
  - Condizione monte altezza di stato critico
  - Condizione valle altezza di stato critico.
- *Scabrezza (Manning)*
  - Alveo inciso esistente n=0.035 m-1/3 s
  - Golene n=0.050 m-1/3 s
  - Canale in calcestruzzo esistente n=0.025 m-1/3 s

## Risultati

In Tabella 19 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 19 – Risultati post operam Pk 340+920. Tr 200 anni.*

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
40	15.17	223.82	224.24	224.18	224.31	0.42	1.34	0.72
39	15.17	223.49	223.94	223.93	224.09	0.45	1.82	0.91
38	15.17	223.47	223.89	223.89	224.04	0.42	1.81	0.91
37	15.17	223.18	223.56	223.59	223.75	0.38	1.92	1.13
36	15.17	222.96	223.46	223.46	223.62	0.50	1.88	0.91
35	15.17	222.66	223.07	223.19	223.38	0.41	2.58	1.49
34	15.17	222.29	222.99	222.76	223.03	0.70	0.88	0.37
33	15.17	222.23	222.99		223.01	0.76	0.77	0.30
32	15.17	222.30	222.94	222.94	222.98	0.64	1.05	0.47
31	15.17	222.00	222.80	222.56	222.88	0.80	1.28	0.49
30	15.17	221.87	222.63	222.63	222.81	0.76	2.03	0.91
29	15.17	220.12	220.76	221.26	222.54	0.64	5.91	2.36
28	15.17	220.04	222.08	220.87	222.11	2.04	0.84	0.21
27	15.17	219.97	221.50	221.35	222.06	1.53	3.31	0.86
26.5	Bridge							

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S. (Altezza tirante idrico) [m]	Vel Chnl (Velocità canale) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
26	15.17	219.91	221.29	221.29	221.97	1.38	3.67	1.00
25	15.17	219.85	221.44	220.74	221.55	1.59	1.50	0.39
24	15.17	219.80	220.94	220.94	221.50	1.14	3.34	1.00
23	15.17	219.70	220.73	220.84	221.42	1.03	3.67	1.15
22	15.17	219.63	220.61	220.77	221.37	0.98	3.87	1.25
21	15.17	219.51	220.44	220.64	221.29	0.93	4.09	1.35
20	15.17	219.34	220.26	220.48	221.13	0.92	4.13	1.37
19	15.17	219.00	219.85	220.14	220.86	0.85	4.44	1.53
18	15.17	218.85	220.32	220.32	220.35	1.47	1.21	0.44
17	15.17	218.01	218.52	218.87	220.10	0.51	5.57	3.54
16	15.17	217.56	218.46	218.60	218.92	0.90	3.01	1.90
15	15.17	217.38	218.40	218.50	218.72	1.02	2.50	1.54
14	15.17	217.13	218.36	218.36	218.48	1.23	1.93	0.69
13	15.17	216.00	216.68	217.05	218.04	0.68	5.75	2.64
12	15.17	215.44	216.42	216.54	216.74	0.98	3.28	1.26
11	15.17	214.46	215.30	215.56	216.08	0.84	4.03	1.69
10	15.17	214.00	214.61	214.90	215.56	0.61	4.36	2.12
9	15.17	213.72	214.25	214.38	214.67	0.53	3.87	1.99
8	15.17	213.23	213.85	213.89	214.08	0.62	2.31	1.04
7	15.17	212.17	212.60	212.81	213.34	0.43	4.43	2.26
6	15.17	211.16	212.05	212.15	212.37	0.89	3.10	1.27
5	15.17	210.56	211.08	211.27	211.67	0.52	3.76	1.84
4	15.17	209.94	210.80	210.63	210.87	0.86	1.36	0.53
3	15.17	209.84	210.78		210.86	0.94	1.32	0.52
2	15.17	209.73	210.53	210.53	210.73	0.80	2.78	1.09
1	15.17	209.60	209.91	210.02	210.16	0.31	2.96	1.78

In Figura 5-22 è riportato il profilo idrico di calcolo.

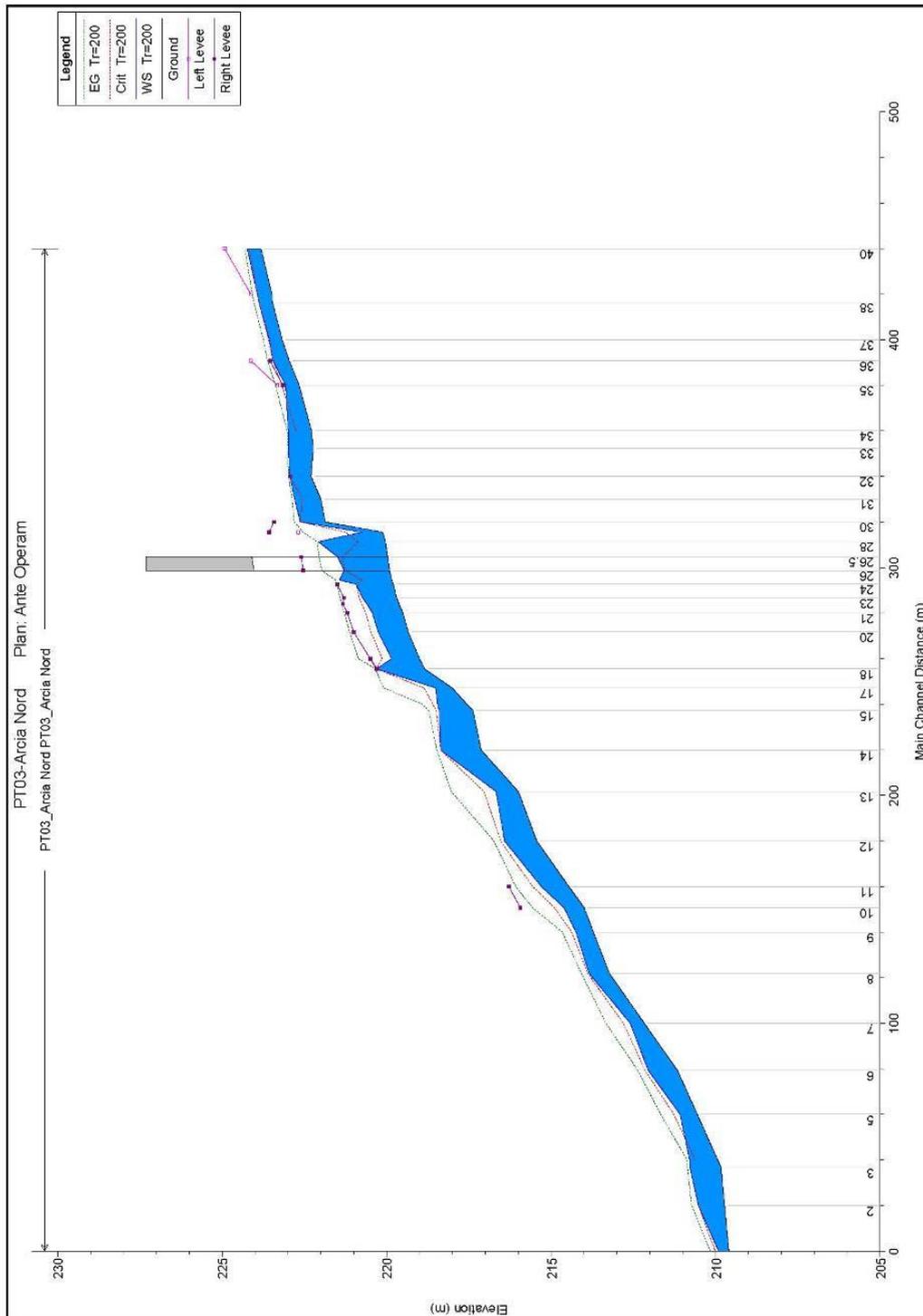


Figura 5-22 – Profilo idraulico post operam Pk 340+920. Tr 200 anni.

### 5.10 Corso d'acqua alla progressiva 342+534 – Piazzale PT04 dell'Arcia Sud

#### *xi. Elaborati di riferimento*

ELENCO	SCALA	CODIFICA
Planimetria ante e post operam con aree di allagamento e sezioni significative - Dell'Arcia Sud	varie	RS4N01R78PZID0002012A

#### *xii. Simulazione numerica ante operam*

Allo scopo di indagare la reale configurazione delle aree oggetto di studio, è stato messo a punto un modello idrodinamico monodimensionale esteso per circa 520 m, nelle immediate vicinanze dell'opera prevista in progetto.

L'alveo del corso d'acqua, caratterizzato da una larghezza pressoché costante, costituito dal canale di magra e dalle loro aree golenali di espansione, è stato modellato con approccio monodimensionale attraverso l'inserimento delle sezioni trasversali.

Nella sottostante Figura 5-23 è riportato uno stralcio planimetrico del corso d'acqua in oggetto nella configurazione ante operam con l'ubicazione delle sezioni di calcolo idraulico.

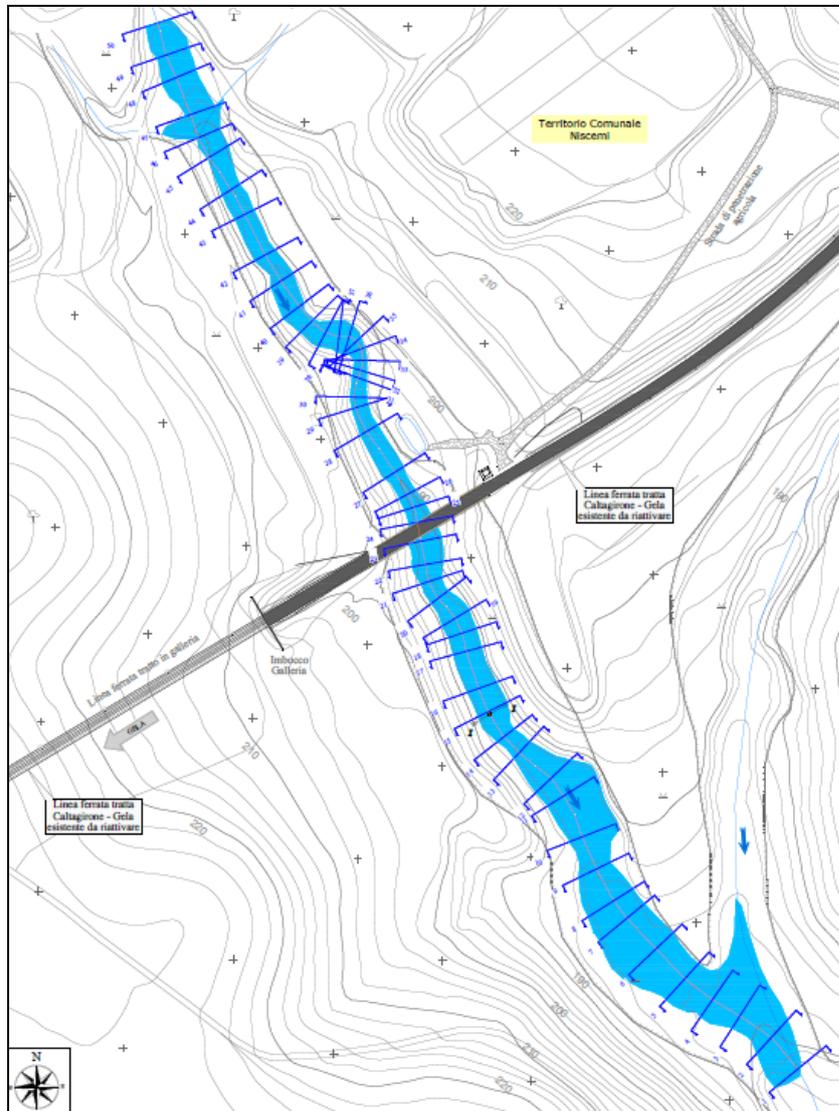


Figura 5-23- Configurazione ante operam Pk 342+534

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche del manufatto e gli altri dati necessari alla modellazione.

### **Dati principali per la verifica**

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 50
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
  - Ponte ad arco esistente*
  - *Tipologia* Ponte ad arco
  - *Larghezza (max) x Altezza (max)* 17.70 x 9.20 m
  - *Lunghezza* 8.54 m

- **Condizioni al contorno**
  - Portata di verifica 19.78 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
  - Condizione monte altezza di stato critico
  - Condizione valle altezza di stato critico.
  
- **Scabrezza (Manning)**
  - Alveo inciso esistente n=0.035 m-1/3 s
  - Golene n=0.050 m-1/3 s

## Risultati

In *Tabella 20* vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 20 – Risultati ante operam Pk 342+920. Tr 200 anni.*

Station (Sezione)	Q Total (Portata)	Min Ch El (Quota fondo)	W.S. Elev. (Quota livello idrico)	Crit. W.S. (Quota altezza critica)	EG Elev (Quota energia)	W.S. (Altezza tirante idrico)		Vel Chnl (Velocità canale di magra)	Froude # Chl (n° Froude)
	[m <sup>3</sup> /s]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m]	[m]	[m/s]	
50	19.78	206.21	207.35	207.35	207.75	1.14	2.80	0.97	
49	19.78	205.28	205.76	206.12	207.25	0.48	5.98	2.88	
48	19.78	204.42	205.02	205.34	206.11	0.60	4.98	2.29	
47	19.78	201.92	202.41	202.89	204.32	0.49	6.19	2.99	
46	19.78	200.00	200.43	200.87	202.52	0.43	6.43	3.58	
45	19.78	200.00	200.60	200.84	201.40	0.60	4.05	1.67	
44	19.78	198.18	198.88	199.30	200.40	0.70	5.49	2.45	
43	19.78	198.00	198.75	199.01	199.60	0.75	4.25	1.57	
42	19.78	197.62	198.81	198.81	199.21	1.19	2.86	0.98	
41	19.78	196.00	196.91	197.40	198.78	0.91	6.49	2.18	
40	19.78	196.00	196.50	196.85	197.72	0.50	4.97	2.26	
39	19.78	194.00	194.93	195.53	197.04	0.93	6.70	2.29	
38	19.78	194.00	194.32	194.71	196.13	0.32	6.00	3.41	
37	19.78	194.00	194.43	194.68	195.26	0.43	4.04	1.96	
36	19.78	193.75	194.49	194.62	194.99	0.74	3.15	1.40	
35	19.78	192.70	193.66	193.99	194.77	0.96	4.68	2.06	
34	19.78	192.00	193.16	193.61	194.57	1.16	5.66	1.74	
33	19.78	192.00	193.14	193.52	194.33	1.14	5.06	1.65	
32	19.78	192.00	193.14	193.44	194.14	1.14	4.55	1.43	
31	19.78	192.00	193.11	193.39	194.02	1.11	4.23	1.50	

Station (Sezione)	Q Total (Portata)	Min Ch El (Quota fondo)	W.S. Elev. (Quota livello idrico)	Crit. W.S. (Quota altezza critica)	EG Elev (Quota energia)	W.S. (Altezza tirante idrico)		Vel Chnl (Velocità canale di magra)	Froude # Chl (n° Froude)
	[m <sup>3</sup> /s]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m]		[m/s]	
30	19.78	192.00	193.45	193.22	193.74	1.45		2.41	0.75
29	19.78	192.00	193.43	193.20	193.70	1.43		2.32	0.73
28	19.78	192.00	193.15	193.15	193.59	1.15		2.92	0.99
27	19.78	190.96	192.11	192.40	193.07	1.15		4.35	1.76
26	19.78	190.00	190.84	191.34	192.46	0.84		5.79	2.07
25	19.78	190.00	190.71	191.11	192.03	0.71		5.20	2.02
24	19.78	190.00	190.55	190.86	191.61	0.55		4.95	2.12
23.5	Bridge								
23	19.78	190.00	190.69	190.74	191.09	0.69		2.93	1.13
22	19.78	189.41	190.57	190.58	190.94	1.16		2.73	0.99
21	19.78	188.00	188.67	189.19	190.58	0.67		6.21	2.59
20	19.78	188.00	188.62	188.95	189.70	0.62		4.61	2.02
19	19.78	188.00	189.03	188.74	189.21	1.03		1.90	0.60
18	19.78	188.00	189.00	188.73	189.18	1.00		1.89	0.60
17	19.78	188.00	188.97	188.70	189.14	0.97		1.86	0.60
16	19.78	188.00	188.86	188.68	189.06	0.86		2.02	0.70
15	19.78	188.00	188.65	188.65	188.95	0.65		2.46	0.99
14	19.78	187.32	187.97	188.17	188.63	0.65		3.60	1.75
13	19.78	186.00	186.49	186.89	187.95	0.49		5.40	2.48
12	19.78	186.00	186.73	186.54	186.87	0.73		1.68	0.63
11	19.78	186.00	186.74	186.44	186.82	0.74		1.25	0.46
10	19.78	186.00	186.47	186.47	186.70	0.47		2.14	1.00
9	19.78	184.00	184.34	184.72	186.02	0.34		5.79	3.24
8	19.78	184.00	184.60	184.48	184.75	0.60		1.74	0.72
7	19.78	184.00	184.48	184.45	184.67	0.48		1.92	0.88
6	19.78	184.00	184.23	184.23	184.36	0.23		1.21	1.07
5	19.78	181.98	182.42	182.67	183.38	0.44		4.66	2.84
4	19.78	181.22	181.80	182.03	182.31	0.58		3.29	1.54
3	19.78	179.82	180.37	180.71	181.55	0.55		5.06	2.36
2	19.78	178.04	179.34	179.75	180.51	1.30		4.79	1.83
1	19.78	174.00	174.63	175.27	178.44	0.63		8.64	4.39

In Figura 5-24 è riportato il profilo idrico di calcolo.

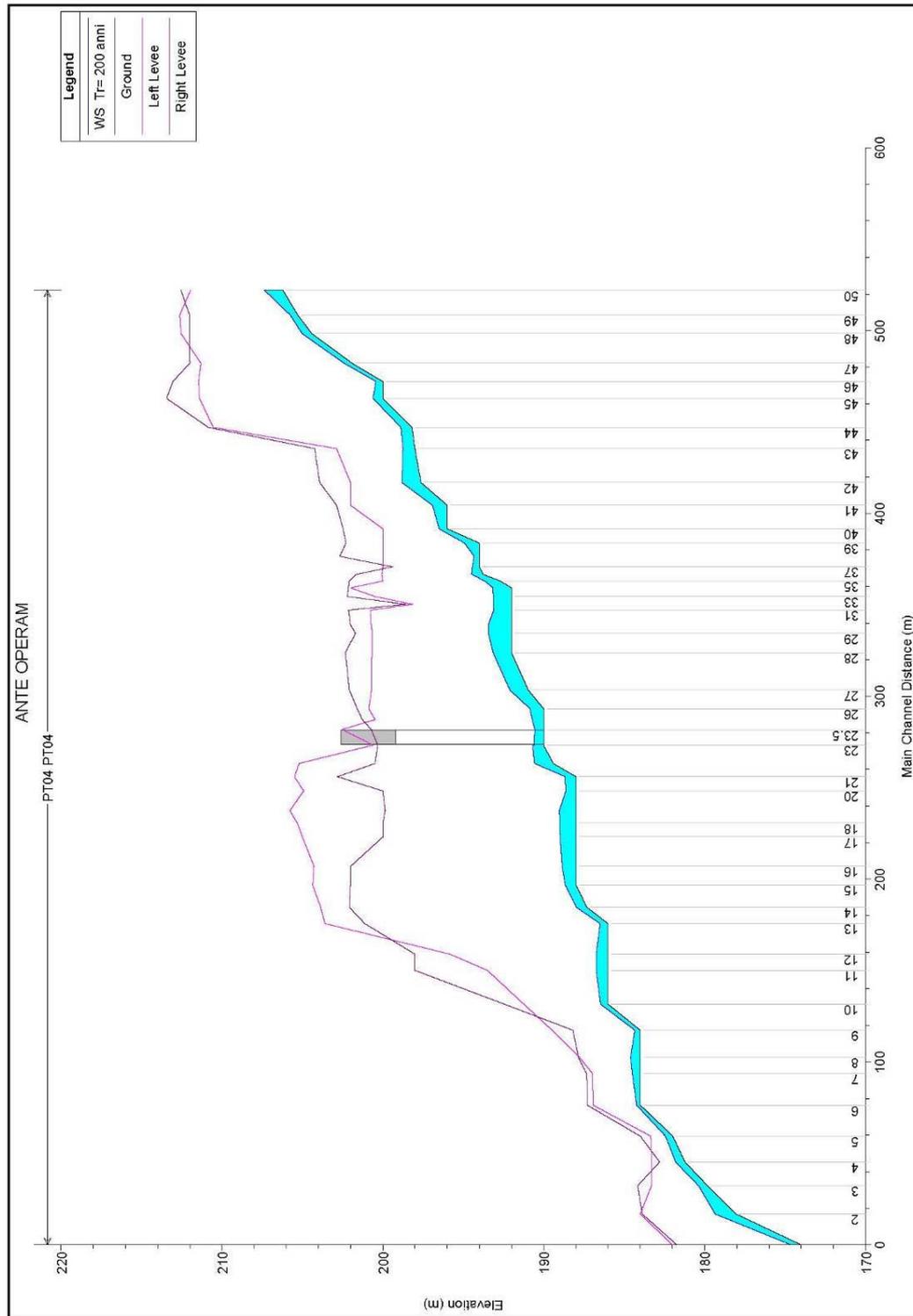


Figura 5-24 – Profilo idraulico ante operam Pk 15+917. Tr 200 anni.

### xiii. Simulazione numerica post operam

Scopo della simulazione post operam è quello di indagare la possibilità di allagamento del piazzale PT04 in progetto, lasciando inalterato il sistema di deflusso delle acque esistente. Il modello idraulico ed i risultati ottenuti restano pertanto invariati rispetto alla situazione ante operam.

Dalla simulazione condotta, l'impronta delle opere progettate non risulta essere interessata dalla portata valutata con tempo di ritorno di 200 anni, come mostrato in Figura 5-25.

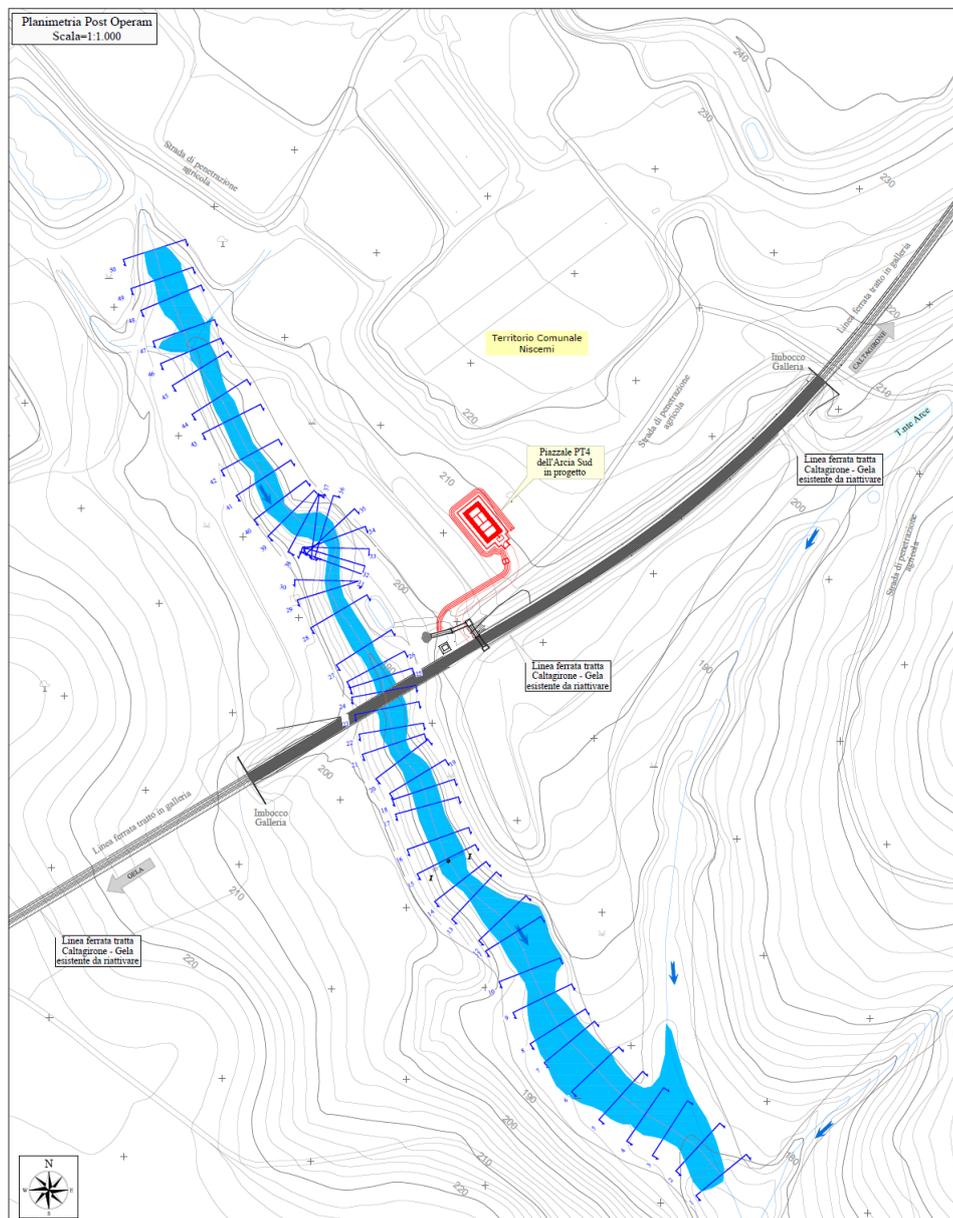


Figura 5-25 – Configurazione post operam Pk 342+534

Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche del manufatto e gli altri dati necessari alla modellazione.

### Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 50
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
  - Ponte ad arco esistente*
    - *Tipologia* *Ponte ad arco*
    - *Larghezza (max) x Altezza (max)* *17.70 x 9.20 m*
    - *Lunghezza* *8.54 m*
- *Condizioni al contorno*
  - *Portata di verifica* 19.78 m<sup>3</sup>/s (Tr 200)
  - *Condizione monte* altezza di stato critico
  - *Condizione valle* altezza di stato critico.
- *Scabrezza (Manning)*
  - Alveo inciso esistente* n=0.035 m<sup>-1/3</sup> s
  - Golene* n=0.050 m<sup>-1/3</sup> s

### Risultati

In *Tabella 21* vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato.

*Tabella 21 – Risultati post operam Pk 342+920. Tr 200 anni.*

Station (Sezione)	Q Total (Portata) [m <sup>3</sup> /s]	Min Ch El (Quota fondo) [m.s.m.]	W.S. Elev. (Quota livello idrico) [m.s.m.]	Crit. W.S. (Quota altezza critica) [m.s.m.]	EG Elev (Quota energia) [m.s.m.]	W.S.		Vel Chnl (Velocità canale di magra) [m/s]	Froude # Chl (n° Froude)
						(Altezza tirante idrico) [m]			
50	19.78	206.21	207.35	207.35	207.75	1.14		2.80	0.97
49	19.78	205.28	205.76	206.12	207.25	0.48		5.98	2.88
48	19.78	204.42	205.02	205.34	206.11	0.60		4.98	2.29
47	19.78	201.92	202.41	202.89	204.32	0.49		6.19	2.99
46	19.78	200.00	200.43	200.87	202.52	0.43		6.43	3.58
45	19.78	200.00	200.60	200.84	201.40	0.60		4.05	1.67
44	19.78	198.18	198.88	199.30	200.40	0.70		5.49	2.45
43	19.78	198.00	198.75	199.01	199.60	0.75		4.25	1.57
42	19.78	197.62	198.81	198.81	199.21	1.19		2.86	0.98
41	19.78	196.00	196.91	197.40	198.78	0.91		6.49	2.18
40	19.78	196.00	196.50	196.85	197.72	0.50		4.97	2.26

Station (Sezione)	Q Total (Portata)	Min Ch El (Quota fondo)	W.S. Elev. (Quota livello idrico)	Crit. W.S. (Quota altezza critica)	EG Elev (Quota energia)	W.S.		Vel Chnl (Velocità canale di magra)	Froude # Chl (n° Froude)
	[m³/s]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	(Altezza tirante idrico) [m]	(Velocità canale di magra) [m/s]		
39	19.78	194.00	194.93	195.53	197.04	0.93	6.70	2.29	
38	19.78	194.00	194.32	194.71	196.13	0.32	6.00	3.41	
37	19.78	194.00	194.43	194.68	195.26	0.43	4.04	1.96	
36	19.78	193.75	194.49	194.62	194.99	0.74	3.15	1.40	
35	19.78	192.70	193.66	193.99	194.77	0.96	4.68	2.06	
34	19.78	192.00	193.16	193.61	194.57	1.16	5.66	1.74	
33	19.78	192.00	193.14	193.52	194.33	1.14	5.06	1.65	
32	19.78	192.00	193.14	193.44	194.14	1.14	4.55	1.43	
31	19.78	192.00	193.11	193.39	194.02	1.11	4.23	1.50	
30	19.78	192.00	193.45	193.22	193.74	1.45	2.41	0.75	
29	19.78	192.00	193.43	193.20	193.70	1.43	2.32	0.73	
28	19.78	192.00	193.15	193.15	193.59	1.15	2.92	0.99	
27	19.78	190.96	192.11	192.40	193.07	1.15	4.35	1.76	
26	19.78	190.00	190.84	191.34	192.46	0.84	5.79	2.07	
25	19.78	190.00	190.71	191.11	192.03	0.71	5.20	2.02	
24	19.78	190.00	190.55	190.86	191.61	0.55	4.95	2.12	
23.5	Bridge								
23	19.78	190.00	190.69	190.74	191.09	0.69	2.93	1.13	
22	19.78	189.41	190.57	190.58	190.94	1.16	2.73	0.99	
21	19.78	188.00	188.67	189.19	190.58	0.67	6.21	2.59	
20	19.78	188.00	188.62	188.95	189.70	0.62	4.61	2.02	
19	19.78	188.00	189.03	188.74	189.21	1.03	1.90	0.60	
18	19.78	188.00	189.00	188.73	189.18	1.00	1.89	0.60	
17	19.78	188.00	188.97	188.70	189.14	0.97	1.86	0.60	
16	19.78	188.00	188.86	188.68	189.06	0.86	2.02	0.70	
15	19.78	188.00	188.65	188.65	188.95	0.65	2.46	0.99	
14	19.78	187.32	187.97	188.17	188.63	0.65	3.60	1.75	
13	19.78	186.00	186.49	186.89	187.95	0.49	5.40	2.48	
12	19.78	186.00	186.73	186.54	186.87	0.73	1.68	0.63	
11	19.78	186.00	186.74	186.44	186.82	0.74	1.25	0.46	
10	19.78	186.00	186.47	186.47	186.70	0.47	2.14	1.00	
9	19.78	184.00	184.34	184.72	186.02	0.34	5.79	3.24	
8	19.78	184.00	184.60	184.48	184.75	0.60	1.74	0.72	
7	19.78	184.00	184.48	184.45	184.67	0.48	1.92	0.88	
6	19.78	184.00	184.23	184.23	184.36	0.23	1.21	1.07	

Station (Sezione)	Q Total (Portata)	Min Ch El (Quota fondo)	W.S. Elev. (Quota livello idrico)	Crit. W.S. (Quota altezza critica)	EG Elev (Quota energia)	W.S. (Altezza tirante idrico)	Vel Chnl (Velocità canale di magra)	Froude # Chl (n° Froude)
	[m <sup>3</sup> /s]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m.s.m.]	[m]	[m/s]	
5	19.78	181.98	182.42	182.67	183.38	0.44	4.66	2.84
4	19.78	181.22	181.80	182.03	182.31	0.58	3.29	1.54
3	19.78	179.82	180.37	180.71	181.55	0.55	5.06	2.36
2	19.78	178.04	179.34	179.75	180.51	1.30	4.79	1.83
1	19.78	174.00	174.63	175.27	178.44	0.63	8.64	4.39

In *Figura 5-26* è riportato il profilo idrico di calcolo.

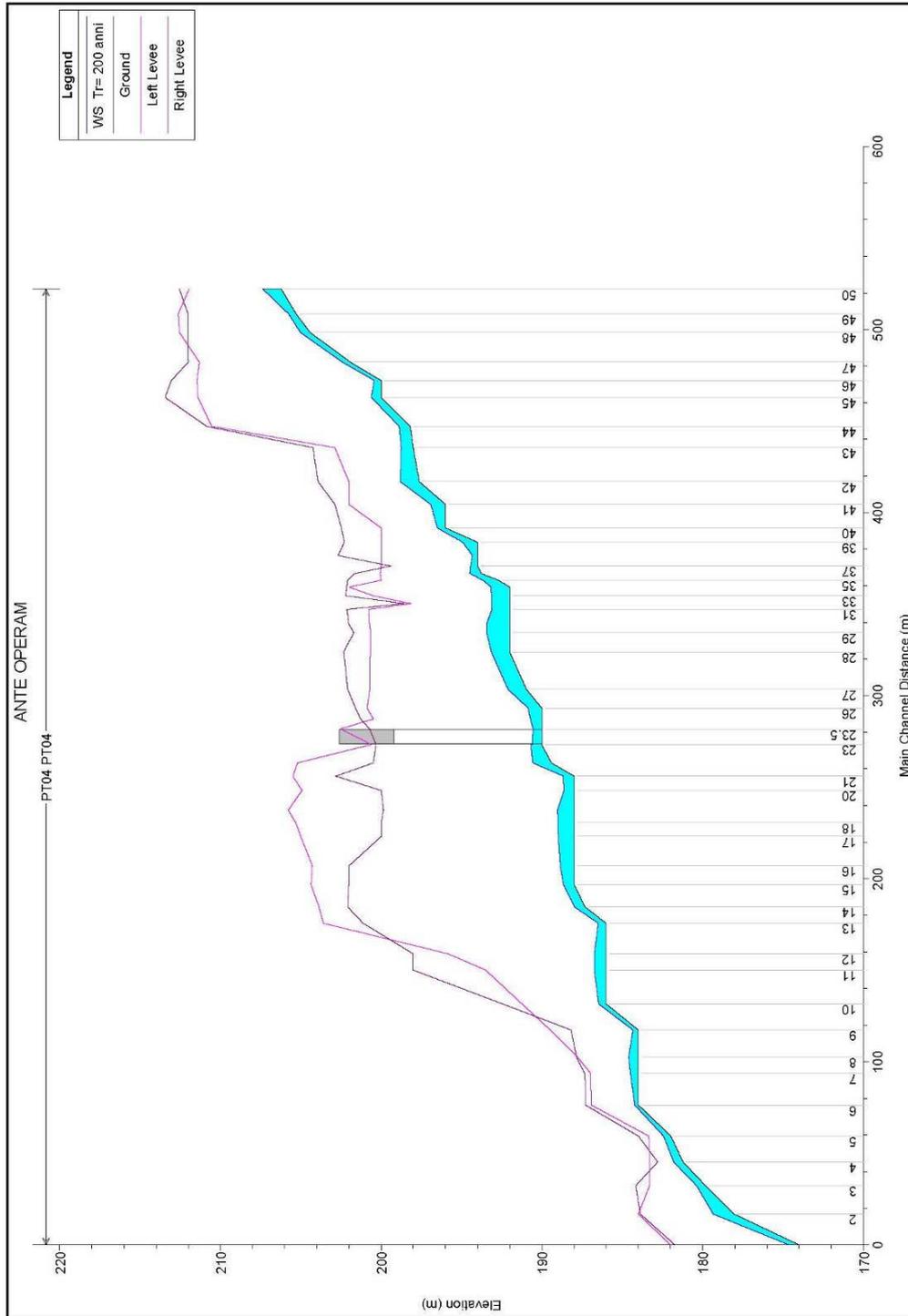


Figura 5-26 – Profilo idraulico post operam Pk 342+534. Tr 200 anni.

## 6. COMPATIBILITÀ IDRAULICA DEGLI INTERVENTI

### 6.1 Analisi di compatibilità idraulica

Sulla base delle risultanze delle analisi idrauliche riportate nei capitoli precedenti, sono stati verificati i gradi di riempimento massimi richiesti per il transito delle portate con periodo di ritorno di 200 anni, nel rispetto della normativa di riferimento.

Le soluzioni prescelte seguono gli indirizzi indicati nelle norme nazionali ed in quelle riportate nelle norme di attuazione del PAI, in quanto:

- Il ripristino della linea ferroviaria, oggetto della presente fattibilità, risponde a specifiche esigenze di sviluppo ed è legata a fattori di pubblico interesse;
- l'intervento proposto è tale da non aggravare la funzionalità idraulica dell'area;
- gli interventi non aumentano il livello di rischio idraulico non comportando significativo ostacolo al deflusso o riduzione della capacità di invaso delle aree interessate;
- le opere di progetto non precludono la possibilità di eliminare le cause che determinano le attuali condizioni di rischio;
- gli interventi di deviazione presenti in progetto ripropongono le sezioni attuali dei canali e le opere di attraversamento non creano restringimenti e rigurgiti.

Con riferimento alle verifiche idrauliche effettuate, in corrispondenza dei vari attraversamenti si evidenziano franchi idraulici sufficientemente cautelativi e le opere in progetto non modificano significativamente i livelli idrici rispetto alla configurazione ante operam.

In merito al trasporto solido, in questa fase progettuale non sono stati condotti approfondimenti in quanto non vi è la presenza di dissesti. Per i dettagli si rimanda alla relazione geologica allegata al progetto.

Con riferimento alle viabilità NV02 e NV03 e ai piazzali PT03, PT04 e PT05, dalle analisi idrauliche condotte, si evince che risultano in condizione di sicurezza idraulica in quanto non interessati dalla piena duecentennale.

Con riferimento all'intervento previsto a dell'Arcia Nord (NV02 e PT03) è presente un tratto di interferenze tra l'area di esondazione duecentennale e il canale di scarico delle acque di drenaggio della viabilità; nella successiva fase progettuale andrà dimensionata un'opera di presidio che confini le aree di allagamento al di fuori degli interventi in progetto nel rispetto delle condizioni di sicurezza dell'area oggetto di studio.

Inoltre, gli interventi in previsti in progetto rispettano le distanze dalle aree di esondazione relative all'incisioni poste in prossimità degli stessi, in accordo con il D.S.G. n. 189/2020 "Prime direttive per la determinazione dell'ampiezza dell'alveo nel caso di sponde incerte (art. 94 del R.D. 523/1904) e per la determinazione della fascia di pertinenza fluviale da sottoporre alle limitazioni d'uso di cui all'art. 96, lettera f, del R.D. 523/1904".

Alla luce delle precedenti considerazioni, la configurazione finale di progetto risulta idraulicamente compatibile con le norme della legislazione vigente di protezione dai rischi idraulici e con la conformazione odierna dei luoghi.

## BIBLIOGRAFIA

AA. VV. *Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale*, Zanichelli ESAC, Bologna, 2003.

Cannarozzo M., D'Asaro F., Ferro V., *Valutazione delle piene in Sicilia*, Istituto di Idraulica dell'Università di Palermo e GNDCI (Gruppo Nazionale per la difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche), Palermo, 1993.

Caroni E., D'Alpaos L., Fattorelli S., Rossi F., Ubertini L., Versace P., Marchi E., *Valutazione delle piene*, C.N.R. °165, 1982.

Da Deppo L., Datei C., Salandin P., *Sistemazione dei corsi d'acqua*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 2004.

G. Ferreri, V. Ferro, Una espressione monomia della curva di probabilità pluviometrica, per durate inferiori all'ora, valida nel territorio siciliano. Bollettino dell'Ordine degli Ingegneri della Provincia di Palermo, 1-2, 1989

Ferro V., *La sistemazione dei bacini idrografici*, McGraw-Hill, Milano, 2006.

Ghetti A., *Idraulica*, Edizioni Libreria Cortina, Padova, 1996.

Lo Bosco D., Leonardi G., Scopelliti F., *Il dimensionamento delle opere idrauliche a difesa del corpo stradale*, Quaderno di Dipartimento - Serie Didattica, Università degli Studi Mediterranea di Reggio Calabria, 2002.

Maione U., *Appunti di idrologia 3. Le piene fluviali*, La Goliardica Pavese, 1977

Marani M., *Processi e modelli dell'Idrometeorologia*, Dispense, 2005.

Prescrizioni generali per la progettazione di RFI (PTP).

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino Idrografico del Fiume Acate -Dirillo (78)– Relazione*, 2004.

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Bacino idrografico del fiume Gela e area territoriale tra il bacino del fiume Gela ed il bacino del fiume Acate (077) – Relazione, 2007.*

Regione Siciliana, Assessorato Territorio e Ambiente, *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Siciliana – Relazione Generale, 2004.*

Regione Siciliana, Osservatorio delle Acque dell'Agenzia Regionale per i Rifiuti e le Acque (ARRA), *Annali Idrologici*, disponibili presso [www.osservatorioacque.it](http://www.osservatorioacque.it).

Rossi F., Fiorentino M., Versace P., *Two component extreme value distribution for Flood Frequency Analysis*, Water Resources Research, Vol. 20, N.7, 1984.

Ven Te Chow, *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill Book Company, USA, 1959.

## APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS

Le simulazioni numeriche sono state condotte utilizzando 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. Per la determinazione del profilo idrico nella situazione attuale e di progetto è stato utilizzato il codice denominato HEC – RAS 6.1.0 River Analysis System del settembre 2021, sviluppato dalla U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, i cui fondamenti concettuali sono riportati in seguito.

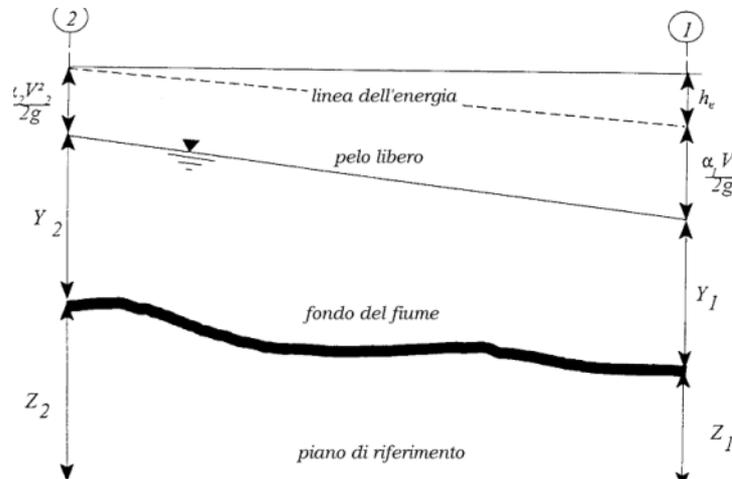
### Caratteristiche del modello matematico

Di seguito vengono esposti i fondamenti teorici alla base della modellazione idraulica monodimensionale, effettuata mediante il codice di calcolo HEC-RAS RIVER ANALYSYS SYSTEM versione 6.1.0 del settembre 2021, utilizzata per il calcolo dei livelli di piena e conseguenti aree d'esondazione.

La determinazione del livello del pelo libero in ogni sezione è computato, nel caso di correnti lente, a partire dalla sezione di valle, risolvendo per via iterativa l'equazione dell'energia, ossia:

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

Dove: Y1 e Y2 rappresentano rispettivamente le profondità del pelo libero della sezione di valle e di monte, Z1 e Z2 rappresentano rispettivamente le elevazione sul medio mare del fondo del canale della sezione di valle e di monte, V1 e V2 rappresentano rispettivamente le velocità medie nella sezione di valle e di monte,  $\alpha_1$  e  $\alpha_2$  i rispettivi coefficienti di Coriolis, g l'accelerazione di gravità e  $h_e$  le perdite di energia tra le due sezioni.



**Figura 0-1 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.**

La Figura 0-1 mostra lo schema del bilancio di energia tra la sezione di valle e quella di monte; nella figura sono indicati i singoli termini di bilancio in accordo all'equazione (1).

Le perdite di energia complessive  $h_e$  tra le due sezioni sono dovute alle perdite continue ed a quelle localizzate dovute a fenomeni di espansione e contrazione della vena fluida; in particolare si ha:

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

dove, con  $L$  è indicata la distanza tra le due sezioni, con  $\bar{J}$  le perdite di carico medie distribuite tra le due sezioni mentre il  $C$  correla le perdite, dovute all'espansione ed alla contrazione della vena in funzione dell'andamento piano – altimetrico del corso d'acqua, alla differenza dei carichi cinetici delle due sezioni.

Per la valutazione delle perdite di carico è utilizzata la formula di Manning, ossia:

$$Q = \frac{1}{n} A R_h^{2/3} \sqrt{J} \quad (3)$$

dove: Q rappresenta la portata, A l'area bagnata, RH il raggio idraulico, n il coefficiente di scabrezza secondo Manning e J le perdite di energia per unità di lunghezza.

Nel caso di sezioni composte, tipiche dei corsi d'acqua naturali, è necessario suddividere la sezione in parti in modo da trattare separatamente sezioni in cui la velocità media può essere ritenuta, ai fini pratici, costante (Figura 0-2).

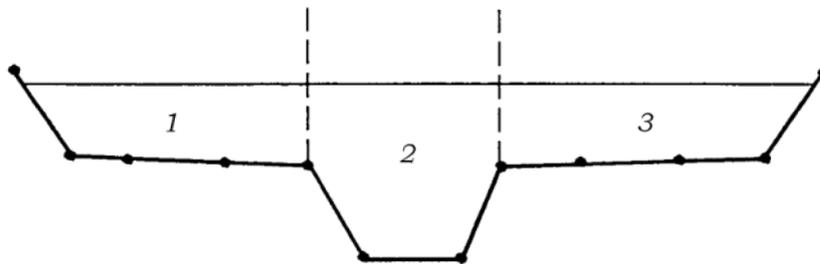


Figura 0-2 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 0-2 indicata con  $K_i = Q_i / \sqrt{J}$  la capacità di portata di ogni singola parte  $i$ -esima in cui è stata suddivisa la sezione, si ha, in accordo alla formula di Manning:

$$K_i = \frac{1}{n_i} A_i R_{h,i}^{2/3} \quad (4)$$

Calcolata la capacità di portata per ogni singola parte in cui è stata suddivisa la sezione, la perdita di carico per unità di lunghezza J risulta pari a:

$$J = \left( \frac{Q}{\sum_i K_i} \right)^2 \quad (5)$$

Questo risultato può essere facilmente ricavato osservando che, per la costanza di  $J$ , la portata di ogni singola area  $Q_i = K_i \sqrt{J}$  è proporzionale al rispettivo coefficiente di portata e che la portata

totale vale  $Q = \sum_i Q_i$ .

Calcolata la perdita di carico in corrispondenza della sezione 1 e della sezione 2 la pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni è fornita dalla seguente equazione:

$$\bar{J} = \frac{J_1 + J_2}{2} \quad (6)$$

Calcolata la capacità di portata di ogni singola sezione, è possibile, da queste, valutare il coefficiente di Coriolis. Questo coefficiente è pari al rapporto tra l'energia cinetica reale della corrente, proporzionale a  $\sum_i Q_i^3 / A_i^2$ , e l'energia cinetica calcolata facendo uso del valore medio della velocità, proporzionale a  $Q^3 / A^2$ .

Esprese le portate delle singole parti  $i$ -esime in funzione del rispettivo coefficiente di portata si perviene con qualche semplice passaggio alla seguente espressione:

$$\alpha = \left( \frac{\sum_i K_i^3}{\sum_i A_i^2} \right) \frac{\left( \sum_i A_i \right)^2}{\left( \sum_i K_i \right)^3} \quad (7)$$

dal cui calcolo è possibile ottenere  $\alpha$ , il coefficiente di Coriolis.

Calcolate tramite le rispettive equazioni le perdite di energia  $h_e$  ed il coefficiente di Coriolis  $\alpha$  la (1), associata all'equazione di continuità, permette di calcolare la quota del pelo libero,  $Y_2 + Z_2$ , nella sezione di monte a partire dal valore dell'energia totale,  $Y_1 + Z_1 + \alpha_1 V_1^2 / 2g$  noto in corrispondenza della sezione di valle.

Essendo la (1) un'equazione non lineare, la soluzione è ottenuta con ciclo iterativo, a partire da una soluzione iniziale, approssimata, di primo tentativo.

Ogni volta che la corrente passa attraverso la condizione critica l'equazione dell'energia non viene considerata applicabile e viene utilizzata l'equazione del momento. All'interno di Hec-Ras l'equazione del momento può essere applicata ai seguenti problemi: formazione di un risalto idraulico, sovrалzo determinato dai ponti e intersezioni di corsi d'acqua.

L'equazione della conservazione del momento è definita partendo dalla seconda legge di Newton  $\sum F_x = ma$  con x la direzione del moto, applicata ad un elemento di fluido racchiuso tra due generiche sezioni 1-2, Figura 0-3.

Per equilibrio si ottiene:

$$P_2 - P_1 + W_x - F_f = Q\rho\Delta V_x \quad (8)$$

dove

$P_i$  , risultante della pressione idrostatica;

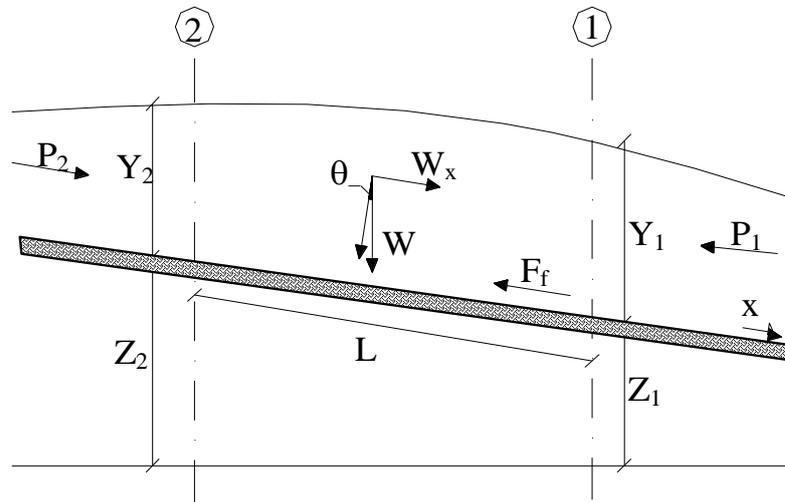
$W_x$  , componente della forza peso nella direzione del moto;

$F_f$  , forza d'attrito tra le due sezioni;

$Q$  , portata complessiva;

$\rho$  , densità del fluido;

$\Delta V_x$  , variazione della velocità tra le due sezioni.



**Figura 0-3 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.**

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

$$P = \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \cdot \cos \theta \cong \gamma \cdot A \cdot \bar{Y} \quad (9)$$

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

Nella relazione (9)  $\gamma$  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 valutata nel modo seguente:

$$W = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot L \Rightarrow W_x = W \cdot \sin \theta \quad (10)$$

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

In particolare:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma RJ \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} JPL = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot JL \quad (11)$$

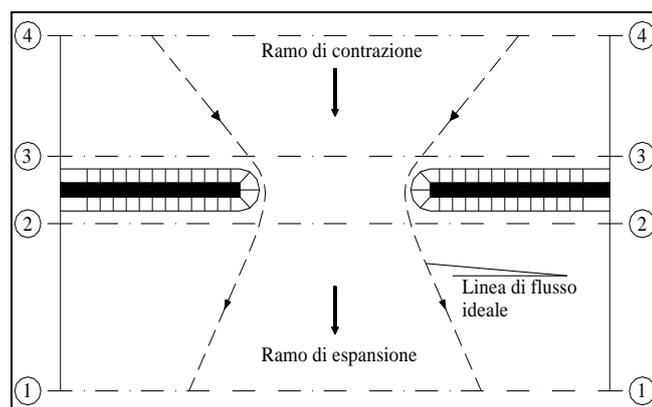
dove P ed R sono rispettivamente il perimetro bagnato ed il raggio idraulico della sezione.

La soluzione dell'equazione (8) è ottenuta per iterazioni successive.

Le equazioni (1) e (8) sono applicate anche alle sezioni caratterizzate dalla presenza di un ponte. E' 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 0-4 e Figura 0-5, 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 0-4 - 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) ed BU-3 (Step 3), rappresentate in Figura 0-5.

Step 1; definendo con  $A_{pi}$  l'area ostruita ed 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 scritta come:

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

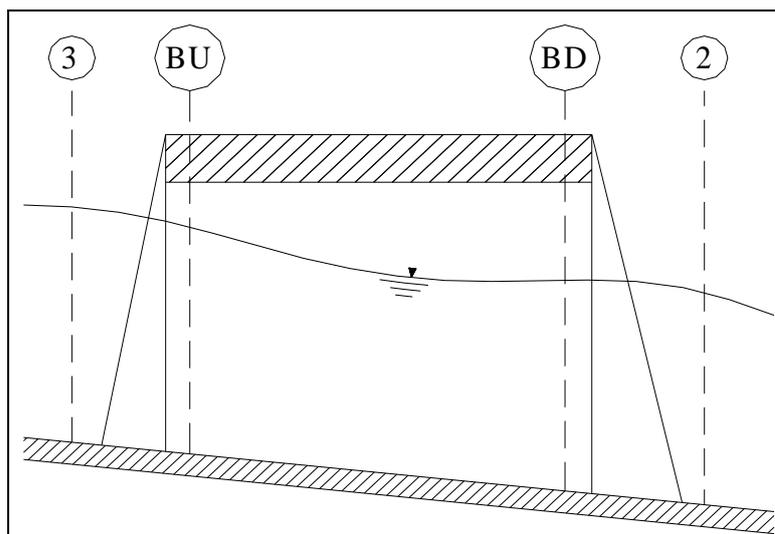
Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

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

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

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

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



**Figura 0-5 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale.**

TIPO DI PILA	C <sub>D</sub>
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: Coefficiente di resistenza idrodinamico C<sub>D</sub>.**

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

Con riferimento alle Figura 0-4 e Figura 0-5, le perdite di energia tra le sezioni 2 e 3 sono valutate nel modo seguente:

$$H_{3-2} = 2K(K + 10\omega - 0.6) \cdot (\alpha + 15\alpha^4) \cdot \frac{V_2^2}{2g} \quad (12)$$

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, tab. 2;  $\omega$  rappresenta il rapporto tra la velocità e l'altezza della sezione 2;  $\alpha$  il rapporto tra l'area ostruita dalle pile e l'area totale ed infine  $V_2$  la velocità a valle della sezione.

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: Coefficiente di Yarnell.**

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, la portata è calcolata nel modo seguente:

$$Q = C_d A_1 \left[ 2g \left( Y_1 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right) \right]^{1/2} \quad (13)$$

Dove:

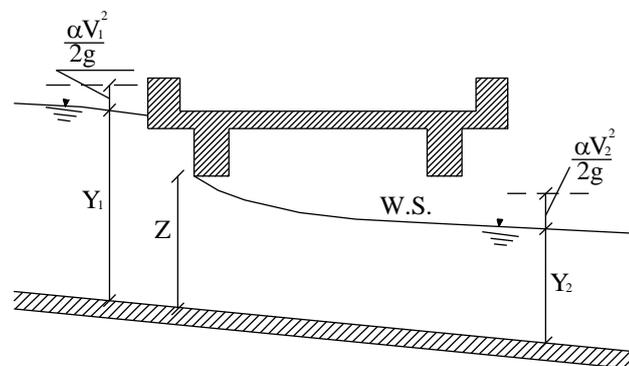
$C_d$ , coefficiente di deflusso il cui andamento è riportato nel grafico di Figura 0-7, assumendo valori tra 0.27 e 0.5;

$A_1$ , area della luce nella sezione di monte;

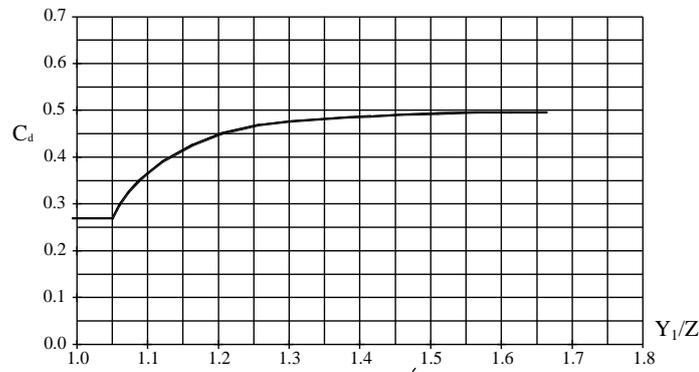
$Y_1$ , altezza idrica della sezione di monte;

$\alpha$ , coefficiente correttivo cinetico;

$V_1$ , velocità della corrente a monte.



**Figura 0-6 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.**

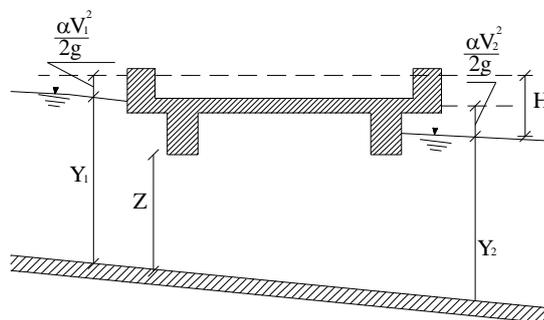


**Figura 0-7 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd.**

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 0-8.

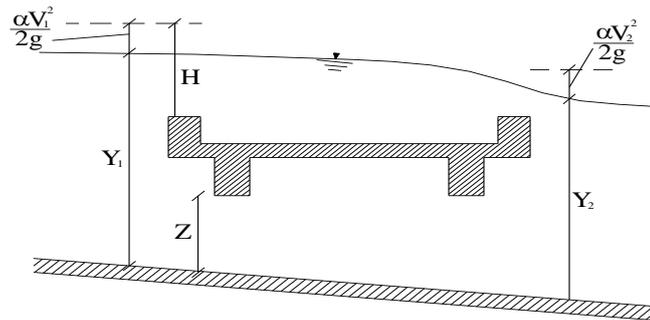


**Figura 0-8 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.**

Infine, se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 0-9, la portata si calcola nel modo seguente:

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

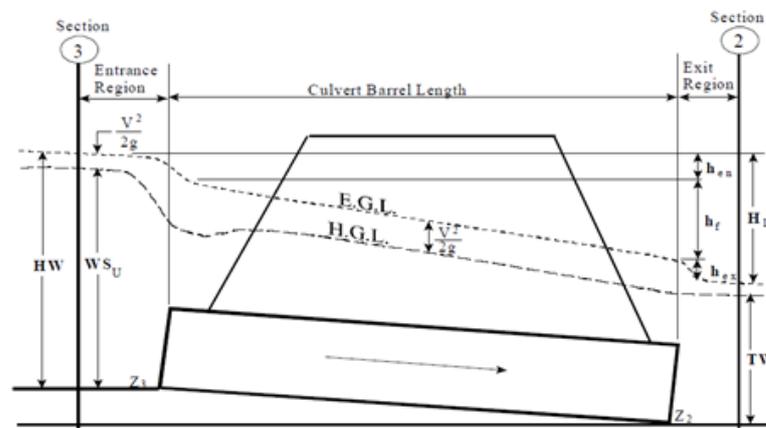
con C si indica un coefficiente correttivo della portata, L la lunghezza del ponte ed H la differenza di energie tra monte e valle.



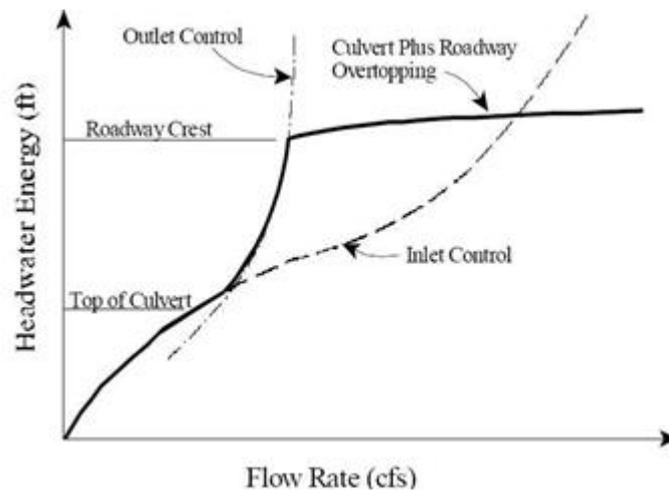
**Figura 0-9 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo**

L'analisi del deflusso attraverso un tombino si basa sul concetto di controllo all'imbocco o allo sbocco.

Il deflusso secondo il controllo all'imbocco si verifica quando la capacità di deflusso all'entrata del tombino è inferiore a quella interna. La sezione di controllo è collocata subito a valle dell'imbocco della struttura. L'altezza d'acqua passa per il livello critico e il regime di deflusso risulta essere rapido. L'energia richiesta a monte viene calcolata assumendo che l'imbocco del tombino agisca come uno stramazzo; di conseguenza il profilo che si ottiene secondo tale approccio dipende principalmente dalla geometria dell'entrata.



**Figura 0-10 - Schema di un tombino ponticello.**



**Figura 0-11 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello.**

Il deflusso secondo il controllo allo sbocco si verifica quando la capacità di deflusso viene limitata dalle condizioni che si instaurano a valle o dalle caratteristiche geometriche della struttura. In linea generale il livello di energia determinato a monte controlla il tipo di deflusso nel tombino, data la portata a monte e il livello a valle. Per il controllo allo sbocco l'energia di monte viene calcolata effettuando un bilancio di energia dalla sezione di valle a quella di monte. Il modulo considera le perdite di ingresso, quelle di uscita e quelle per attrito all'interno della struttura.

Per quanto riguarda il controllo all'imbocco, la capacità della struttura è limitata dall'apertura del tombino, piuttosto che dalle condizioni che si instaurano a valle. Per il calcolo del livello vengono utilizzate le equazioni ricavate dal National Bureau of Standards e pubblicate nel "Hydraulic Design of Highway Culverts" (FHWA, 1985). Le equazioni sono:

*Deflusso libero:*

$$\frac{HW_i}{D} = \frac{H_c}{D} + K \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M - 0.5S$$

$$\frac{HW_i}{D} = K \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

*Deflusso rigurgitato:*

$$\frac{HW_i}{D} = c \left[ \frac{Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S$$

Dove:

- $HW_i$  livello dell'energia all'imbocco
- $D$  altezza interna del tombino
- $H_c$  altezza critica
- $Q$  portata
- $A$  area della sezione interna del tombino
- $S$  pendenza
- $K, M, c, Y$  costanti variabili con la geometria e le condizioni di ingresso.

Per il controllo allo sbocco l'energia richiesta a monte per consentire il deflusso deve essere computata considerando diverse condizioni nel tombino e a valle di esso. Hec-Ras usa l'equazione di Bernoulli per effettuare tale calcolo:

$$Z_3 + Y_3 + \frac{\alpha_3 V_3^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + H_L$$

dove:

- $Y_3, Y_2$  tirante d'acqua nelle sezioni di monte e di valle;
- $Z_3, Z_2$  quota del fondo del tombino a monte e a valle;
- $\alpha_3, \alpha_2$  coefficiente di Coriolis nella sezione 1 e 2;

- $g$  accelerazione di gravità;
- $H_L$  perdita di carico attraverso il tombino.

Nel caso in cui si verifichi moto in pressione all'interno del tombino, la perdita totale di energia viene calcolata secondo la:

$$H_L = h_{en} + h_f + h_{ex}$$

Dove:

- $h_{en}$  perdite in entrata
- $h_f$  perdite per attrito
- $h_{ex}$  perdite in uscita.

Le perdite per attrito vengono considerate mediante la formulazione di Manning:

$$h_f = L \left( \frac{Qn}{1.486AR^{3/2}} \right)^2$$

Dove:

- $h_f$  perdite per attrito
- $L$  lunghezza del tombino
- $Q$  portata
- $n$  coefficiente di scabrezza di Manning

- $A$  area della sezione di flusso
- $R$  raggio idraulico.

Le perdite di ingresso sono calcolate come frazione del carico cinetico a monte, e analogamente per quelle di uscita, secondo il carico cinetico di valle. Tali coefficienti dipendono fortemente dalla geometria che caratterizza l'imbocco e lo sbocco dell'opera.