

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA  
S.O. OPERE CIVILI**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO – CATANIA**

**RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
LOTTO 1+2  
Nuova Viabilità NV02**

**IDROLOGIA E IDRAULICA  
Relazione Idraulica opere minori**

SCALA:

-

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

RS90 00 Y 09 RI ID0002 002 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione Esecutiva	A. Cappelli	12.06.2023	A. Cappelli	12.06.2023	A. Barreca	12.06.2023	A. Vittozzi 12.06.2023

ITALFERR S.p.A.  
Dipartimento Opere Civili e Gestione delle varianti  
Dott. Ing. Angelo Vittozzi  
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Roma  
N° 42078

File: RS9000Y09RIID0002002A.docx

n. Elab.:



## INDICE

1	PREMESSA .....	3
2	INQUADRAMENTO GENERALE .....	4
2.1	AMBITO DI STUDIO .....	4
2.2	MORFOLOGIA E IDROGRAFIA .....	4
2.3	INQUADRAMENTO MANUFATTO DI ATTRAVERSAMENTO DELLA NUOVA NV02 .....	5
3	CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA .....	6
3.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	6
3.2	MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO .....	6
4	DATI DI BASE DELLE VERIFICHE IDRAULICHE .....	8
4.1	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE .....	8
4.2	PORTATA DI PROGETTO .....	8
4.3	DEFINIZIONE DEI COEFFICIENTI DI SCABREZZA .....	8
4.4	CONDIZIONI AL CONTORNO .....	11
5	VERIFICHE IDRAULICHE .....	12
5.1	TOMBINO NI01 .....	12
5.1.1	<i>Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto</i> .....	12
5.1.2	<i>Sistemazione e protezione</i> .....	14
	APPENDICE A – IL MODELLO DI CALCOLO HEC-RAS .....	16

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 2-1 – Inquadramento geografico del bacino del Fiume Torto.....	4
Figura 2 – Planimetria della configurazione post operam NI01.....	12
Figura 3 – Risultati post operam NI01. Tr 200 anni.....	13
Figura 4 – Profilo idraulico post operam NI01. Tr 200 anni.....	14
Figura 5 – Sezione tipo sistemazione NI01.....	15
Figura 6 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.....	16
Figura 7 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.....	17
Figura 8 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.....	19
Figura 9 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale.....	20
Figura 10 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale.....	21
Figura 11 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.....	22
Figura 12 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd.....	23
Figura 13 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.....	23
Figura 14 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo.....	24
Figura 15 - Schema di un tombino ponticello.....	24
Figura 16 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello.....	25

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.....	5
Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento.....	6
Tabella 3 – Portate di progetto.....	8
Tabella 4 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959).....	10
Tabella 5 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+835. Tr 200 anni.....	14

## 1 PREMESSA

Il presente documento è parte della progettazione definitiva della “Tratta Fiume Torto – Lercara diramazione” nell’ambito del più ampio progetto della “Direttrice ferroviaria Messina – Catania – Palermo. Nuovo collegamento Palermo – Catania”.

La presente relazione descrive lo studio idraulico per la verifica dell’opera di attraversamento del corso d’acqua minore attraversato dalla SS113 nel punto in cui si innesta la nuova NV02.

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

- verifica idraulica delle opere di attraversamento mediante simulazione idraulica su modello matematico monodimensionale in schema di moto permanente;
- valutazione del franco idraulico delle nuove opere in accordo con le normative vigenti;
- individuazione dei rivestimenti delle sistemazioni dei corsi d’acqua di progetto.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO												
<b>RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI</b>	<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>RS90</td> <td>00 Y 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A</td> <td>4 di 29</td> </tr> </tbody> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	4 di 29
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	4 di 29								

## 2 INQUADRAMENTO GENERALE

### 2.1 AMBITO DI STUDIO

L'intervento progettuale in oggetto ricade all'interno del bacino del Fiume Torto, nel versante centrale dell'Isola, sviluppandosi nel territorio della provincia di Palermo.

I territori comunali interessati dal Fiume Torto sono quelli di: Termini Imerese, Sciarra e Cerda.

Il tracciato della nuova viabilità NV02 si sviluppa nella porzione terminale del bacino del Fiume Torto, in quella che viene definita la vera e propria valle del Torto. La figura seguente mostra l'inquadramento geografico del bacino del F. Torto con l'indicazione della nuova viabilità.

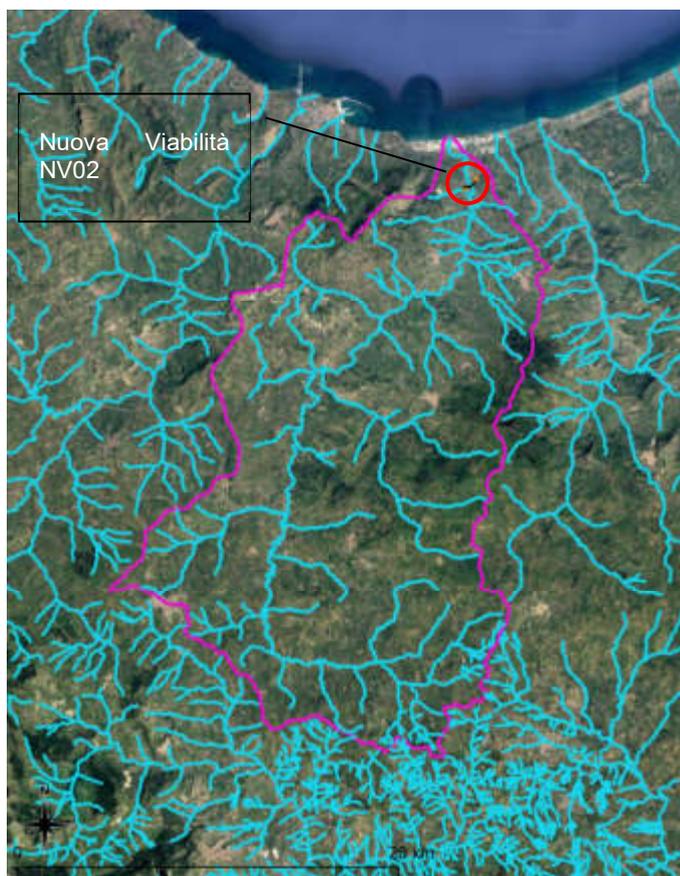


Figura 2-1 – Inquadramento geografico del bacino del Fiume Torto.

### 2.2 MORFOLOGIA E IDROGRAFIA

Il reticolo fluviale locale ricade nel bacino imbrifero del F. Torto, corso d'acqua che rappresenta la principale linea di deflusso idrico superficiale dell'area.

Il bacino di tale corso d'acqua si estende per circa 423 km<sup>2</sup>. Il bacino idrografico del Fiume Torto presenta una variabilità morfologica piuttosto spiccata, sviluppando il suo territorio tra due complessi montuosi (Madonie e

Monti di Termini) e comprendendo anche la zona interna collinare tra la catena settentrionale ed i Monti Sicani.

Tra gli elementi che determinano l'andamento dell'asta principale e dei suoi affluenti principali si ricordano: la dorsale di Monte Roccelito (destra orografica, 1145 m s.l.m.) e la sua prosecuzione ad ovest con P.zo Bosco; la dorsale nord-sud denominata La Montagna che a partire dall'abitato di Roccapalumba e fino al nucleo abitato di Sambuchi, delimita ad ovest il bacino idrografico; le alture arenarie di P.zo Fico, P.zo Conca, M. Castellazzo, M. Rigiura, La Montagna (Alia) e Serra Tignino che caratterizzano la porzione centrale in destra idrografica.

I contrasti morfologici sono maggiormente presenti nei versanti del tratto che attraversa la catena costiera siciliana, a partire dalla stretta morfologica posta subito a valle della stazione ferroviaria di Montemaggiore Belsito e fino all'ultimo tratto del corso del F. Torto, quando questo attraversa la Piana costiera di Bonfornello. A monte prevalgono i paesaggi collinari, generalmente omogenei, se si eccettuano le alture arenarie descritte precedentemente, dove i tratti terminali del reticolo idrografico presentano pendenze elevate.

L'asta principale del fiume, lungo complessivamente circa 57 km, nel tratto di monte, si sviluppa in direzione est-ovest, parallelamente allo spartiacque meridionale. In questo primo tronco gli affluenti principali sono: il T. Gian Jacopo ed il V.ne Guccia. Nella zona centrale, fino alla confluenza in sinistra del T. Lisca, il corso d'acqua raccoglie i deflussi del F. S. Filippo e del V.ne Raffo, in sponda sinistra.

A valle della confluenza con il T. Lisca, che costituisce il maggiore affluente del F. Torto, il corso d'acqua prosegue fino alla foce raccogliendo i deflussi del V.ne Finantelli e Scarcella, in sponda sinistra, e il Fosso Zimma ed il V.ne Baglio, in sponda destra.

Il Fiume Torto ha un regime tipicamente torrentizio, caratterizzato da lunghi periodi di magra, con valore della portata praticamente uguale a zero. In 7 anni di osservazione della stazione idrometrica di località Bivio Cerda, si è registrato un numero massimo di 158 giorni consecutivi a portata nulla, mentre nel 50% degli anni si è raggiunto un numero di 118 giorni.

Per quanto riguarda i corsi d'acqua secondari, anche questi presentano carattere torrentizio e sono soggetti a lunghi periodi di magra; inoltre in alcuni casi non è presente una inalveazione chiaramente incisa.

## 2.3 INQUADRAMENTO MANUFATTO DI ATTRAVERSAMENTO DELLA NUOVA NV02

L'interferenza dell'idrografia superficiale con la nuova NV02 in progetto è riportata in Tabella 1, nella quale è indicata anche la corrispondente opera di attraversamento dalla linea ferroviaria in progetto, il codice WBS e la progressiva.

Tabella 1 - Elenco interferenze idrauliche.

WBS ferrovia	Progressiva Pk	ID sottobacino afferente	Opera su nuova NV02
IN08	1+835	2	Tombino idraulico NI01

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO												
<b>RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI</b>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS90</td> <td>00 Y 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A</td> <td>6 di 29</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	6 di 29
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	6 di 29								

### 3 CRITERI E METODOLOGIA DI VERIFICA

#### 3.1 **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Per la sicurezza idraulica della nuova NV02, le opere d'arte di attraversamento devono osservare quanto previsto dall'«Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni”» (DM 17 gennaio 2018 – di seguito NTC 2018). Per quanto riguarda i tombini, la circolare applicativa delle NTC 2018 (circolare 21 gennaio 2019 , n. 7 C.S.LL.PP) riporta quanto segue:

*Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a 50 m³/s. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti.*

[...]

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

[...]

*- 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;*

[...]

*- 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.*

In Tabella 2 è riportata una sintesi della normativa di riferimento con alcuni elementi a integrazione di quanto sopra descritto.

Tabella 2 – Sintesi normativa di riferimento

	Manuale di progettazione ferroviaria	NTC 2018 e circolare applicativa NTC2018
<b>Manufatti di attraversamento secondari (tombini e scatolari)</b>	<i>Grado di riempimento non superiore al 70% della sezione totale.</i>	<i>Grado di riempimento non superiore ai 2/3 (67%) della sezione totale e franco almeno pari a 0.5m</i>

#### 3.2 **MODELLO MATEMATICO UTILIZZATO**

Lo studio idraulico del corso d'acqua oggetto della presente relazione è stato effettuato, nello stato di fatto e nello stato di progetto, 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, tenendo conto anche degli effetti localizzati delle opere idrauliche presenti (ponti, tombini, strutture in linea quali traverse, strutture laterali quali sfioratori, ecc.).



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
Nuova Viabilità NV02  
PROGETTO DEFINITIVO

**RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	7 di 29

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.

Una descrizione del modello è riportata in Appendice A.

	DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO					
	<b>RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI</b>	COMMESSA RS90	LOTTO 00 Y 09	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID0002 002	REV. A

## 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:

- DTM della Regione Sicilia (volo ATA 2007-2008), di risoluzione pari a 2 m;
- rilievo aerofotogrammetrico;
- sezioni di rilievo trasversali dei corsi d'acqua;
- prospetti delle opere di scavalco esistenti;
- documentazione fotografica.

### 4.2 PORTATA DI PROGETTO

La portata utilizzata nel modello numerico è stata desunta dallo studio idrologico allegato al progetto (RS9000Y09RIID0001001A). In accordo con il manuale di progettazione ferroviario e le NTC2018 sono stati considerati eventi con tempo di ritorno pari a 200 anni. La portata duecentennale rappresenta l'evento minimo di riferimento per le verifiche previste dalle NTC e dal manuale di progettazione ferroviario per le opere che sottendono bacini inferiori ai 10 km<sup>2</sup>.

Nello studio idrologico la portata di calcolo è stata ottenuta dall'applicazione del metodo cinematico e del metodo SCS, utilizzando le altezze di precipitazione che derivano sia da Gumbel che dal metodo VAPI. Nelle verifiche idrauliche è stata considerata come portata di calcolo quella massima tra quelle ottenute applicando le due metodologie alle due diverse altezze di precipitazione.

In Tabella 3 è riportato il valore della portata di progetto ottenuto dalle analisi idrologiche.

Tabella 3 – Portate di progetto.

Pk	WBS opera	ID Sottobacino	S	Tr	Q progetto
			km <sup>2</sup>		[m <sup>3</sup> /s]
1+835	NI01	2	0.37	200	8.13

### 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, dal grado di manutenzione e pulizia detto stesso, dalla presenza e dal tipo di vegetazione, dai cicli stagionali, dalla granulometria del fondo, ecc.

Per la scelta del coefficiente di Manning in funzione delle condizioni dell'alveo, sono stati presi a riferimento i valori riportati in Tabella 4 (Chow, 1959).

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.

I sopralluoghi e le analisi di foto satellitari hanno evidenziato che non sempre risulta chiaramente identificabile un alveo inciso dei corsi d'acqua e, in ogni caso, esso risulta spesso caratterizzato dalla presenza di una discreta vegetazione in corrispondenza dell'alveo così come le aree limitrofe, con un certo deposito di ciottoli e ghiaia.

Tali osservazioni hanno indirizzato, pertanto, alla scelta dei seguenti coefficienti di Manning utilizzati nella modellazione dello stato di fatto (ante operam):

- 0.05 s/m<sup>1/3</sup> per l'alveo inciso;
- 0.07 s/m<sup>1/3</sup> per le aree golenali.

Nella modellazione dello stato di progetto, invece, (post operam) in corrispondenza della sistemazione del corso d'acqua, che prevede una generale rettifica, pulizia e regolarizzazione con rivestimento della sezione in massi intasati con malta, sono stati assunti i seguenti coefficienti di Manning:

- 0.028 s/m<sup>1/3</sup> per l'alveo inciso;
- 0.050 s/m<sup>1/3</sup> per le aree golenali.

Tabella 4 - Tabella riepilogativa per la scelta del coefficiente di Manning (Chow, 1959)

<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 liscia 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	

Per i tombini idraulici nello stato di progetto è stato assunto un coefficiente di Manning  $n=0.02 \text{ s/m}^{1/3}$ .



DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO  
NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA  
RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE  
Nuova Viabilità NV02  
PROGETTO DEFINITIVO

RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	11 di 29

#### 4.4 CONDIZIONI AL CONTORNO

Per la verifica del manufatto di attraversamento con modello idraulico monodimensionale a moto permanente è stata imposta una condizione al contorno di valle di moto uniforme.

## 5 VERIFICHE IDRAULICHE

### 5.1 TOMBINO NI01

L'intervento in progetto prevede la realizzazione di un tombino di dimensione 3.0x2.5m al disotto della linea ferroviaria di progetto. Inoltre si prevede una modesta deviazione del tracciato esistente a monte e a valle del tombino di progetto in maniera tale da raccordare tale tombino con l'incollezione esistente.

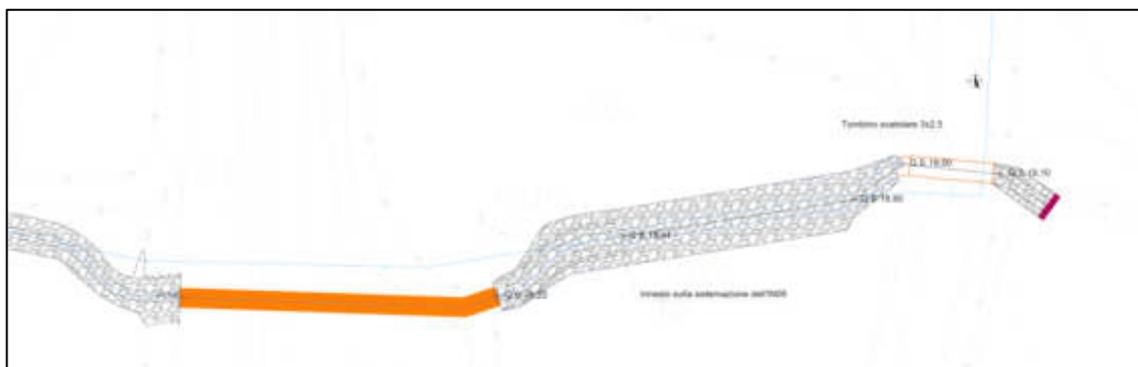


Figura 2 – Planimetria della configurazione post operam NI01.

#### 5.1.1 Simulazione numerica di verifica dello stato di progetto

##### Dati principali per la verifica

- *N. sezioni (escluse interpolate)* 4
- *N. manufatti* 1
- *Caratteristiche dei manufatti*
  - Tombino di progetto*
    - Tipologia tombino
    - Larghezza x Altezza 3.0x2.5 m
    - Lunghezza 12.70 m
- *Condizioni al contorno*
  - Portata di verifica 8.13 m<sup>3</sup>/s (Tr200)
  - Condizione monte altezza moto uniforme
  - Condizione valle altezza moto uniforme
- *Scabrezza (Manning)*
  - Alveo inciso di progetto  $n=0.028 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$
  - Golene  $n=0.05 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$

##### Risultati

In Figura 3 vengono riportati in forma tabellare i risultati in corrispondenza delle sezioni e dei manufatti esistenti lungo il tratto di corso d'acqua analizzato. In Figura 4 è riportato il profilo idrico di calcolo.

**RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI**

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	13 di 29

HEC RAS Plan: prova River: IN08\_ScP Racon: TR\_IN08\_ScP Profilo: Tr200

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chim (m/s)	Flow Area (m2)	Toes Width (m)	Froude # Crit
TR_IN08_ScP	882	Tr200	8.13	20.20	20.87	20.58	20.78	0.012501	1.88	5.85	13.43	0.66
TR_IN08_ScP	875	Tr200	8.13	19.11	20.80	20.13	20.68	0.002884	1.36	7.69	12.68	0.41
TR_IN08_ScP	850	Culvert										
TR_IN08_ScP	847	Tr200	8.13	19.00	20.21	20.05	20.50	0.011587	2.41	3.37	3.51	0.79
TR_IN08_ScP	838.50*	Tr200	8.13	18.84	20.15	18.88	20.45	0.011423	2.40	3.38	3.54	0.78
TR_IN08_ScP	826.00*	Tr200	8.13	18.89	20.10	19.93	20.39	0.011330	2.38	3.40	3.57	0.78
TR_IN08_ScP	815.50*	Tr200	8.13	18.83	20.04	18.88	20.33	0.011182	2.38	3.42	3.60	0.78
TR_IN08_ScP	805.00*	Tr200	8.13	18.78	19.98	19.82	20.28	0.011057	2.36	3.44	3.62	0.77
TR_IN08_ScP	884.50*	Tr200	8.13	18.72	18.94	18.78	20.22	0.010810	2.35	3.48	3.64	0.77
TR_IN08_ScP	884.00*	Tr200	8.13	18.87	19.88	19.71	20.16	0.010721	2.33	3.48	3.68	0.76
TR_IN08_ScP	873.50*	Tr200	8.13	18.81	18.84	18.85	20.11	0.010488	2.32	3.51	3.68	0.76
TR_IN08_ScP	863.00*	Tr200	8.13	18.55	19.79	19.60	20.05	0.010189	2.29	3.55	3.71	0.75
TR_IN08_ScP	852.50*	Tr200	8.13	18.50	18.75	18.54	20.01	0.008788	2.28	3.60	3.73	0.73
TR_IN08_ScP	842.00*	Tr200	8.13	18.44	19.71	19.48	19.95	0.008378	2.22	3.68	3.78	0.72
TR_IN08_ScP	831.50*	Tr200	8.13	18.38	18.87	18.42	18.91	0.008879	2.18	3.74	3.78	0.70
TR_IN08_ScP	821.00*	Tr200	8.13	18.33	19.63	18.37	18.85	0.008340	2.13	3.82	3.82	0.68
TR_IN08_ScP	810.50*	Tr200	8.13	18.28	18.80	18.31	18.82	0.007811	2.07	3.92	3.88	0.68
TR_IN08_ScP	800 sec 2	Tr200	8.13	18.22	19.57	18.26	18.78	0.007227	2.02	4.03	3.91	0.63
TR_IN08_ScP	450	Culvert										
TR_IN08_ScP	400 sec 3	Tr200	8.13	17.95	19.19	18.00	18.46	0.010198	2.29	3.55	3.70	0.75
TR_IN08_ScP	378.82*	Tr200	8.13	17.80	18.14	18.95	18.41	0.010459	2.31	3.52	3.70	0.76
TR_IN08_ScP	363.85*	Tr200	8.13	17.85	19.08	18.91	18.36	0.010886	2.33	3.49	3.70	0.77
TR_IN08_ScP	330.77*	Tr200	8.13	17.80	18.03	18.88	18.31	0.010823	2.35	3.48	3.68	0.76
TR_IN08_ScP	307.88*	Tr200	8.13	17.75	18.98	18.62	18.26	0.011189	2.37	3.43	3.69	0.79
TR_IN08_ScP	284.82*	Tr200	8.13	17.70	18.82	18.77	18.21	0.011436	2.38	3.40	3.68	0.80
TR_IN08_ScP	261.54*	Tr200	8.13	17.85	18.88	18.72	18.16	0.011738	2.42	3.38	3.67	0.81
TR_IN08_ScP	238.48*	Tr200	8.13	17.80	18.87	18.87	18.06	0.016207	2.84	2.68	3.48	1.00
TR_IN08_ScP	215.38*	Tr200	8.13	17.85	18.59	18.64	18.04	0.020088	2.87	2.74	3.43	1.06
TR_IN08_ScP	182.31*	Tr200	8.13	17.50	18.47	18.47	18.52	0.006304	1.14	8.01	11.88	0.43
TR_IN08_ScP	169.23*	Tr200	8.13	17.45	18.28	18.28	18.36	0.003458	1.11	7.85	11.58	0.43
TR_IN08_ScP	148.15*	Tr200	8.13	17.40	18.12	18.12	18.17	0.003881	1.05	7.71	11.47	0.44
TR_IN08_ScP	123.08*	Tr200	8.13	17.35	17.94	17.94	18.00	0.003802	0.98	7.60	11.38	0.44
TR_IN08_ScP	100 sec 6	Tr200	8.13	17.30	17.78	17.78	17.82	0.003885	0.88	7.52	11.28	0.44

Figura 3 – Risultati post operam NI01. Tr 200 anni

Il manufatto in progetto è caratterizzato dal valore del grado di riempimento riportato in Tabella 5 e soddisfa i criteri di verifica riportati al § 3.1.

Tabella 5 – Verifiche idrauliche delle opere di progetto. Pk 1+835. Tr 200 anni.

Opera	Sezione di monte	Fondo alveo SdP	Livello idrico [m s.m.m.]	Tirante [m]	Altezza tombino	Grado riempimento
NI01	Sez. 650	19,10	20,26	1.16	2.50	46.4%

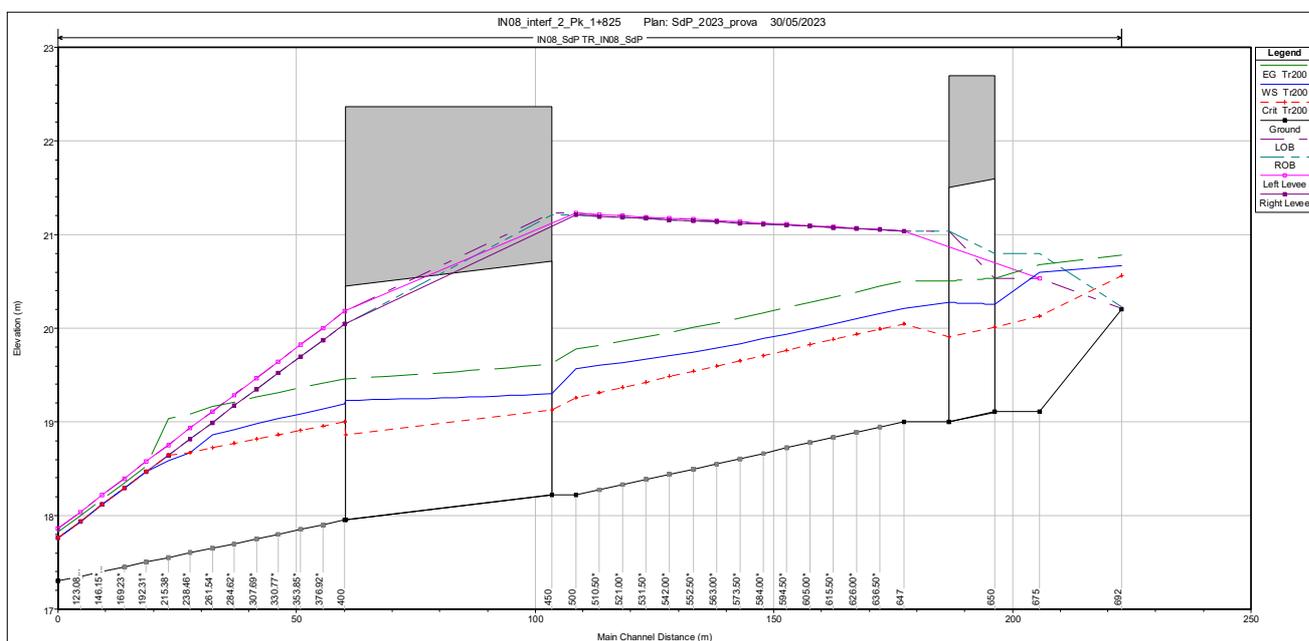


Figura 4 – Profilo idraulico post operam NI01. Tr 200 anni.

### 5.1.2 Sistemazione e protezione

L'intervento di sistemazione prevede, oltre alla leggera deviazione planimetrica, anche una regolarizzazione delle sezioni di deflusso secondo una sezione trapezia con base di larghezza pari a 2 m e pendenza delle sponde 2:3.

Nel tratto di sistemazione, inoltre, il canale sarà rivestito in massi intasati con malta (Figura 5).

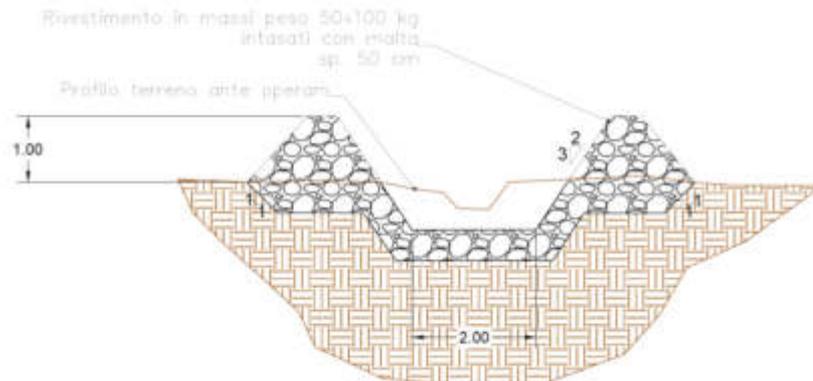


Figura 5 – Sezione tipo sistemazione NI01.

## 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 4.1.0 River Analysis System del gennaio 2010, 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 4.1.0 del gennaio 2010, 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.

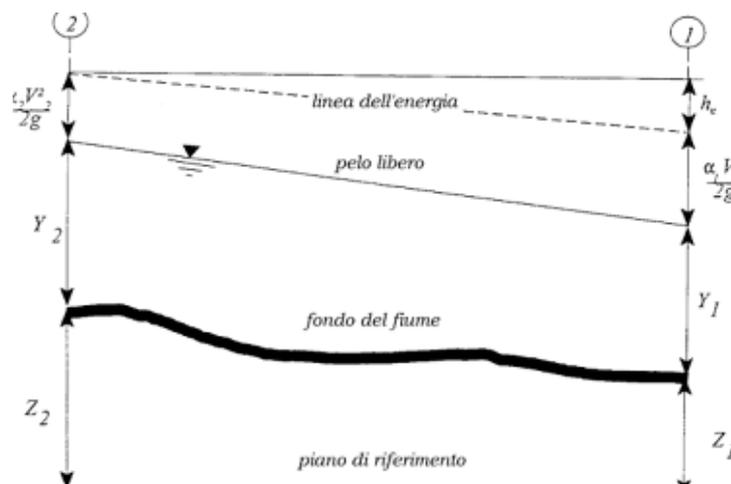


Figura 6 - Schema di calcolo per la determinazione del profilo liquido nei corsi d'acqua.

La Figura 6 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 7).

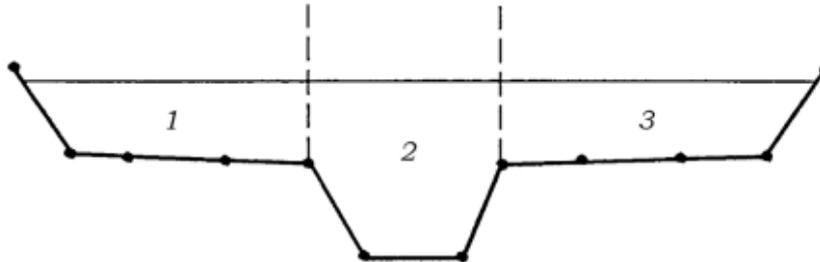


Figura 7 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

Con riferimento alla Figura 7 indicata con  $K_i = Q_i / \sqrt{J}$  la capacità di portata di ogni singola parte i-esima in cui è stato 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 osservato 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  $Q = \sum_i Q_i$ .

 <p><b>ITALFERR</b> GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE</p>	<p>DIRETTRICE FERROVIARIA MESSINA – CATANIA – PALERMO NUOVO COLLEGAMENTO PALERMO-CATANIA RADDOPPIO TRATTA FIUMETORTO – LERCARA DIRAMAZIONE Nuova Viabilità NV02 PROGETTO DEFINITIVO</p>												
<p>RELAZIONE IDRAULICA OPERE MINORI</p>	<table border="1"> <tr> <td>COMMESSA</td> <td>LOTTO</td> <td>CODIFICA</td> <td>DOCUMENTO</td> <td>REV.</td> <td>FOGLIO</td> </tr> <tr> <td>RS90</td> <td>00 Y 09</td> <td>RI</td> <td>ID0002 002</td> <td>A</td> <td>18 di 29</td> </tr> </table>	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO	RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	18 di 29
COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO								
RS90	00 Y 09	RI	ID0002 002	A	18 di 29								

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 e 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:

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

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 8.

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.

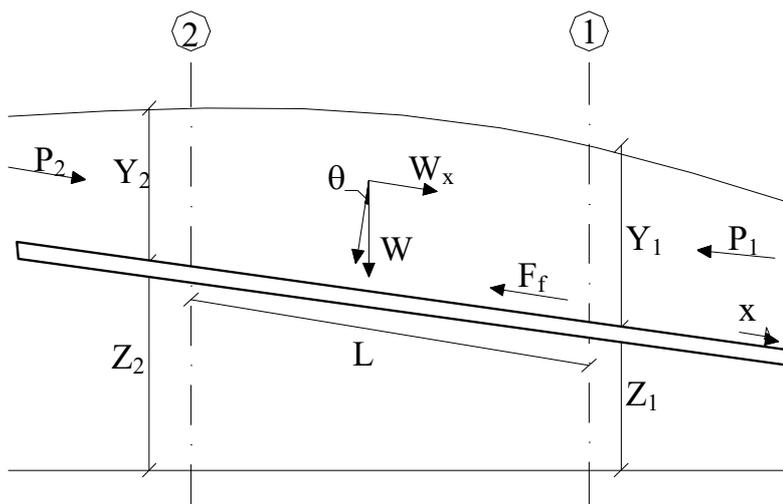


Figura 8 - Sezione schematica di un corso d'acqua naturale.

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:

$$F_f = \tau PL$$

$$\tau = \gamma R J \Rightarrow F_f = \gamma \frac{A}{P} J PL = \gamma \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) \cdot J L \quad (11)$$

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 9 e Figura 10, 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.

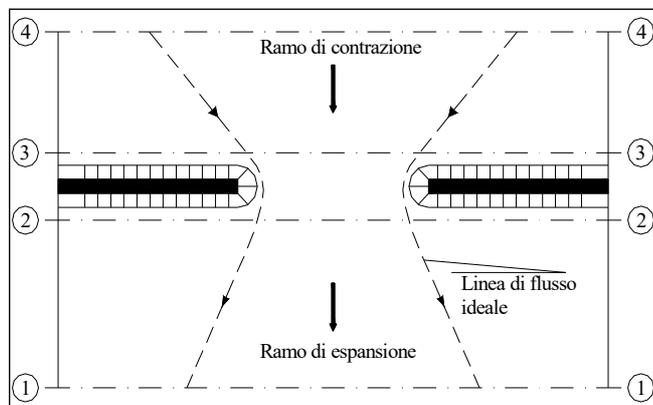


Figura 9 - Pianta schematica di un attraversamento fluviale

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 10.

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:

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

Step 2 ; equilibrio tra BU e BD

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

Step 3 ; equilibrio tra BU e 3

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

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

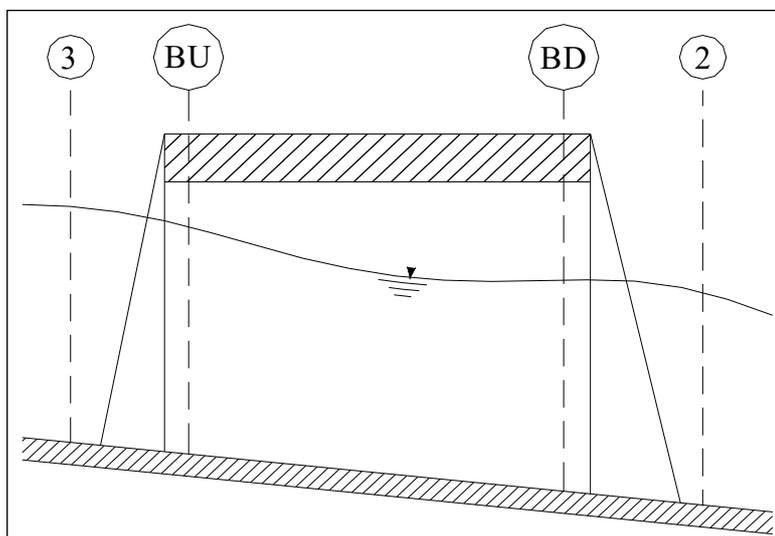


Figura 10 - Sezione schematica di un attraversamento fluviale

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

Tabella: Coefficiente di resistenza idrodinamico  $C_D$

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 9 e Figura 10, 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 12, 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.

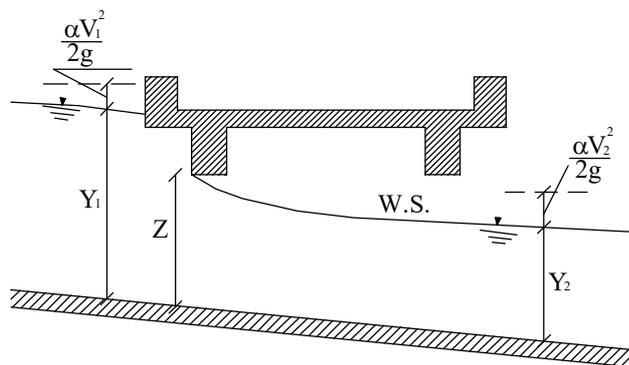


Figura 11 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

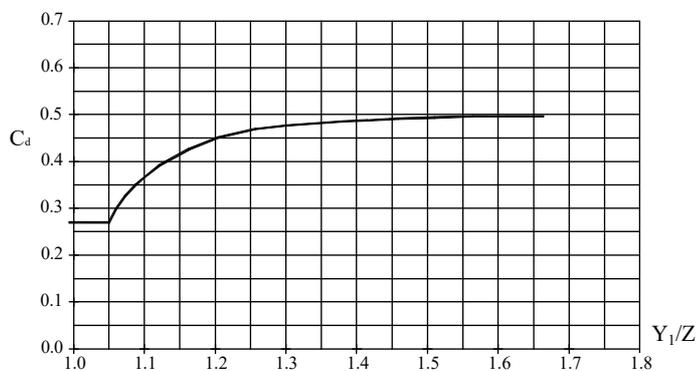


Figura 12 - Diagramma per la stima del coefficiente di deflusso Cd

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 13.

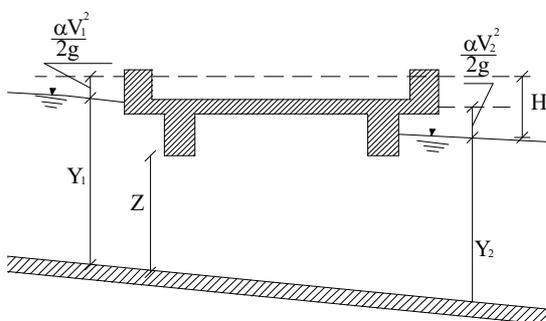


Figura 13 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

Infine se il ponte è superato dalla corrente di piena, Figura 14, 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.

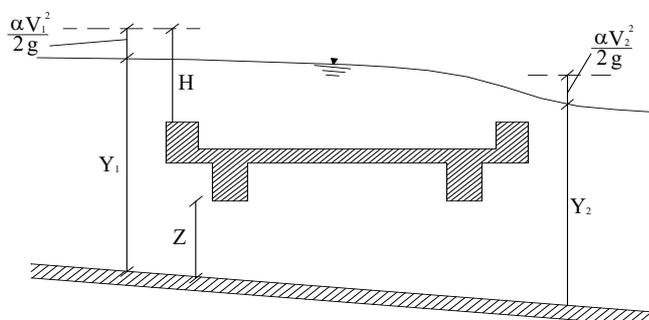


Figura 14 - Sezione schematica di un ponte – Schema di calcolo

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.

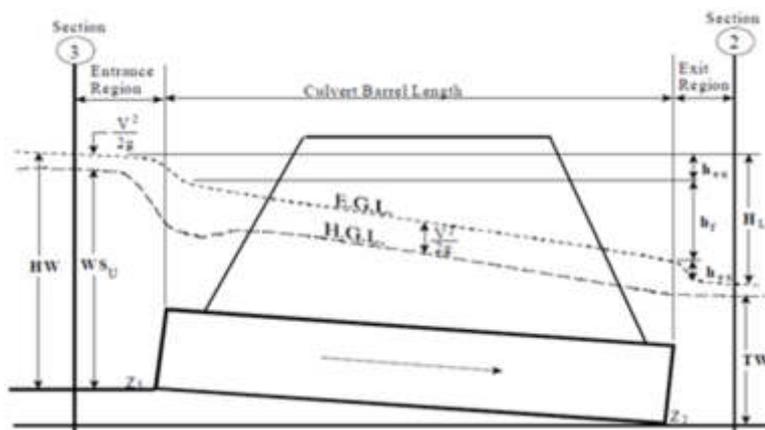


Figura 15 - Schema di un tombino ponticello

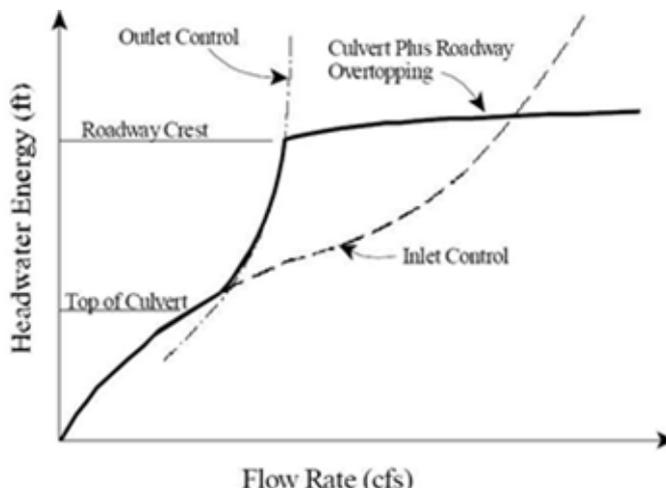


Figura 16 - Diagramma di funzionamento del tombino ponticello

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.