



# COMUNE DI NETTUNO

Provincia di ROMA



## American Battle Monuments Commission Overseas Operations Garches, France

TITOLO:

### RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI

### PROGETTO ESECUTIVO

TITOLO:

### RELAZIONE IDRAULICA

ELABORATO:

**RLT-ES-002.2**

SCALA:

DATA:

**MARZO 2018**

PROGETTISTI:

A.T.P.:

Ing. Claudio MACCARONI  
Via Ponerico, 28 - 00048 Nettuno (RM)

dott. Paolo CACCAVALE  
Via L. Pirandello, 19 - 00042 Anzio (RM)

geom. Giulio BERNARDI  
Corso Italia, 15 - 00042 Anzio (RM)

DIRIGENTE AREA LL.PP. :

ing. Benedetto SAJEVA

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:


Arch. Jr. Stefano BERNICCHIA

REV.	DATA	Descrizione oggetto revisione	Redatto	Verificato	Approvato
A	MAR. 2018	EMISSIONE	M.C.	G.B.	P.C.



## INDICE

<b>1.</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA</b>	<b>3</b>
<b>3.</b>	<b>VERIFICHE IDRAULICHE DELLE SEZIONE DI DEFLUSSO</b>	<b>3</b>
3.1	Premessa	3
3.2	Descrizione della metodologia utilizzata	3
3.2.1	<i>Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente utilizzati nel programma di calcolo</i>	4
3.2.2	<i>Presentazione e analisi dei risultati</i>	12
<b>4.</b>	<b>CONCLUSIONI</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>APPENDICE : TABELLE E GRAFICI</b>	<b>13</b>

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 3/25
---	--	-----------------------------

## 1. PREMESSA

Il presente studio idraulico del fosso dei Tinozzi-Cacamele è stato sviluppato nell'ambito degli interventi per il recupero e potenziamento dell'attraversamento stradale di via Santa Maria in corrispondenza del fosso dei Tinozzi per la messa in sicurezza idraulica delle aree limitrofe.

Obiettivo della presente relazione è la verifica idraulica delle condizioni di deflusso in occasione del transito delle portate di piena.

## 2. CONCLUSIONI DELLA RELAZIONE IDROLOGICA

Come illustrato nella relazione idrologica, le portate di piena del fosso dei Tinozzi-Cacamele sono state determinate per tempi di ritorno di 10, 50, 100 e 200 anni con valori riportati nella tabella seguente:

DENOMINAZIONE CORSO ACQUA	TEMPO DI RITORNO (ANNI)			
	<i>10</i>	<i>50</i>	<i>100</i>	<i>200</i>
Fosso dei Tinozzi	<b>10,5</b>	<b>21</b>	<b>29,4</b>	<b>39,4</b>

## 3. VERIFICHE IDRAULICHE DELLE SEZIONE DI DEFLUSSO

### 3.1 Premessa


Di seguito vengono illustrate le verifiche eseguite sulle sezioni del tronco di corso d'acqua in oggetto in corrispondenza dell'attraversamento previsto.

Le verifiche sono state condotte al fine di determinare le caratteristiche idrauliche del deflusso in piena nelle condizioni attuali e nelle condizioni post operam.

Le verifiche sono state eseguite con portate di piena associate a tempi di ritorno di 10, 50, 100 e 200 anni.

### 3.2 Descrizione della metodologia utilizzata

La ricostruzione del profilo di piena è stata eseguita in moto permanente con l'ausilio del codice di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center's River Analysis System), sviluppato dall'U.S. Army Corp of Engineers.

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 4/25
---	--	-----------------------------

Il programma permette la ricostruzione dei tiranti idrici di un corso d'acqua mediante l'integrazione numerica con il metodo dello "standard step" dell'equazione differenziale del moto permanente.

Il modello di calcolo è basato sulle seguenti ipotesi:

- il moto è permanente (le grandezze idrauliche non variano con il tempo);
- la geometria dell'alveo è caratterizzata generalmente da variazioni graduali di sezione dove è applicabile l'equazione del moto; nei tronchi dove si realizzano variazioni brusche di sezione viene adottata l'equazione dinamica in forma globale;
- il moto è monodimensionale, cioè si trascurano le componenti della velocità nelle direzioni ortogonali a quella di avanzamento della corrente; ne discende che: il carico energetico totale è lo stesso per tutti i punti di una sezione trasversale, la velocità ha una sola componente nella direzione della corrente e la superficie dell'acqua è orizzontale per tutta la sezione trasversale;
- la pendenza longitudinale non sia troppo elevata (minore del 10%);
- I dati di base richiesti dal programma di calcolo utilizzato sono sostanzialmente quelli relativi alle caratteristiche geometriche ed idrauliche del corso d'acqua in analisi. I dati necessari sono i profili di fondo (sezioni trasversali), le lunghezze dei tratti e la scabrezza dell'alveo e delle aree golenali.

La geometria del tronco d'alveo è definita mediante la forma e le caratteristiche idrauliche delle sezioni che lo delimitano; queste ultime devono essere rilevate, perpendicolarmente alla direzione della corrente, nei punti rappresentativi del corso d'acqua, dove si riscontrino cambi della geometria del canale o delle caratteristiche idrauliche (cambi di pendenza, scabrezza, portata, ponti ecc.).

Il programma consente di assegnare differenti scabrezze a diverse zone della sezione. Nel caso in esame è stato assegnato un coefficiente di scabrezza di *Manning* variabile, in funzione delle caratteristiche del materiale d'alveo e di copertura. Per il fosso in oggetto è stato adottato un valore del coefficiente di scabrezza cautelativo di  $n=0,030$ .

### ***3.2.1 Fondamenti teorici del deflusso in moto permanente utilizzati nel programma di calcolo***

In ogni sezione normale all'asse della corrente, la pressione varia seguendo la legge idrostatica. La condizione di continuità prevede che la portata sia costante, mentre l'area della sezione " $\Omega$ " e la velocità media " $V$ " variano gradualmente lungo l'asse " $s$ " della corrente:

$$Q = \Omega \times V = Cost \quad [3.2.1]$$

L'equazione del moto è espressa mediante la formula:

$$J = -\frac{dH}{ds} \quad [3.2.2]$$



dove  $H$ , che rappresenta il carico totale, è espresso dalla relazione:

$$H = z_f + \frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2 \times g} \quad [3.2.3]$$

Per quanto concerne la cadente  $j$  del carico idraulico totale, essa si valuta assumendo che gli sforzi tangenziali sul contorno dipendano solo dalle condizioni di scabrezza della parete, dalla forma della sezione e dalla velocità media. Si assume quindi:

$$J = \frac{V^2}{\chi^2 \times R} \quad [3.2.4]$$

dove “ $\chi$ ” è il coefficiente di resistenza di Chèzy, variabile da sezione a sezione, in funzione della variazione dell'area della sezione e del perimetro bagnato (e di conseguenza il raggio idraulico e la scabrezza relativa).

Le due equazioni fondamentali sono risolte mediante la su accennata procedura iterativa (standard step method) allo scopo di calcolare la quota del pelo libero incognita per una sezione:

- equilibrio energetico:

$$h_2 + \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} = h_1 + \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} + \Delta H \quad [3.2.5]$$

- perdite di carico:

$$\Delta H = \lambda \times L + c \times \left| \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right| \quad [3.2.6]$$

in cui:

$h_1, h_2$  = quote del pelo libero nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;

$V_1, V_2$  = velocità media nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;

$\alpha_1, \alpha_2$  = coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;


$g$  = accelerazione di gravità;

$\Delta H$  = perdite di carico nel tratto;

$L$  = lunghezza del tratto di riferimento (pesata sulle portate nel caso di alveo pluricursale);

$\lambda$  = coefficiente di attrito per le perdite distribuite nel tratto;

$c$  = coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni.

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 6/25
---	--	-----------------------------

La lunghezza del tratto di riferimento viene pesata sulle portate ed è ricavata dalla relazione:

$$L = \frac{L_{sx} \times Q_{sx} + L_{ch} \times Q_{ch} + L_{dx} \times Q_{dx}}{Q_{sx} + Q_{ch} + Q_{dx}} \quad [3.2.7]$$

in cui.

- $L_{sx}$ ,  $L_{ch}$ ,  $L_{dx}$  = lunghezza specifica dell'area, interessata al flusso, golena a sinistra, all'interno e a destra delle sponde;
- $Q_{sx}$ ,  $Q_{ch}$ ,  $Q_{dx}$  = media aritmetica (sulle due sezioni) delle portate di competenza delle sezioni parziali a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde.

Al fine di determinare la portata complessiva in una sezione, il flusso viene diviso in flussi parziali interni a *sotto-sezioni* per le quali si possa considerare la distribuzione di velocità come uniforme, senza per questo incorrere in approssimazione eccessive.

La conduttanza di competenza di ogni sotto - sezione è ottenuta mediante la seguente equazione:

$$k = \frac{1}{n} \times a \times r^{2/3} \quad [3.2.8]$$

in cui:

- $k$  = conduttanza nella sotto-sezione di deflusso;
- $n$  = coefficiente di *Manning* per la sotto-sezione;
- $a$  = area della sotto - sezione interessata al flusso;
- $r$  = raggio idraulico della sotto-sezione.

La conduttanza totale sarà data dalla somma delle conduttanze di competenza di ogni *sotto - sezione*.

Nei calcoli la sezione naturale è stata divisa in tre aree con diverse caratteristiche rappresentate rispettivamente dal canale e dalle due aree laterali golenali.

Anche il coefficiente correttivo dell'energia cinetica è ricavato tenendo conto della suddivisione della sezione, tramite la seguente equazione:

$$\alpha = A^2 \times \frac{\left( \frac{K_{sx}^3}{A_{sx}^2} + \frac{K_{ch}^3}{A_{ch}^2} + \frac{K_{dx}^3}{A_{dx}^2} \right)}{K^3} \quad [3.2.9]$$

in cui:

- $A$  = area totale interessata al flusso;
- $K$  = conduttanza totale nella sezione;
- $A_{sx}$ ,  $A_{ch}$ ,  $A_{dx}$  = area, interessata al flusso, rispettivamente per le sotto-sezioni a sinistra, all'interno ed a destra delle sponde;



- $K_{sx}$ ,  $K_{ch}$ ,  $K_{dx}$  = conduttanze nelle sotto-sezioni, rispettivamente, a sinistra, all'interno e a destra delle sponde.

Le perdite distribuite nel tronco di corso d'acqua di lunghezza "L" (pesata sulle portate) è data dal prodotto di quest'ultima per il coefficiente di attrito  $\lambda$

$$\Delta H = \lambda \times L \quad [3.2.10]$$

Il programma consente di scegliere l'espressione di  $\lambda$  tra le seguenti alternative:

- coefficiente di attrito media aritmetica:

$$\lambda = \frac{\lambda_1 + \lambda_2}{2} \quad [3.2.11]$$

- coefficiente di attrito media sulle portate:

$$\lambda = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2 \quad [3.2.12]$$

- coefficiente di attrito media geometrica:

$$\lambda = \sqrt{\lambda_1 \times \lambda_2} \quad [3.2.13]$$

- coefficiente di attrito media armonica:

$$\lambda = \frac{2 \times \lambda_1 \times \lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} \quad [3.2.14]$$

in cui:


- $Q_1$ ,  $Q_2$  = portata nelle due sezioni che limitano il tratto;
- $K_1$ ,  $K_2$  = conduttanza nelle due sezioni che limitano il tratto;
- $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  = coefficienti di attrito nelle due sezioni che limitano il tratto.

Il calcolo delle perdite di carico dovute alla contrazione o espansione della corrente si basa sulla seguente relazione:

$$\Delta H = c \times \left| \frac{\alpha_2 \times V_2^2}{2 \times g} - \frac{\alpha_1 \times V_1^2}{2 \times g} \right| \quad [3.2.15]$$

dove:

- $V_1$ ,  $V_2$  = velocità media nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  = coefficienti correttivi dell'energia cinetica nelle sezioni rispettivamente di monte e di valle;
- $g$  = accelerazione di gravità;
- $\Delta H$  = perdite di carico concentrate nel tratto;

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 8/25
---	--	-----------------------------

- $c$  = coefficiente di perdita di carico localizzata nelle eventuali variazioni di sezioni:

Secondo il programma, si verifica una contrazione della corrente ogni volta che il carico cinetico a valle è maggiore di quello a monte; analogamente, quando il carico cinetico a monte è maggiore di quello a valle, il programma assume che vi sia un'espansione.

Il coefficiente  $c$  nel caso di espansione varia tra 0,3 e 0,8, mentre nel caso di contrazione vada tra 0,1 e 0,6.

La quota del pelo libero ad una sezione trasversale è determinata risolvendo iterativamente le equazioni [3.2.5] e [3.2.6] secondo la seguente procedura:

Passo 1: Assunzione di un valore (arbitrario) per la quota del pelo libero nella sezione più a monte, nel caso di corrente veloce, od a valle nel caso di corrente lenta.

Passo 2: Determinazione della portata totale e della velocità della corrente corrispondenti alla quota di cui al passo 1 .

Passo 3: Calcolo del valore del coefficiente di attrito  $\lambda$  e determinazione delle perdite energetiche mediante la risoluzione dell'equazione [3.2.10].

Passo 4: Calcolo della quota del pelo libero  $h_2$  mediante risoluzione dell'equazione [3.2.1] utilizzando i valori ottenuti con i passi 2 e 3.

Passo 5: Comparazione del valore della quota del pelo libero calcolata con il passo 4 con quella assunta al passo 1; ripetizione dell'intera procedura finché la differenza tra le due quantità è minore di quella assunta ammissibile.

Una volta ottenuta la quota del pelo libero "bilanciata" in una sezione, il programma verifica che questa sia in accordo con le ipotesi assunte sul regime della corrente; se ciò non avviene la quota del pelo libero verrà considerata coincidente con la profondità critica.

La profondità critica è la quota per la quale il carico specifico è minimo e viene calcolata con procedura iterativa basata sull'equazione che definisce il carico specifico in una data sezione.

La profondità critica per una sezione trasversale viene determinata ogni volta che si verifica una delle seguenti condizioni:

- La corrente è veloce;
- Il calcolo della profondità critica viene richiesto dall'utente;

Il programma non è riuscito a bilanciare l'equazione dell'energia entro i limiti della tolleranza prestabilita al raggiungimento del numero massimo di iterazioni.

La quota del pelo libero iniziale per le sezioni al contorno può essere specificata in uno dei seguenti quattro modi:

- come profondità critica;
- come una elevazione nota;
- come profondità di moto uniforme con pendenza assegnata, ovvero come pendenza della linea dei carichi assegnata;





- da una scala di deflusso.

La portata viene specificata in una apposita variabile nella sezione di monte, ma può essere variata in una qualunque sezione e per tutte le sezioni a valle impostando una seconda variabile.

Ogni ponte è descritto da quattro sezioni: due a monte del ponte e due a valle, di cui le due centrali in corrispondenza del ponte e le altre ad una distanza sufficiente da poter ritenere la corrente indisturbata rispetto al ponte stesso.

- Sezione 1: deve trovarsi sufficientemente a valle della struttura cosicché la corrente non ne risente (cioè in modo che riesca a espandersi completamente). L'USGS (United States Geological Survey) ha stabilito un criterio secondo il quale la sezione deve essere posizionata ad una distanza, verso valle, pari alla larghezza dell'apertura del ponte;

- Sezione 2: deve trovarsi a breve distanza dalla facciata di valle del ponte. Questa sezione dovrebbe rappresentare la sezione di deflusso appena dopo il ponte;

- Sezione 3: deve trovarsi a breve distanza dalla facciata di monte del ponte. La distanza fra la sezione e il ponte dovrebbe riflettere solamente la lunghezza necessaria alla brusca accelerazione e contrazione della corrente che avviene nell'area nelle immediate vicinanze dell'apertura. Questa sezione rappresenta inoltre la sezione di deflusso appena a monte del ponte;

- Sezione 4: rappresenta la sezione dove le linee di deflusso sono approssimativamente parallele. L'USGS ha stabilito un criterio secondo il quale la sezione deve essere posizionata ad una distanza verso monte pari alla larghezza dell'apertura del ponte.

I dati relativi al ponte di cui la procedura necessita riguardano, oltre alla forma e alla larghezza delle pile, la posizione dell'asse nel riferimento trasversale ed una serie di punti incrementati lungo la sezione, cui sono associate le quote dell'estradosso e dell'intradosso dell'impalcato.


Le perdite di carico causate da strutture quali ponti o coperture sono calcolate in due parti: in primo luogo vengono calcolate le perdite dovute all'espansione ed alla contrazione della sezione sui lati a monte ed a valle della struttura e secondariamente viene calcolata la perdita concentrata dovuta alla struttura stessa; a tal scopo sono disponibili due metodi:

- *metodo "pelo libero"* che si applica a ponti senza pile e a ponti ad arco interessati da una corrente il cui pelo libero abbia una quota inferiore a quella dell'imposta del ponte: consiste in una semplice sottrazione dell'area occupata dal ponte da quella definita dal contorno del terreno;

- *metodo "in pressione"*<sup>1</sup> che si applica in tutti gli altri casi, con particolare riguardo a condizioni di corrente che comportino l'attraversamento della profondità critica; con questo metodo viene ad essere diversificata la procedura e quindi il complesso di equazioni utilizzato a seconda delle caratteristiche del flusso in rapporto al ponte.

---

<sup>1</sup> Questo metodo approssima sempre trapezoidalmente l'apertura dei ponti

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 10/25
---	--	------------------------------

In particolare se la quota del pelo libero è minore dell'imposta del ponte si distinguono i casi e le soluzioni proposte in funzione del regime della corrente:

- In caso di corrente veloce viene generalmente utilizzato il bilancio dei momenti (subito a monte e a valle del ponte) basato sull'equazione proposta da *Koch e Carstanjen* nel 1962:

$$m_1 - m_{p1} + \frac{Q^2}{g \times A_1^2} \times \left( A_1 - \frac{c_p}{2} \times A_{p1} \right) = m_2 + \frac{Q^2}{g \times A_2} = m_3 - m_{p3} + \frac{Q^2}{g \times A_3} \quad [3.2.16]$$

in cui:

$A_1, A_3$  = area interessata al flusso, rispettivamente nelle sezioni a monte ed a valle dei ponte;

$A_2$  = area interessata al flusso, depurata dell'area delle pile ad una sezione compresa nel ponte;

$A_{p1}, A_{p3}$  = aree ostruite rispettivamente nelle sezioni a monte e a valle;

$y_1, y_2, y_3$  = distanza dei pelo libero dai centri di gravità di  $A_1, A_2, A_3$

$m_1, m_2, m_3$  = rispettivamente  $A_1 y_1, A_2 y_2, A_3 y_3$

$m_{p1}, m_{p3}$  = rispettivamente  $A_{p1} y_{p1}, A_{p3} y_{p3}$

$c_p$  = coefficiente di resistenza delle pile, compreso tra 2 (pile squadrate) e 1,33 (pile semicircolari);

$y_{p1}, y_{p3}$  = distanza dei pelo libero dai centri di gravità di  $A_{p1}, A_{p3}$

$Q$  = portata;

$g$  = accelerazione di gravità;


- Nel caso di corrente lenta, all'equazione [3.1.2.16], si preferisce l'espressione di Yarell, che consente di determinare il cambiamento di quota del pelo libero nell'attraversare il ponte:

$$H_3 = 2 \times K_f \times (K_f + 10\omega - 0,6) \times (\alpha + 15\alpha^4) \frac{v_3^2}{2 \times g} \quad [3.2.17]$$

in cui:

- $H_3$  = diminuzione della quota del pelo libero tra i lati di monte e di valle;
- $K_f$  = coefficiente di forma delle pile dei ponte;
- $\omega$  = rapporto tra il valore del carico cinetico e quello della profondità del pelo libero nella sezione di valle del ponte;
- $\alpha$  = rapporto tra la parte di sezione ostruita dal ponte e quella libera;
- $v_3$  = velocità a valle del ponte;
- $g$  = accelerazione di gravità.

La quota del pelo libero nella sezione di monte verrà calcolata aggiungendo il valore così ottenuto alla quota del pelo libero nella sezione di valle (già nota per le precedenti elaborazioni).

	<b>COMUNE DI NETTUNO</b> <b>RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA</b> <b>MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-</b> <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>	RLT-ES-002.2 Pagina 11/25
---	--	------------------------------

Se la quota del pelo libero è pari a quella dell'imposta del ponte si è nel caso di flusso in pressione e viene impiegata l'equazione per il flusso attraverso un orifizio, pubblicata sul Manuale di Ingegneria dell'U.S. Army Corps of Engineering:

$$Q = A \times \sqrt{\frac{2 \times g \times H}{K}} \quad [3.2.18]$$

in cui:

- $H$  = differenza tra il valore del carico a monte del ponte e la quota del pelo libero a valle;
- $K$  = coefficiente totale di perdita di carico;
- $A$  = area della luce libera del ponte;
- $g$  = accelerazione di gravità;
- $Q$  = portata defluente sotto il ponte.

Se la quota del pelo libero supera l'elevazione dell'imposta del ponte e la luce è ostruita si applica l'equazione:

$$Q = C \times L \times H^{3/2} \quad [3.2.19]$$

in cui:

- $H$  = differenza tra il valore del carico a monte del ponte e la quota dell'estradosso
- $C$  = coefficiente di portata
- $L$  = larghezza effettiva dello stramazzo
- $Q$  = portata defluente sopra il ponte

Spesso il flusso reale è dato da una combinazione di questi casi. Il programma allora utilizza una procedura iterativa basata sulle equazioni suddette allo scopo di determinare le portate relative a entrambi i tipi di flusso.


La procedura consiste nell'assunzione di valori progressivi per il carico totale per determinare la portata totale finché questa non differisce di più dell'1% da quella del passo precedente o dal valore prefissato.

Il programma, inoltre, consente il tracciamento di profili di moto permanente anche in presenza di manufatti trasversali (soglie e traverse). In questo caso il deflusso a stramazzo viene simulato mediante l'equazione:

$$Q = \mu \times B \times 2 \times g \times H^{3/2} \quad [3.2.20]$$

in cui:

- $\mu$  = coefficiente di efflusso sulla soglia sfiorante, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sulla soglia;

	<p>COMUNE DI NETTUNO  RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  RELAZIONE IDRAULICA</p>	<p>RLT-ES-002.2  Pagina 12/25</p>
---	---	---------------------------------------

- $B$  = lunghezza della soglia sfiorante;
- $H$  = dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia.

### ***3.2.2 Presentazione e analisi dei risultati***

I risultati delle elaborazioni sono sintetizzati in alcuni tabulati riassuntivi di calcolo, che riportano, per ogni sezione, le grandezze idrauliche più significative per l'interpretazione del deflusso in alveo quali:

- la portata di massima piena di progetto;
- la quota del fondo dell'alveo;
- la quota del pelo libero;
- l'altezza del tirante idrico;
- la cadente media in prossimità della sezione;
- la velocità media della corrente nella sezione;
- l'area della sezione di deflusso.

Per il tratto in studio, per ogni condizione di deflusso, i tabulati di output in questione sono riportati in appendice.

Sempre in appendice si riportano anche le planimetrie schematiche dei tratti presi in esame con l'ubicazione delle sezioni trasversali, che sono state utilizzate nella generazione del modello idraulico.

Sono riportate, inoltre, le sezioni trasversali schematiche caratterizzanti ciascun tronco, in cui viene indicata la posizione del pelo libero; in tali sezioni sono stati anche riportati i coefficienti di scabrezza secondo Manning adottati per le varie porzioni del fondo alveo.

## **4. CONCLUSIONI**

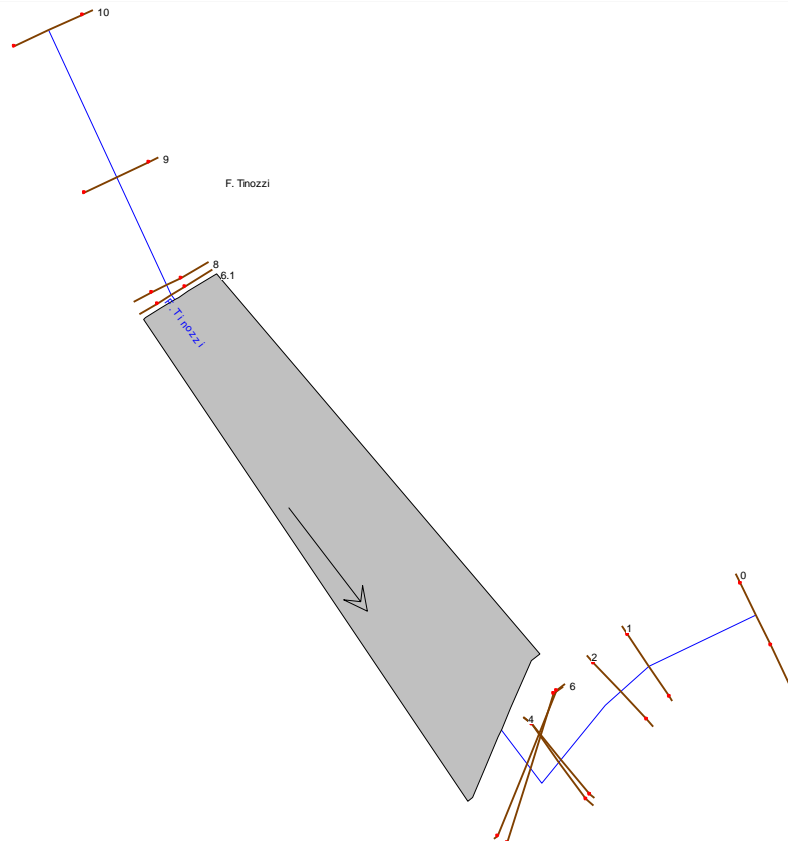
Dalle verifiche idrauliche eseguite si evince il netto miglioramento delle condizioni del deflusso idraulico in corrispondenza dell'attraversamento. Nello specifico, le dimensioni del tombino attuale determinano allagamenti già a partire dal deflusso della portata decennale. La sostituzione dell'attuale manufatto con lo scatolare di progetto determina un incremento della sezione di deflusso di circa 4 volte ed il raddoppio del raggio idraulico, migliorando sensibilmente le condizioni di deflusso. Tuttavia, mentre il nuovo manufatto di progetto risulta sufficiente, le sezioni naturali di monte del fosso risultano soggette a esondazioni localizzate per le portate di maggiore tempo di ritorno.



## 5. APPENDICE : TABELLE E GRAFICI

### FOSSO DEI TINOZZI - ATTRAVERSAMENTO VIA S.MARIA – ANTE OPERAM

Fig. 1.1 - Planimetria schematica



Fosso dei Tinozzi – Profili di moto permanente in forma tabellare – condizione ante-operam

R.River	Sta	Profile	Q (m <sup>3</sup> /s)	Minl Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m <sup>2</sup> )	Top Width (m)	Froude
F. Tinozzi	10	PF 1	10.50	12.25	14.01	13.34	14.08	0.001387	1.16	9.28	8.00	0.33
F. Tinozzi	10	PF 2	21.00	12.25	14.62	13.74	14.74	0.001597	1.54	14.11	8.00	0.36
F. Tinozzi	10	PF 3	29.40	12.25	15.02	13.97	15.17	0.001722	1.77	17.30	8.00	0.38
F. Tinozzi	10	PF 4	39.40	12.25	15.41	14.22	15.61	0.001914	2.02	20.42	8.00	0.40
F. Tinozzi	9	PF 1	10.50	12.06	14.00		14.06	0.001130	1.14	9.60	7.82	0.31
F. Tinozzi	9	PF 2	21.00	12.06	14.60		14.71	0.001299	1.56	14.27	7.82	0.36
F. Tinozzi	9	PF 3	29.40	12.06	14.99		15.15	0.001375	1.81	17.34	7.82	0.38
F. Tinozzi	9	PF 4	39.40	12.06	15.37		15.58	0.001493	2.09	20.31	7.82	0.40



COMUNE DI NETTUNO  
RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  
MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  
RELAZIONE IDRAULICA

RLT-ES-002.2  
Pagina 14/25

F. Tinozzi	8	PF 1	10.50	11.88	13.94	14.04	0.002442	1.53	8.03	7.92	0.36	
F. Tinozzi	8	PF 2	21.00	11.88	14.54	14.69	0.002686	1.93	12.78	7.92	0.39	
F. Tinozzi	8	PF 3	29.40	11.88	14.93	15.12	0.002799	2.18	15.90	7.92	0.41	
F. Tinozzi	8	PF 4	39.40	11.88	15.31	15.55	0.003046	2.47	18.89	7.92	0.44	
F. Tinozzi	7	PF 1	10.50	11.86	13.93	13.08	14.04	0.002408	1.52	8.07	7.92	0.35
F. Tinozzi	7	PF 2	21.00	11.86	14.53	13.88	14.69	0.002668	1.93	12.82	7.92	0.39
F. Tinozzi	7	PF 3	29.40	11.86	14.93	14.12	15.12	0.002787	2.17	15.93	7.92	0.41
F. Tinozzi	7	PF 4	39.40	11.86	15.31	14.36	15.55	0.003038	2.46	18.93	7.92	0.43
F. Tinozzi	6.1	Tombino 2xDN1000										
F. Tinozzi	6	PF 1	10.50	10.75	12.28	12.32	0.000919	0.91	11.52	10.89	0.28	
F. Tinozzi	6	PF 2	21.00	10.75	13.02	13.07	0.000732	1.01	20.82	15.08	0.27	
F. Tinozzi	6	PF 3	29.40	10.75	13.46	13.52	0.000614	1.08	27.62	16.00	0.25	
F. Tinozzi	6	PF 4	39.40	10.75	13.89	13.96	0.000547	1.17	34.49	16.00	0.25	
F. Tinozzi	5	PF 1	10.50	10.70	12.28	12.32	0.000819	0.88	11.98	10.97	0.27	
F. Tinozzi	5	PF 2	21.00	10.70	13.02	13.07	0.000681	0.99	21.30	15.09	0.26	
F. Tinozzi	5	PF 3	29.40	10.70	13.46	13.52	0.000581	1.06	28.11	16.00	0.25	
F. Tinozzi	5	PF 4	39.40	10.70	13.89	13.96	0.000524	1.15	34.97	16.00	0.24	
F. Tinozzi	4	PF 1	10.50	10.60	12.17	12.30	0.003319	1.64	6.42	5.90	0.50	
F. Tinozzi	4	PF 2	21.00	10.60	12.87	13.05	0.003008	1.89	11.14	7.51	0.49	
F. Tinozzi	4	PF 3	29.40	10.60	13.29	13.50	0.002920	2.03	14.56	9.41	0.50	
F. Tinozzi	4	PF 4	39.40	10.60	13.70	13.93	0.002476	2.16	18.89	10.50	0.47	
F. Tinozzi	3	PF 1	10.50	10.20	12.22	12.28	0.001017	1.06	9.87	6.60	0.28	
F. Tinozzi	3	PF 2	21.00	10.20	12.93	13.03	0.001326	1.41	14.94	7.78	0.32	
F. Tinozzi	3	PF 3	29.40	10.20	13.34	13.47	0.001482	1.60	18.49	10.00	0.35	
F. Tinozzi	3	PF 4	39.40	10.20	13.75	13.91	0.001472	1.79	22.58	10.00	0.36	
F. Tinozzi	2	PF 1	10.50	10.19	12.15	12.26	0.002495	1.50	7.02	5.48	0.42	



**COMUNE DI NETTUNO**  
**RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA**  
**MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-**  
**RELAZIONE IDRAULICA**

RLT-ES-002.2  
 Pagina 15/25

F. Tinozzi 2	PF 2	21.00	10.19	12.82	13.00	0.002900	1.88	11.17	7.01	0.47	
F. Tinozzi 2	PF 3	29.40	10.19	13.23	13.45	0.002765	2.07	14.58	9.10	0.47	
F. Tinozzi 2	PF 4	39.40	10.19	13.63	13.89	0.002588	2.27	18.23	9.10	0.47	
F. Tinozzi 1	PF 1	10.50	10.19	12.06	11.55	12.22	0.422353	1.82	5.78	5.00	0.54
F. Tinozzi 1	PF 2	21.00	10.19	12.71	12.12	12.96	0.452687	2.21	9.50	6.33	0.58
F. Tinozzi 1	PF 3	29.40	10.19	13.11	12.46	13.41	0.430337	2.40	12.42	7.97	0.58
F. Tinozzi 1	PF 4	39.40	10.19	13.51	12.80	13.85	0.381778	2.59	15.74	8.40	0.56
F. Tinozzi 0	PF 1	10.50	10.18	11.45	11.36	11.82	0.012006	2.69	3.90	4.15	0.89
F. Tinozzi 0	PF 2	21.00	10.18	12.01	11.92	12.54	0.012006	3.22	6.52	5.11	0.91
F. Tinozzi 0	PF 3	29.40	10.18	12.36	12.26	12.98	0.012010	3.50	8.39	5.70	0.92
F. Tinozzi 0	PF 4	39.40	10.18	12.70	12.60	13.43	0.012010	3.77	10.46	6.29	0.93

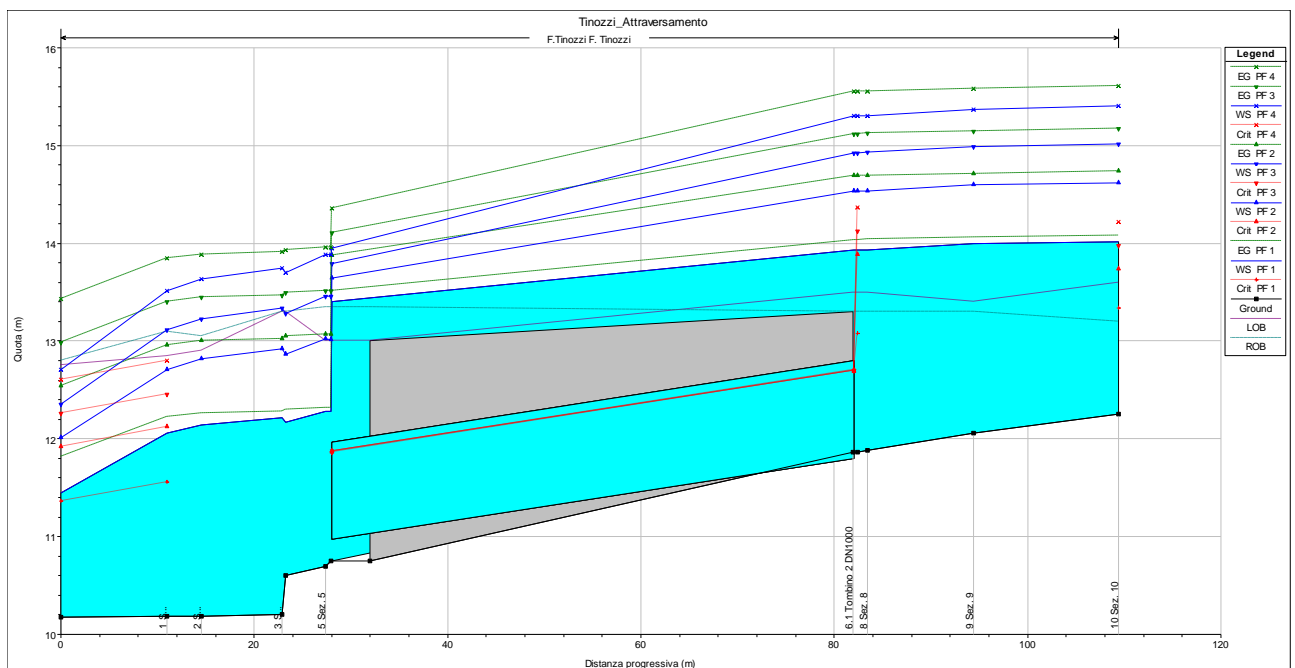


Fig. 1.2 – Profili idraulici moto permanente  $Tr=10$  (ante operam)

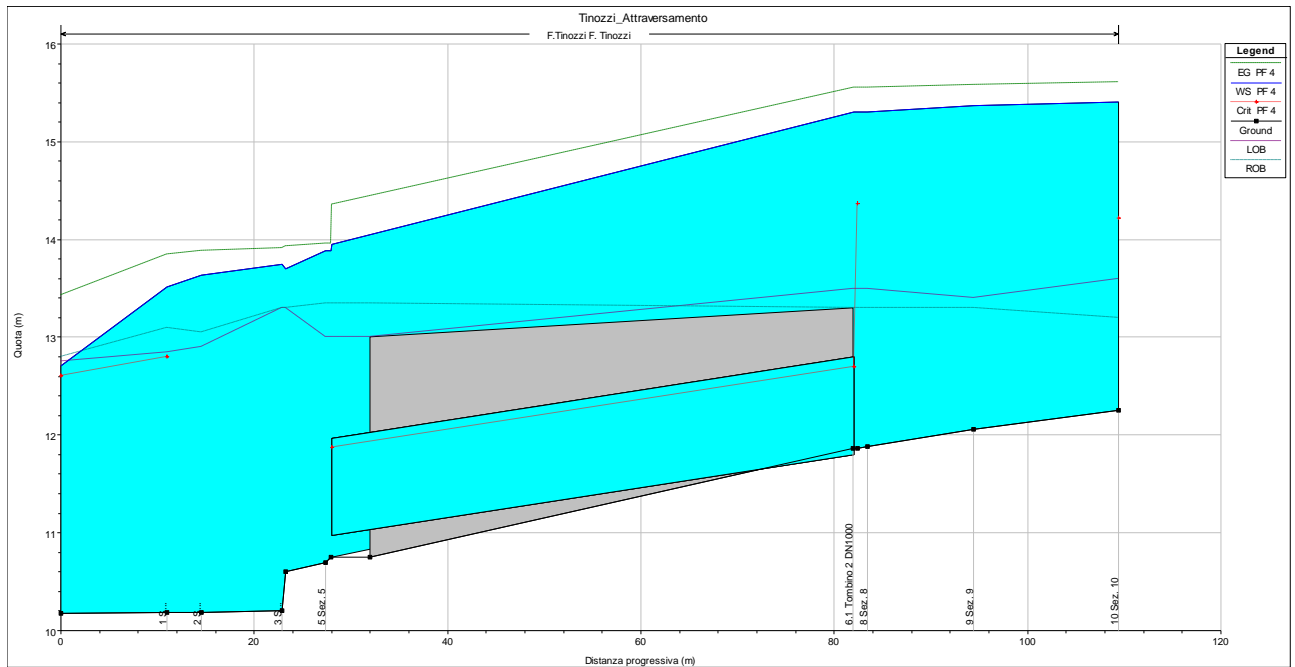


Fig. 1.3 – Profilo idraulico moto permanente  $Tr=200$  (ante operam)

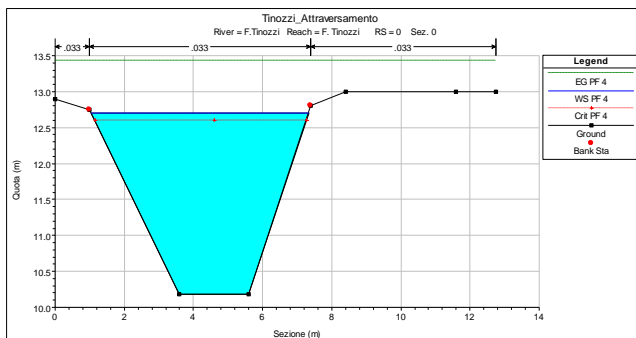


Fig. 1.4- sez. 0 –  $Tr=200$  anni

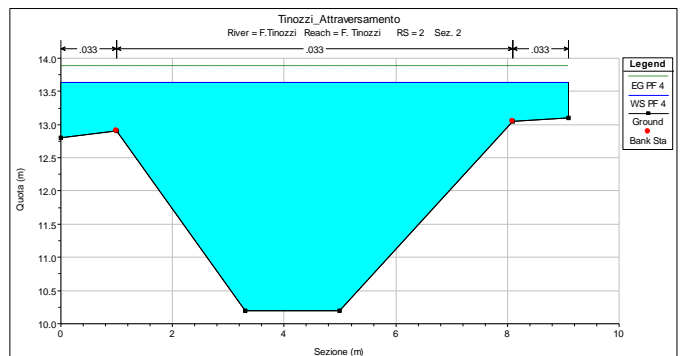


Fig. 1.6- sez. 2 –  $Tr=200$  anni

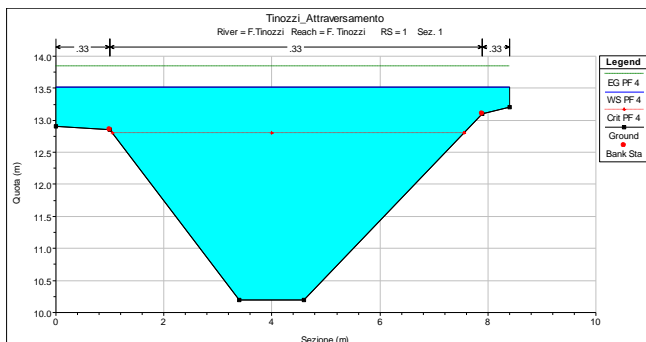


Fig. 1.5- sez. 1 –  $Tr=200$  anni

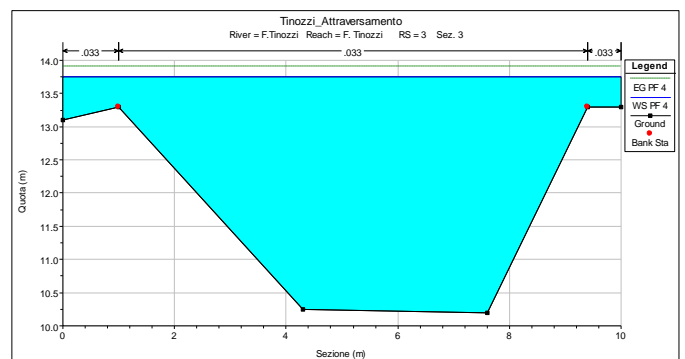


Fig. 1.7- sez. 3 –  $Tr=200$  anni



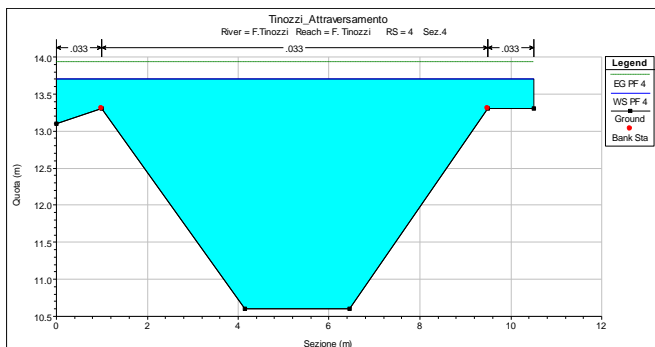


Fig. 1.8- sez. 4 – Tr=200 anni

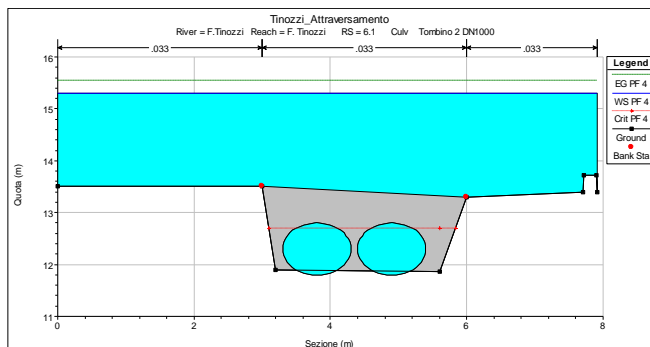


Fig. 1.12- sez. 6.1 monte – Tr=200 anni

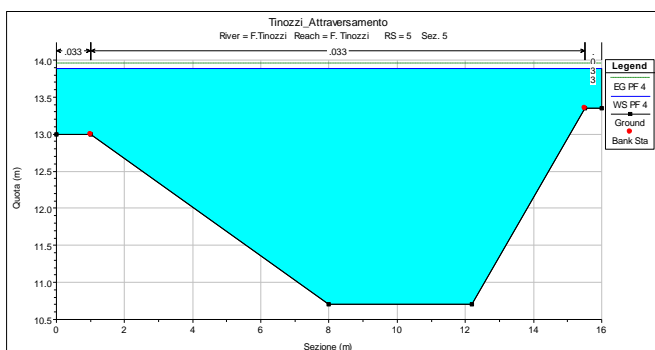


Fig. 1.9- sez. 5 – Tr=200 anni

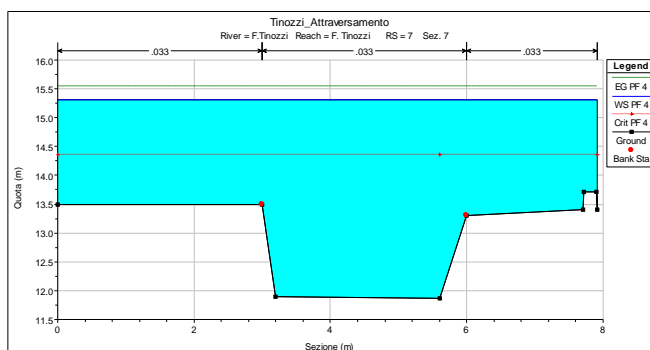


Fig. 1.13- sez. 7 – Tr=200 anni

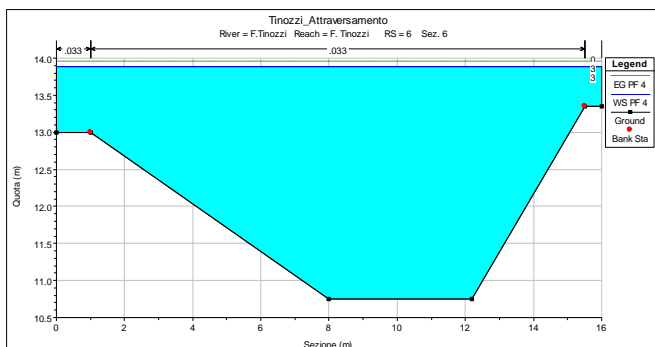


Fig. 1.10- sez. 6 – Tr=200 anni

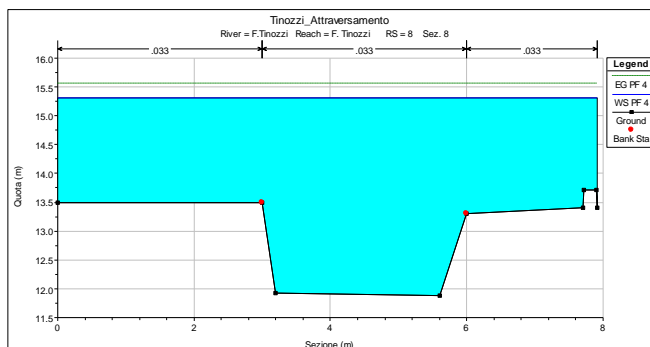


Fig. 1.14- sez. 8 – Tr=200 anni

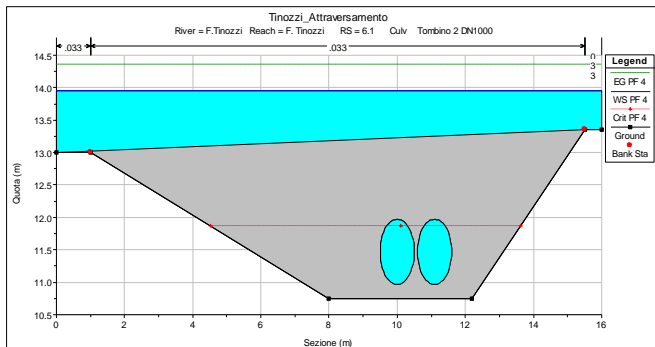


Fig. 1.11- sez. 6.1 – Tr=200 anni

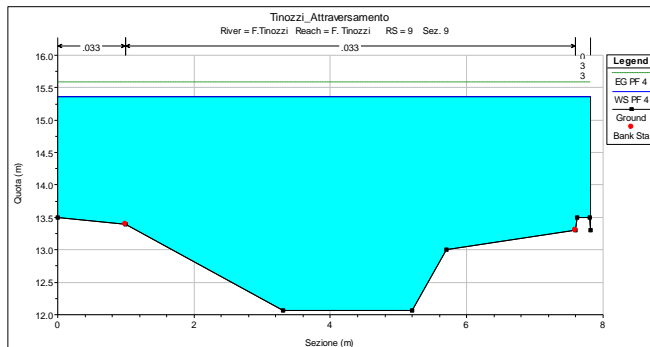


Fig. 1.15- sez. 9 – Tr=200 anni



COMUNE DI NETTUNO  
RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  
MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  
RELAZIONE IDRAULICA

RLT-ES-002.2  
Pagina 18/25

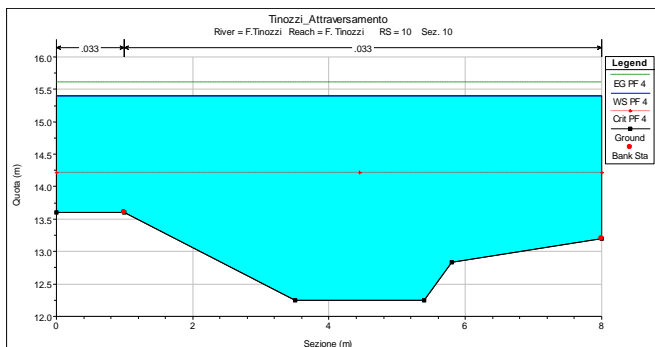


Fig. 1.16- sez. 10 – Tr=200 anni



### FOSSO DEI TINOZZI - ATTRAVERSAMENTO VIA S.MARIA – POST OPERAM

Fosso dei Tinozzi – Profili di moto permanente in forma tabellare – condizione post-operam

R.River	Sta	Profile	Q (m <sup>3</sup> /s)	Minl Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Top Area (m <sup>2</sup> )	Froude Width (m)	(-)
F. Tinozzi	6	PF 1	10.50	11.75	13.01	13.01	13.39	0.015590	2.74	3.84	5.05	1.00
F. Tinozzi	6	PF 2	21.00	11.75	13.47	13.47	13.96	0.014400	3.12	6.72	6.82	1.00
F. Tinozzi	6	PF 3	29.40	11.75	13.74	13.75	14.33	0.013013	3.38	8.80	8.00	0.97
F. Tinozzi	6	PF 4	39.40	11.75	13.99	14.00	14.70	0.013024	3.75	10.75	8.00	0.98
F. Tinozzi	5	PF 1	10.50	11.50	12.72	12.72	13.19	0.016584	3.02	3.48	3.79	1.01
F. Tinozzi	5	PF 2	21.00	11.50	13.35	13.35	13.86	0.014858	3.18	6.62	6.59	1.01
F. Tinozzi	5	PF 3	29.40	11.50	13.64	13.64	14.23	0.012366	3.42	8.79	7.90	0.96
F. Tinozzi	5	PF 4	39.40	11.50	13.90	13.90	14.61	0.011806	3.77	10.84	7.90	0.96
F. Tinozzi	4	PF 1	10.50	11.32	11.96	12.24	12.88	0.049881	4.24	2.47	4.25	1.78
F. Tinozzi	4	PF 2	21.00	11.32	12.37	12.74	13.57	0.039038	4.85	4.33	4.73	1.62
F. Tinozzi	4	PF 3	29.40	11.32	12.68	13.06	13.97	0.032932	5.04	5.83	5.09	1.50
F. Tinozzi	4	PF 4	39.40	11.32	13.02	13.40	14.38	0.028112	5.17	7.62	5.48	1.40
F. Tinozzi	3	PF 1	10.50	11.30	11.91	12.18	12.85	0.055268	4.30	2.44	4.06	1.77
F. Tinozzi	3	PF 2	21.00	11.30	12.40	12.70	13.53	0.037763	4.72	4.45	4.10	1.45
F. Tinozzi	3	PF 3	29.40	11.30	13.05	13.05	13.91	0.019706	4.12	7.14	4.17	1.00
F. Tinozzi	3	PF 4	39.40	11.30	13.58	13.58	14.44	0.017683	4.11	9.72	6.00	0.96
F. Tinozzi	2.1	tombino 4x1,5m										



COMUNE DI NETTUNO  
RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  
MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  
RELAZIONE IDRAULICA

RLT-ES-002.2  
Pagina 20/25

F. Tinozzi	2	PF 1	10.50	10.20	11.08	11.08	11.53	0.018011	2.95	3.56	4.06	1.00
F. Tinozzi	2	PF 2	21.00	10.20	11.60	11.60	12.30	0.019042	3.70	5.67	4.09	1.00
F. Tinozzi	2	PF 3	29.40	10.20	11.95	11.95	12.82	0.020011	4.13	7.11	4.12	1.00
F. Tinozzi	2	PF 4	39.40	10.20	12.33	12.33	13.38	0.021010	4.54	8.68	4.14	1.00
F. Tinozzi	1	PF 1	10.50	10.16	11.12	11.12	11.51	0.014369	2.76	3.80	4.94	1.01
F. Tinozzi	1	PF 2	21.00	10.16	11.38	11.60	12.22	0.024255	4.06	5.17	5.47	1.33
F. Tinozzi	1	PF 3	29.40	10.16	11.55	11.90	12.72	0.029507	4.79	6.14	5.82	1.49
F. Tinozzi	1	PF 4	39.40	10.16	11.73	12.21	13.26	0.034255	5.47	7.20	6.18	1.62
F. Tinozzi	0	PF 1	10.50	9.95	10.84	10.91	11.32	0.019154	3.07	3.42	4.69	1.15
F. Tinozzi	0	PF 2	21.00	9.95	11.37	11.40	11.96	0.014472	3.39	6.20	5.71	1.04
F. Tinozzi	0	PF 3	29.40	9.95	11.66	11.71	12.36	0.014460	3.71	7.93	6.26	1.05
F. Tinozzi	0	PF 4	39.40	9.95	11.78	12.02	12.83	0.020268	4.54	8.69	6.48	1.25

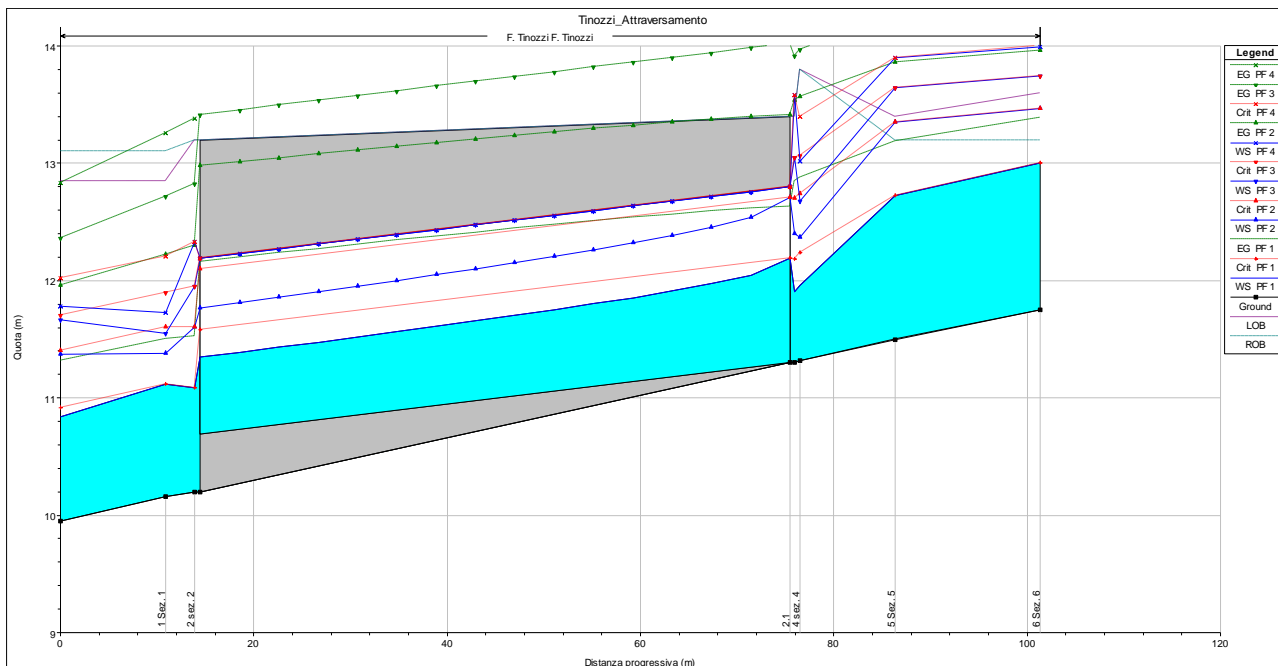


Fig. 2.1 – Profili idraulici moto permanente  $Tr=10$  (post operam)

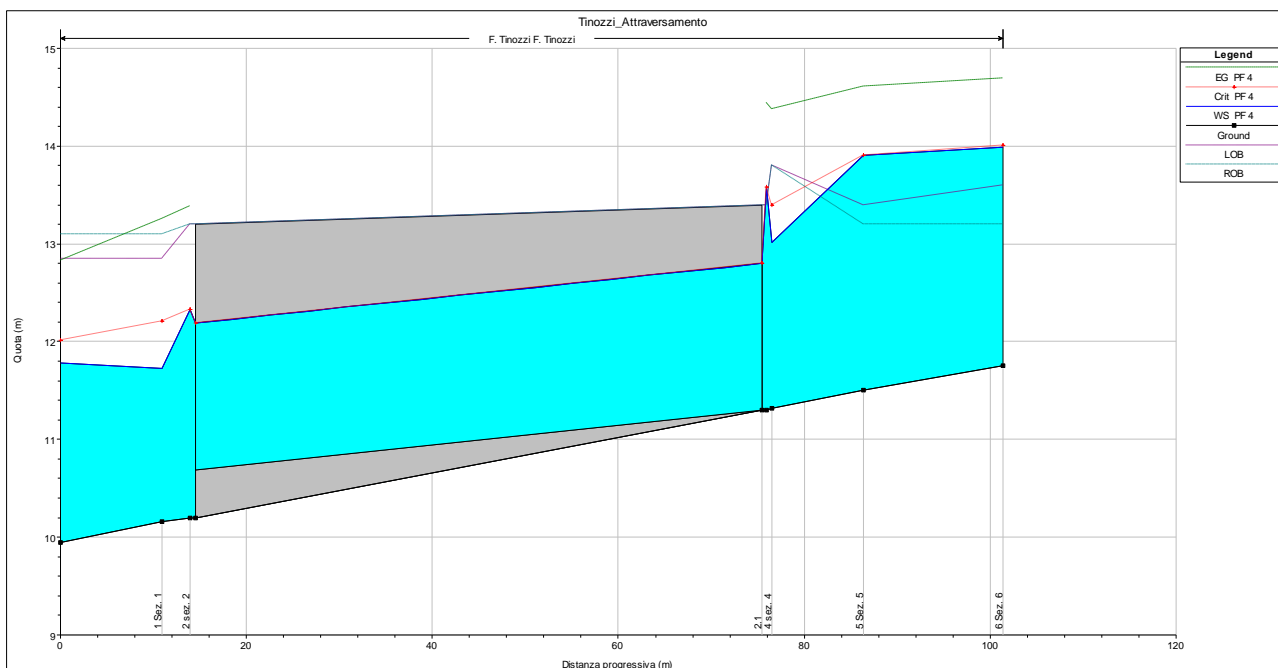


Fig. 2.2 – Profilo idraulico moto permanente  $Tr=200$  (post operam)



COMUNE DI NETTUNO  
RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  
MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  
RELAZIONE IDRAULICA

RLT-ES-002.2  
Pagina 22/25

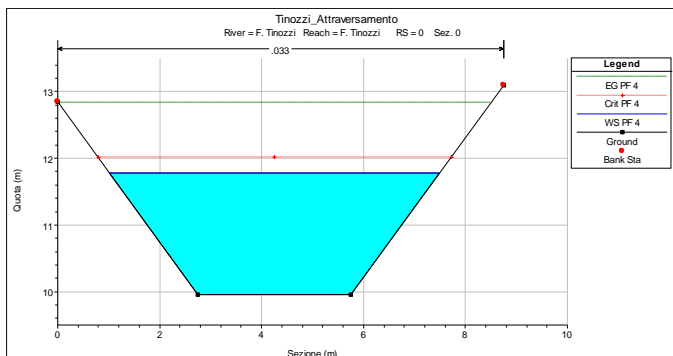


Fig. 2.3- sez. 0 – Tr=200 anni (post operam)

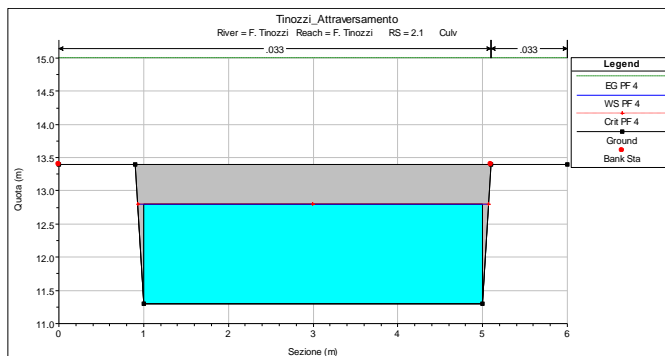


Fig. 2.7- sez. 2.1– Tombino monte-Tr=200 anni (post operam)

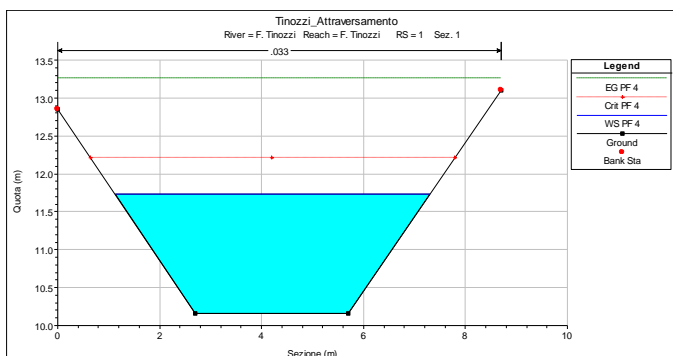


Fig. 2.4- sez. 1 – Tr=200 anni (post operam)

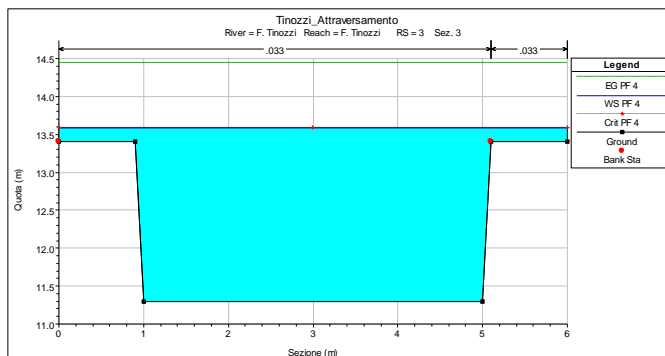


Fig. 2.8- sez. 3 – Tr=200 anni (post operam)

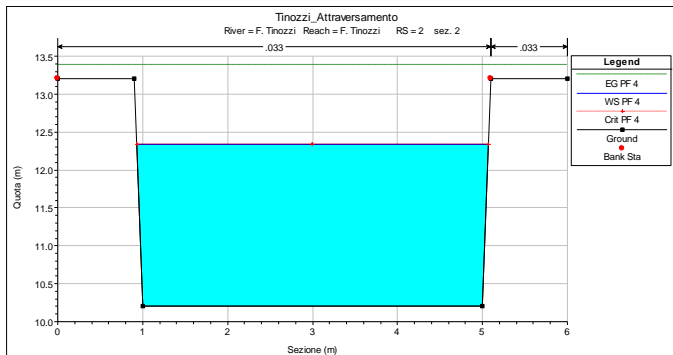


Fig. 2.5- sez. 2 – Tr=200 anni (post operam)

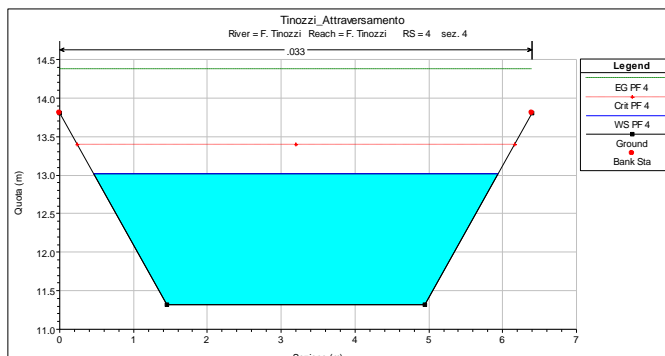


Fig. 2.9- sez. 4 – Tr=200 anni (post operam)

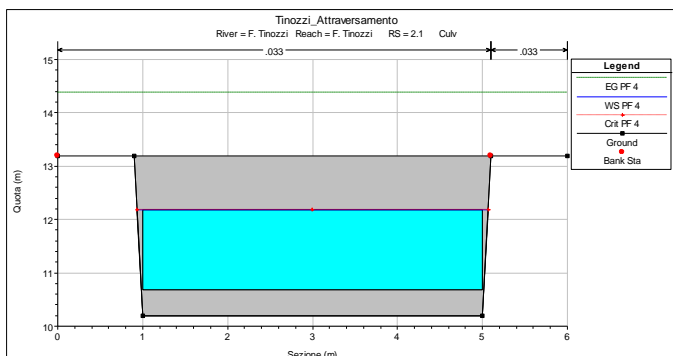


Fig. 2.6- sez. 2.1 –Tombino valle- Tr=200 anni (post operam)

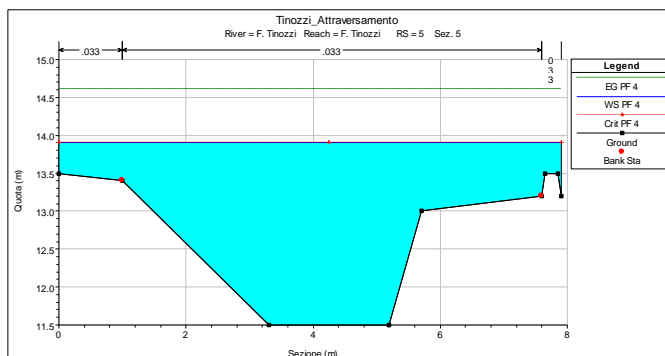


Fig. 2.10- sez. 5 – Tr=200 anni (post operam)

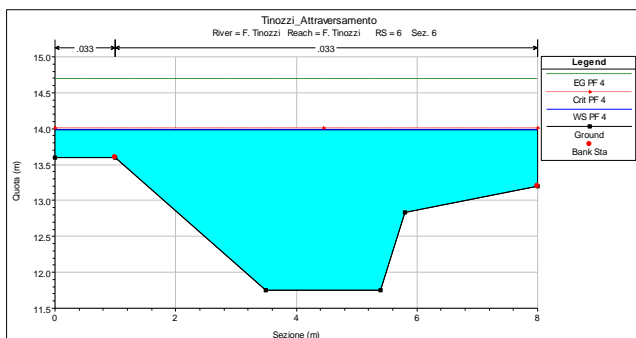


Fig. 2.11- sez. 0 – Tr=200 anni (post operam)

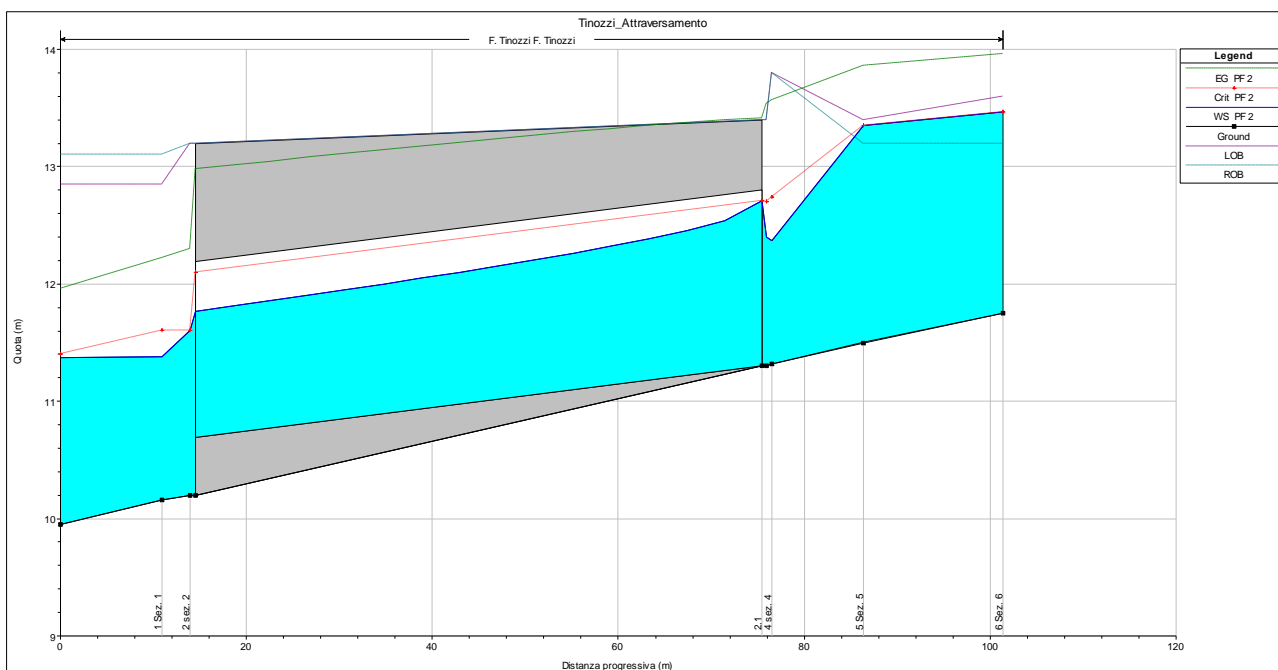


Fig. 2.12 – Profilo idraulico moto permanente Tr=50 (post operam)



COMUNE DI NETTUNO  
RECUPERO E POTENZIAMENTO DELL'ATTRAVERSAMENTO DI VIA SANTA  
MARIA SUL FOSSO DEI TINOZZI. PROGETTO ESECUTIVO-  
RELAZIONE IDRAULICA

RLT-ES-002.2  
Pagina 24/25

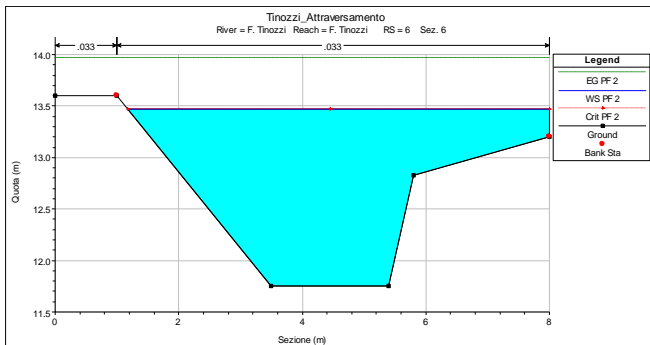


Fig. 2.13- sez. 6 – Tr=50 anni (post operam)

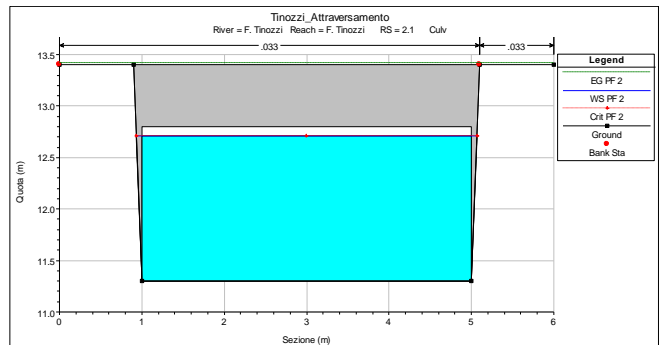


Fig. 2.17- sez. 2.1 – tombino monte - Tr=50 anni (post operam)

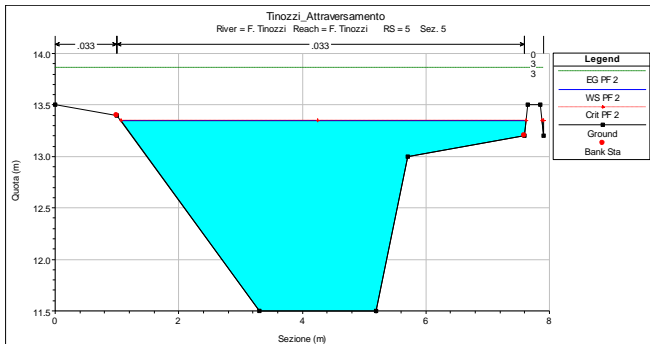


Fig. 2.14- sez. 5 – Tr=50 anni (post operam)

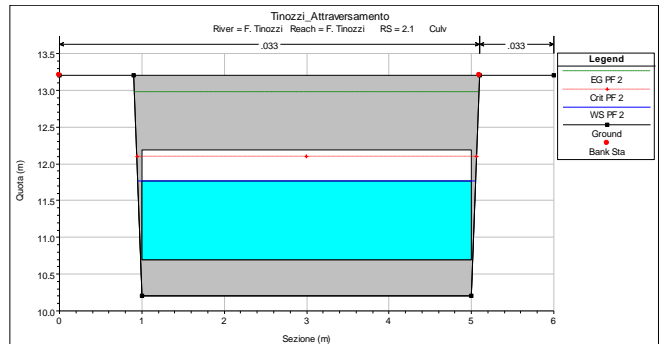


Fig. 2.18- sez. 2.1 – Tombino valle- Tr=50 anni (post operam)

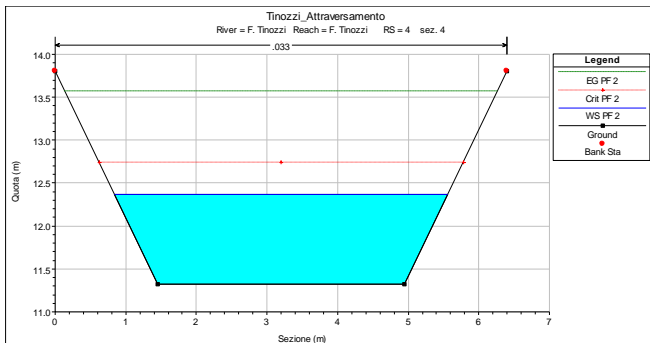


Fig. 2.15- sez. 4 – Tr=50 anni (post operam)

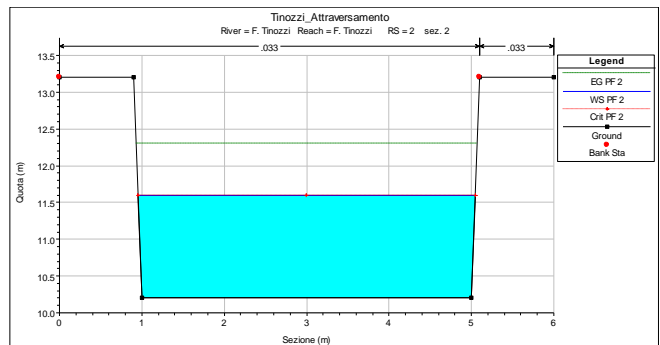


Fig. 2.19- sez. 2 – Tr=50 anni (post operam)

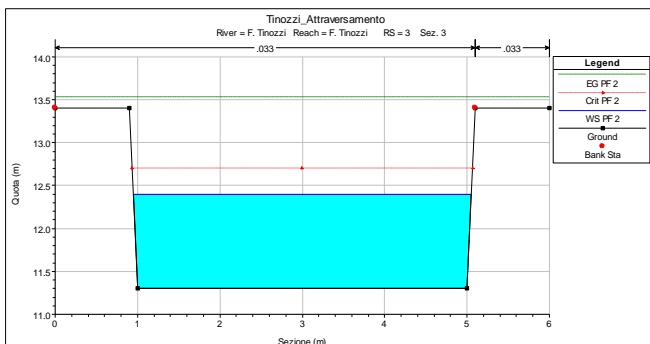


Fig. 2.16- sez. 3 – Tr=50 anni (post operam)

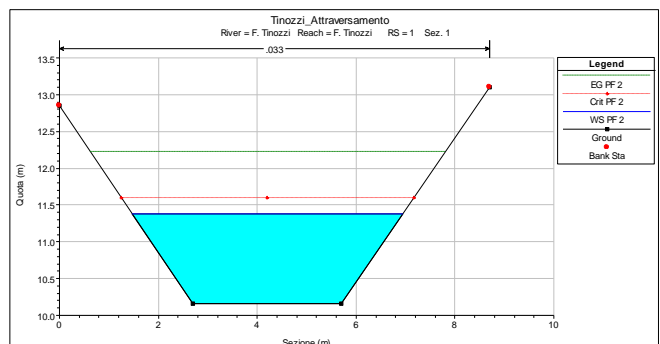


Fig. 2.20- sez. 1 – Tr=50 anni (post operam)



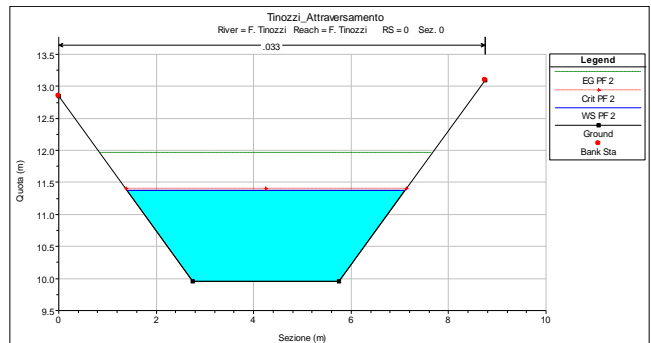


Fig. 2.21- sez. 0 – Tr=50 anni (post operam)