

# 2012

comune di brusciano - na

## PUC COMPONENTE strutturale

(L.R. n.16/2004 e Regolamento di Attuazione n.5/2011)

### QCA.1.15 - RELAZIONE IDRAULICA LAGNO CAMPAGNA

Adottato con delibera di G.M. n°67-12/04/2012

Adeguato alle osservazioni con delibera di G.M. n°110-01/08/2012

sindaco

dr. Angelo Antonio Romano

ass. all'urbanistica

arch. Francesco Maione

resp. ufficio di piano

arch. Gaetano D'Amore

coordinatore scientifico L.U.P.T. univ.di napoli

prof.arch. Salvatore Visone

studi tematici:

arch. Guido Grosso

supporto progetto puc e vas

arch.Santina Calabrese

studio acustico

geol.Giovanni De Falco

studio geologico

ing. Antonio De Falco

studio idraulico

dr.Marco Bellucci

studio agronomico

arch. Tommaso Napolitano

elaborazioni programmatiche

geol. Giovanni Sposito

rilievo topografico



# RELAZIONE IDRAULICA

## 1. Premesse

Per l'analisi del comportamento idraulico del tratto di alveo oggetto di questo studio, in corrispondenza del deflusso delle portate calcolate in base all'analisi idrologica, si è utilizzato il software HEC-RAS rel. 4.1; tale software consente di tenere in conto della effettiva geometria dell'alveo, compresi i restringimenti, le soglie di fondo, ponticelli, traverse ad altre strutture idrauliche che possono individuarsi dal rilievo topografico.

Nei successivi paragrafi si riporta l'inquadramento dell'area oggetto di tale studio e la descrizione dei modelli matematici utilizzati da HEC-RAS.

## 2. Inquadramento dell'area

L'area oggetto di questo studio si trova all'interno del Comune di Brusciano (Comune appartenente al Bacino di competenza dell'Autorità Nord-Occidentale) nella zona settentrionale dello stesso Comune.

Tale area, pur non essendo stata dichiarata a rischio idraulico come si evince dalla figura 1, estratta dalla carta del rischio, è stata considerata, dall'Autorità di Bacino Nord-Occidentale, meritoria di uno studio idraulico di dettaglio.

Infatti, la medesima Autorità di Bacino ha individuato lungo il tracciato del Lago Campagna due punti di crisi idraulica, in corrispondenza dei due attraversamenti denominati, negli elaborati di rilievo, "ponte 1" e "ponte 2" rispettivamente. Per questo motivo è stato aggiornato lo studio già precedentemente approvato dall'Autorità di Bacino con parere del Comitato Istituzionale della seduta del 16 febbraio 2006 (progetto identificato con il n° 1984). L'aggiornamento dello studio ha previsto un nuovo rilievo esteso al tratto di competenza del Comune di Brusciano dell'alveo Campagna che ha costituito la base per l'aggiornamento del modello idraulico.

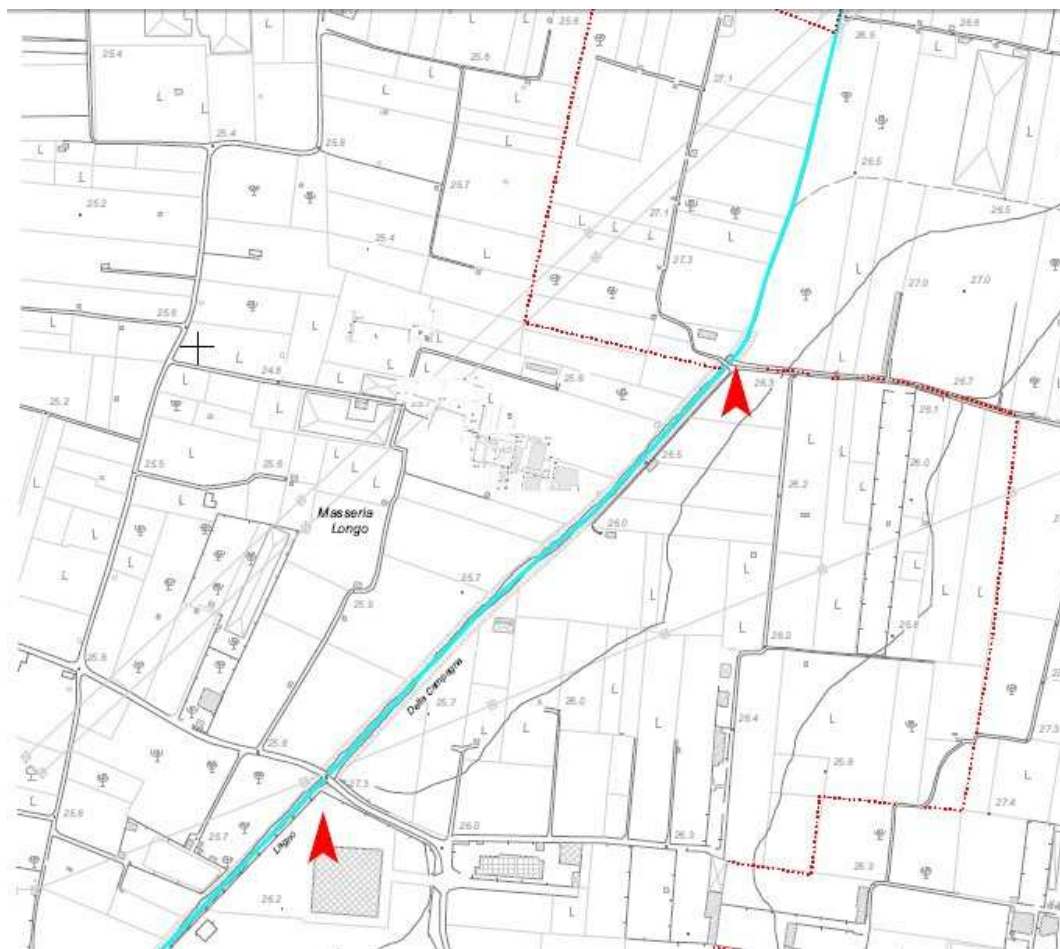


figura 1: estratto della carta del rischio dell' Autorità di Bacino Nord-Occidentale.

L'alveo Campagna, oggetto di questo studio di compatibilità è il ricettore delle acque meteoriche drenate superficialmente in un bacino imbrifero di circa 1 chilometro quadrato, ma in realtà, la sua funzione prevalente è quella di collettare le acque meteoriche di seconda pioggia proveniente dai sistemi di drenaggio urbano dei Comuni di Mariglianella e Brusciano.

Tale alveo, in passato, aveva una lunghezza superiore ma, essendo stato intercettato durante la sistemazione idraulica dei Regi Lagni, attualmente si presenta in parte interrato come si evince dalla planimetria di inquadramento del bacino idrografico. Tale interrimento ha determinato una sensibile riduzione del bacino imbrifero, infatti, le acque meteoriche che erano drenate dal tratto interrato non interessano più il lago in parola.

L'aggiornamento del rilievo ha evidenziato un peggioramento delle condizioni di conducibilità idraulica rispetto allo studio precedentemente

aprovato. Tale peggioramento è dovuto ad una notevole riduzione delle pendenze che variano da un massimo dell'1,6% nella parte iniziale ad un minimo dell'1‰ con la presenza di molti tratti in contropendenza dovuti alla presenza di accumuli di inerti. Questa minore pendenza, a parità di portata, ha causato l'incremento dei tiranti idrici, infatti, la corrente si presenta lenta lungo tutto il profilo idraulico.

Come è possibile notare dalle monografie allegate al rilievo topografico, l'alveo si presenta fitto di vegetazione sul fondo e sulle sponde, è possibile notare la presenza di rifiuti in alcune zone (carcassa di automobile alla sezione 10) che limitano il deflusso.

Ciò premesso, si specifica che sarebbe auspicabile una manutenzione del lago tesa a ripristinare la pendenza originaria dell'alveo eliminando soprattutto i tratti in contropendenza.

## **2.Modelli matematici**

HEC-RAS sfrutta un modello matematico di tipo unidimensionale esteso che consente, per assegnati valori di portate, di determinare i profili di corrente di qualsiasi alveo naturale o artificiale in condizioni di moto permanente e di moto vario, nel caso in questione l'analisi è stata effettuata in condizioni di moto permanente non dovendo tenere in conto degli effetti di laminazione delle esondazioni.

Nel caso di moto permanente, le due equazioni sulle quali si basa il modello matematico sono l'equazione del moto e quella di continuità:

a) Equazione del moto:

$$\frac{dE}{dx} = -J \quad (1)$$

b) Equazione di continuità:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \quad (2)$$

L'equazione del moto esprime un bilancio di tipo energetico; in pratica tale equazione afferma che la variazione d'energia specifica  $E$  della corrente (energia per unità di peso del liquido e per unità di percorso) è pari alle perdite continue derivanti dagli attriti interni dovuti all'esistenza di strati a differenti velocità all'interno della massa fluida, rappresentati dal termine  $J$ . Inoltre HEC-RAS considera anche le perdite d'energia dovute alla contrazione e/o all'espansione tra due sezioni successive.

L'equazione della continuità esprime, a sua volta, un bilancio tra le masse entranti ed uscenti da un tronco elementare d'alveo di lunghezza  $dx$ . Nell'ipotesi, veritiera per le correnti a pelo libero, in cui la densità del fluido risulti costante, il suddetto bilancio si può effettuare indifferentemente tra masse o, come nel caso in esame, tra volumi d'acqua in ingresso ed uscita dal tronco. In condizioni di moto permanente ed in assenza di portate laterali in ingresso ed uscita, la suddetta equazione si può scrivere nella seguente maniera:

$$\frac{dQ}{dx} = 0 \Leftrightarrow Q = \text{cost.} \quad (3)$$

con il valore della costante variabile da tronco a tronco.

HEC-RAS, inoltre, utilizza anche l'equazione del momento:

$$\sigma \cdot \xi + \frac{Q \cdot v}{g} = \text{cost.} \quad (4)$$

nella quale  $\sigma$  è la sezione idraulica,  $\xi$  è l'affondamento del baricentro della sezione idrica.

Tale equazione si utilizza in quelle situazioni in cui il profilo di corrente è rapidamente variabile come nei risalti idraulici o nelle confluenze.

L'HEC-RAS, inoltre, è capace di valutare gli effetti di varie ostruzioni in alveo come ponti, tombini, argini ed altre strutture.

Il sistema d'equazioni differenziali costituito dalle equazioni (1) e (2) non si può risolvere in forma chiusa, infatti, il programma effettua una risoluzione numerica per differenze finite.

Discretizzando l'equazione (1) si può scrivere:

$$E_2 - E_1 = h_e \quad (5)$$

in cui l'energia specifica E pari a :

$$E = z + y + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

z= quota del terreno

y= tirante idrico

v= velocità media di portata

g= accelerazione di gravità

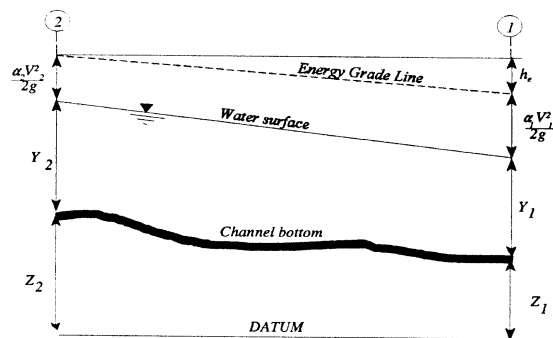
$\alpha$ = coefficiente correttivo per le velocità

Quindi la (1) si può scrivere nel modo seguente:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (7)$$

dove  $h_e$  sono le perdite di energia.

La figura seguente mostra i veri termini dell'equazione del moto.



**FIGURA 1**

Le perdite d'energia tra due sezioni trasversali si possono valutare con la seguente equazione:

$$h_e = l \cdot J + c \cdot \left( \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right) \quad (8)$$

dove:

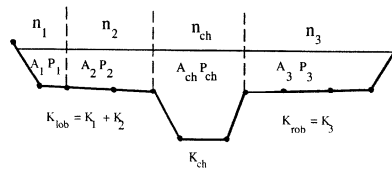
J= perdite d'energia per unità di lunghezza

c= coefficiente di perdita per espansione o contrazione laterale.

## 2.1 Conducibilità idraulica.

Per la determinazione della conducibilità totale in una sezione trasversale è necessario che la sezione idrica sia suddivisa in parti nelle quali la velocità è uniformemente distribuita.

L'approccio usato da HEC-RAS è di suddividere la sezione idrica delle banchine in quei punti dove esiste una variazione del coefficiente di Manning com'è illustrato nella figura:



**FIGURA 2**

La conducibilità idraulica per ogni suddivisione è calcolata con l'equazione di Manning:

$$Q = k \cdot i^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

$$k = \frac{1,486}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}} \quad (10)$$

dove la (10) è valida nel sistema di misura inglese ed inoltre:

k= conducibilità idraulica per ogni suddivisione.

n= coefficiente di attrito di Manning per la suddivisione.

A= sezione idrica

R= raggio idraulico.

Il programma somma tutte le portate nelle suddivisioni delle banchine per avere una portata totale per la banchina sinistra ed una per la banchina destra.

La conducibilità idraulica per il canale principale si valuta senza nessuna suddivisione. In questo caso il coefficiente di Manning è valutato con la seguente equazione:

$$n_c = \left[ \sum_{i=1}^p \frac{(P_i \cdot n_i^{1.5})}{P} \right]^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

dove:

$n_c$ = il coefficiente equivalente di Manning  
 $P_i$ = perimetro bagnato  $i^{\text{esimo}}$   
 $n_i$ = coefficiente di Manning associato a questo  
 $P$ = perimetro bagnato dell'intero canale principale

## 2.2 Valutazione del coefficiente di Manning

Per un corretto calcolo del profilo di corrente è di fondamentale importanza la valutazione del coefficiente di Manning. Il valore di tale coefficiente  $n$  è molto variabile e dipende da numerosi fattori come: l'attrito della superficie; la presenza di vegetazione; l'irregolarità del canale; il deposito e l'erosione; la forma e la dimensione del canale; la presenza o meno di trasporto di materiale in sospensione o di fondo.

Un'attenta valutazione dei valori di  $n$  per i canali naturali o artificiali si può trovare nel libro di Chow intitolato "Open Channel Hydraulics" dalla quale è stata estratta la tabella I.

Sebbene ci siano molti fattori che influenzano la scelta del valore di  $n$  per un canale, alcuni fattori più importanti sono il tipo e la dimensione dei materiali che compongono il letto e le sponde del canale e la forma del canale stesso. Cowan (1956) sviluppò un procedimento per la stima degli effetti di questi fattori per determinare il valore di  $n$  di Manning. Nel procedimento di Cowan, il valore di  $n$  è determinato dalla seguente equazione:

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \cdot m \quad (12)$$

dove:

$n_b$ =valore base di  $n$  per canali lineari costituiti da materiali naturali

$n_1$ = valore aggiunto per correggere le irregolarità della superficie

$n_2$ = valore per le variazioni della forma e delle dimensioni del canale

$n_3$ = valore per le ostruzioni

$n_4$ = valore per la vegetazione e le condizioni di moto

$m$ = fattore correttivo che tiene conto della presenza dei meandri.



Limerinos (1970) ricavò il valore di n in funzione del raggio idraulico e delle dimensioni del materiale di fondo.

L'equazione di Limerinos è la seguente:

$$n = \frac{0,0926 \cdot R^{\frac{1}{6}}}{1,16 + 2,0 \cdot \log\left(\frac{R}{d_{84}}\right)} \quad (13)$$

dove

R= raggio idraulico in piedi (il valore deve essere compreso tra 1 e 6 piedi)

$d_{84}$  = diametro, in piedi, delle particelle in corrispondenza del passante all'84% in volume. (Il valore deve essere compreso tra 1,5 mm e 250 mm).

L'equazione di Limerinos consente di avere una buona stima del valore base del coefficiente n. Tale valore base sarà corretto con altri fattori come è mostrato nel metodo di Cowan.

<b>Valori del coefficiente di Manning</b>			
Tipo di canale e descrizione	Minimo	Normale	Massimo
<i>Canale principale</i>			
Pulito, diritto, nessuna fenditura o buca profonda	0.025	0.030	0.033
Come sopra ma con più sassi e sterpaglie	0.030	0.035	0.040
Pulito, ma con alcune buche ed ostacoli	0.033	0.040	0.045
Come sopra ma con pietre ed erbaccie	0.035	0.045	0.050
Come sopra ma con zone di flusso bloccato	0.040	0.048	0.055
Come sopra ma con più pietre	0.045	0.050	0.060
Con tratti lenti e con buche profonde	0.050	0.070	0.080
Canali molto erbosi e con buche profonde	0.070	0.100	0.150
<i>Banchine</i>			
Pascoli senza boscaglia			
Erba bassa	0.025	0.030	0.035
Erba alta	0.030	0.035	0.050

Aree coltivate			
Senza raccolto	0.020	0.030	0.040
Raccolto maturo a righe	0.025	0.035	0.045
Raccolto a campo	0.030	0.040	0.050
Boscaglia			
Boscaglia sparsa	0.035	0.050	0.070
Bosco leggero ed alberi in inverno	0.035	0.050	0.060
Come sopra ma in estate	0.040	0.060	0.080
Boscaglia fitta in inverno	0.045	0.070	0.110
Come sopra ma in estate	0.070	0.100	0.160
Alberi			
Terra pulita con ceppi d'albero senza germogli	0.030	0.040	0.050
come sopra ma con germogli	0.050	0.060	0.080
Fitte foreste di alberi da legna, pochi alberi bassi con poco sottobosco e con il flusso sotto i rami	0.100	0.120	0.160
Come sopra ma con il flusso tra i rami	0.100	0.120	0.160
Salici densi	0.120	0.150	0.200
Corsi montani, senza vegetazione nel canale, con le sponde molto pendenti, con alberi e boscaglia sulle sponde fuori terra			
Letto: ghiaia, ciottoli ed alcuni massi	0.030	0.040	0.050
Letto: ciottoli con grossi massi	0.040	0.050	0.070

Tabella I: valori del coefficiente di Manning per canali naturali.

### 2.3 Valutazione del coefficiente correttivo $\alpha$ .

Poiché HEC-RAS è un programma che utilizza un modello unidimensionale per il calcolo dei profili di corrente, è necessario valutare un coefficiente correttivo per l'energia cinetica che tenga conto dei diversi valori della stessa all'interno di una sezione trasversale. La figura successiva mostra come si ottiene il coefficiente  $\alpha$  per una sezione trasversale che presenta un canale principale e una banchina destra.

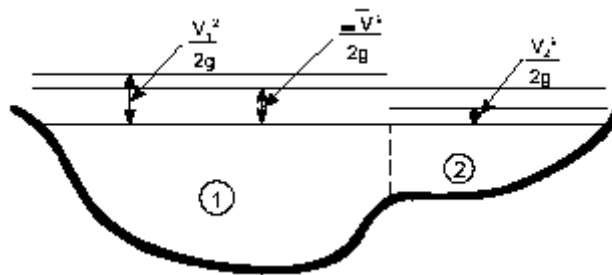


FIGURA 3

Il coefficiente è calcolato effettuando una media pesata sulle portate della velocità media di portata con l'espressione seguente:

$$\frac{\alpha \cdot \overline{v^2}}{2 \cdot g} = \frac{Q_1 \cdot \left( \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \right) + Q_2 \cdot \left( \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \right)}{Q_1 + Q_2} \quad (15)$$

che è uguale a

$$\alpha = \frac{Q_1 \cdot V_1^2 + Q_2 \cdot V_2^2}{(Q_1 + Q_2) \cdot V^2} \quad (16)$$

quindi in generale si può scrivere:

$$\alpha = \frac{[Q_1 \cdot V_1^2 + Q_2 \cdot V_2^2 + \dots + Q_N \cdot V_N^2]}{Q \cdot V^2} \quad (17)$$

## 2.4 Valutazione delle perdite di energia per unità di lunghezza.

La valutazione di  $J$  è fatta per ogni sezione trasversale con l'equazione di Manning come segue:

$$J = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (18)$$

Il problema è come valutare il suo valore medio all'interno del tronco di calcolo. I testi d'idraulica consigliano, in genere, di fare riferimento ad una media dei valori di  $J$  calcolabili rispettivamente in corrispondenza della sezione iniziale e finale del tronco. Tale media potrà essere una media aritmetica, geometrica o armonica in funzione delle condizioni di corrente.

### 2.4.1 Valutazione delle perdite dovute alla contrazione o all'espansione del canale.

Le perdite per contrazione o espansione sono valutate con la seguente equazione:

$$h_0 = C \cdot \left| \frac{\alpha_1 \cdot v_1^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_2 \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right| \quad (19)$$

dove  $C$  è il coefficiente di contrazione o espansione.

Quando le sezioni del fiume non sono molto diverse tra loro e la corrente è una corrente lenta allora i coefficienti di contrazione ed espansione sono rispettivamente dell'ordine di 0,3 e 0,5.

In ogni modo nella seguente tabella sono indicati i valori dei due coefficienti per correnti lente per diverse condizioni del moto.

<b>Coefficiente di contrazione ed espansione laterale per correnti lente.</b>		
<i>Tipo di transizione</i>	<i>Contrazione</i>	<i>Espansione</i>
Transizioni graduali	0.1	0.3
Sezioni con ponti	0.3	0.5
Transizioni brusche	0.6	0.8

Per quanto riguarda le correnti veloci i due coefficienti sono più bassi; per esempio per canali nei quali le sezioni trasversali non sono molto diverse tra di loro i coefficienti di contrazione ed espansione possono essere posti uguali a zero.

Quelle situazioni in cui c'è una leggera modificazione delle forme del canale, tali coefficienti si possono porre uguale a 0,1. Infine, in quei casi in cui la geometria è molto variabile il coefficiente di contrazione si può porre uguale a 0,1 e quello d'espansione a 0,2.

## **2.5 Procedura di calcolo.**

Il profilo di corrente in una determinata sezione si calcola attraverso una soluzione per tentativi dell'equazione dell'energia.

La procedura è la seguente:

- 1) Si ipotizza un tirante idrico nelle sezioni più in alto (o in quelle più in basso se si sta calcolando un profilo di corrente lenta).
- 2) In base al tirante idrico ipotizzato si calcola la corrispondente conducibilità idraulica e la corrispondente energia cinetica.
- 3) Con i valori calcolati nei punti 2 e 3 si risolve l'equazione dell'energia.
- 4) Si confronta il valore ipotizzato nel punto 1 con quello calcolato al punto 4, se i valori coincidono l'iterazione si ferma altrimenti si ripetono tutti i punti fino a quando non si verifica almeno uno scarto di 3mm (o un'altra tolleranza definita dall'utente).

Il programma fa un numero massimo d'iterazioni (il valore di default è 20), se il programma non converge entro il numero massimo d'iterazioni allora calcola il tirante di stato critico. Poi, il programma confronta se il tirante idrico con il minore errore (tra quelli trovati per tentativi all'interno dell'iterazione) è contenuto in una tolleranza predefinita (il valore di default è di 10 cm). Se accade questo, e inoltre, questo tirante è congruente con il tipo di corrente che si sta analizzando (si sta analizzando una corrente lenta il tirante deve essere superiore a quello di stato critico), allora il programma userà questo valore come corretto anche se ci sarà un warning che avverte di questo.

Se, al contrario, il tirante con il minor errore non rispetta la tolleranza predefinita, oppure non è congruente alla corrente analizzata, il programma in quella sezione assumerà il tirante di stato critico. Molto probabilmente il motivo per il quale il programma non converge è dovuto ad un numero non adeguato di sezioni introdotte.

## 2.6 Determinazione dello stato critico.

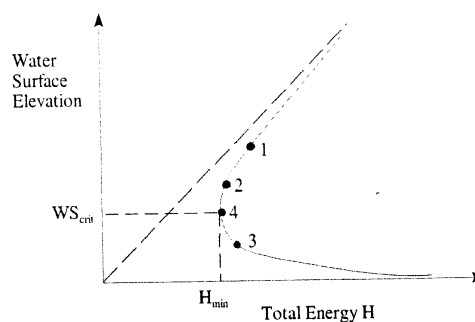
La condizione di stato critico in una sezione viene calcolata dal programma in base alla sua stessa definizione: lo stato critico è la condizione in corrispondenza della quale la corrente di portata  $Q$  viene a defluire, in una data sezione, con il minimo contenuto possibile di energia totale.

Il carico totale è definito dalla seguente equazione:

$$H = h + \frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g} \quad (20)$$

allora il tirante di stato critico viene trovato tramite l'equazione (20). Tal equazione è risolta iterativamente inserendo nel suo interno dei valori di tentativo per  $h$ . Il valore critico è quello in corrispondenza del quale  $H$  è minimizzato.

Il tutto è sintetizzato graficamente nella seguente figura:



**FIGURA 4**

Il valore di stato critico è quello in corrispondenza della tangente verticale al grafico che corrisponde al minimo contenuto di carico totale  $H$ .

## 2.7 Trattenute d'aria per correnti ultraveloci.

In quei canali che presentano un'elevata velocità media di portata, il tirante idrico può essere leggermente più alto di quanto ci aspettiamo, questo capita in quelle correnti veloci che presentano un numero di Froude superiore a 1,6. HEC-RAS tiene conto di queste eventualità con le seguenti due equazioni:

per numeri di Froude  $\leq 8,2$

$$\frac{D_a}{D} = 0,906 \cdot e^{0,0615 \cdot F} \quad (21)$$

per numeri di Froude  $> 8,2$

$$\frac{D_a}{D} = 0,620 \cdot e^{0,1051 \cdot F} \quad (22)$$

dove

$D_a$  = tirante idrico normale

$E$  = costante numerica pari a 2,718282

$F$  = numero di Froude

## 2.8 Regimi di corrente mista.

HEC-RAS può calcolare profili di correnti lente, veloci o miste. Nei profili di corrente mista HEC-RAS individua i risalti idraulici applicando l'equazione delle forze specifiche:

$$\frac{Q_1^2 \cdot \beta_1}{g \cdot A_1} + A_1 \cdot \bar{y}_1 = \frac{Q_2^2 \cdot \beta_2}{g \cdot A_2} + A_2 \cdot \bar{y}_2 \quad (23)$$

dove:

$Q$  = portata.

$\beta$  = coefficiente correttivo per il momento.

$A$  = sezione idrica.

$y$  = affondamento del baricentro della sezione idrica.

$g$  = accelerazione di gravità

quindi, in generale, si può scrivere la seguente equazione:

$$\frac{Q^2}{g \cdot A} + A \cdot \bar{y} = \text{cost.}$$

Il primo addendo dell'equazione è la componente dinamica (è un momento di una quantità di moto), il secondo termine è la componente statica (è il momento statico). I due termini, dimensionalmente, sono una forza per unità di peso d'acqua. Le correnti miste vengono calcolate da HEC-RAS nel seguente modo:

1) Per prima cosa è calcolato un profilo di corrente lenta partendo da una condizione al contorno nota di valle. Durante questa fase, tutte le sezioni dove il programma segnala una condizione di stato critico sono memorizzate per una successiva verifica.

2) Dopo, il programma inizia a calcolare un profilo di corrente veloce partendo da monte. Se la condizione al contorno è veloce allora il programma analizza se questa ha una forza specifica superiore del precedente tirante di corrente lenta calcolata in questa sezione. Se la condizione al contorno ha una forza specifica maggiore allora si considera vera questa e il programma calcola un profilo di corrente veloce da questa sezione verso valle. Se il tirante di corrente lenta ha una forza specifica maggiore allora il programma cerca a valle una sezione dove, durante il calcolo di corrente lenta, il programma è andato allo stato critico. In questa sezione usa il tirante di stato critico come condizione al contorno ed inizia a calcolare il profilo di corrente veloce.

3) Il programma calcola un profilo di corrente veloce fino a quando non trova una sezione trasversale che ha entrambi i tiranti veri, sia quello di corrente veloce che quello di corrente lenta, tra i due viene considerato come effettivo quello che ha una forza specifica superiore. Se il tirante veloce ha una maggiore forza specifica allora il programma continua calcolando una corrente veloce verso valle continuando, però, a confrontare le forze specifiche per le due condizioni. Quando il programma trova una sezione trasversale dove il tirante lento ha una maggiore forza specifica allora il programma impone un risalto idraulico tra questa sezione e quella precedente.

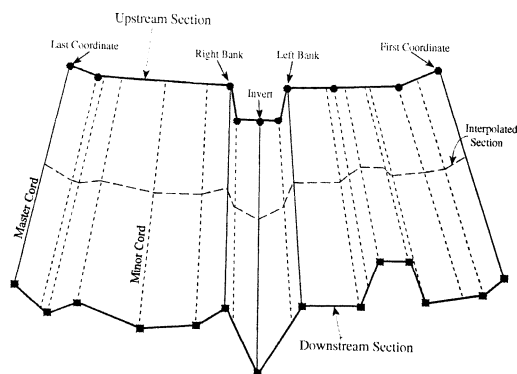
4) Il programma, poi, salta alla prossima sezione di valle dove è stata segnalata la condizione di stato critico nella fase 1 e ritorna alla fase 2.



## 2.9 Interpolazione delle sezioni trasversali.

Talvolta, è necessario aumentare il numero di sezioni trasversali, HEC-RAS possiede una routine che consente l'interpolazione di sezioni trasversali tra due sezioni vere introdotte dall'utente. Le sezioni trasversali interpolate sono spesso richieste quando la variazione di velocità è troppo grande per determinare in maniera accurata la variazione d'energia totale. Un'adeguata conoscenza di come varia l'energia totale è necessaria per modellare accuratamente le perdite di carico. Inoltre, quando le sezioni trasversali sono troppo lontane il programma potrebbe non trovare la soluzione dell'equazione dell'energia e quindi sarebbe imposto per default il tirante di stato critico.

La routine d'interpolazione geometrica di HEC-RAS è basata su un modello a corde com'è rappresentato nella figura successiva:



**FIGURA 5**

Il modello a corda in HEC-RAS consiste in una serie di segmenti chiamati corde che uniscono le coordinate di due sezioni successive, le corde sono classificate in corde principali e in corde secondarie.

Il numero di default di corde principali è cinque; le cinque corde principali sono definite con il seguente criterio:

- 1) La prima coordinata della sezione trasversale
- 2) Il limite sinistro del canale principale

- 3) Il punto più basso del canale principale
- 4) Il limite destro del canale principale
- 5) L'ultima coordinata della sezione.

La routine d'interpolazione non è limitata ad un prefissato numero di corde principali ma come minimo ci devono essere le due corde principali che delimitano il canale principale mentre non c'è un massimo; corde principali aggiuntive possono essere aggiunte dall'utente.

Le corde secondarie sono generate automaticamente dalla routine d'interpolazione. Una corda secondaria è generata prendendo una coordinata esistente in entrambe le sezioni successive e stabilendo una coordinata corrispondente nella sezione trasversale opposta facendo corrispondere una coordinata esistente o interpolandone una.

La progressiva nella sezione opposta è determinata valutando una distanza proporzionale a quella che la coordinata nota forma tra due corde principali, e poi facendo la stessa proporzione nella sezione opposta.

Il numero di corde secondarie sarà uguale alla somma di tutte le coordinate di entrambe le sezioni successive meno il numero di corde principali. Quando tutte le corde secondarie sono valutate, la routine può interpolare quante sezioni si vuole tra due sezioni successive.

La quota in un determinato punto di una corda è determinata interpolando linearmente le quote alla fine ed all'inizio di una determinata corda, in pratica la quota di un punto particolare è valutata facendo una media pesata sulla distanza, tale media è basata su quanto la sezione trasversale interpolata è lontana dalla sezione vera.

La routine interpola anche il coefficiente di Manning. Tale interpolazione è basata su un modello a corda simile a quello usato per l'interpolazione geometrica.

Le corde sono usate per unire i punti in cui c'è una variazione del coefficiente di Manning nelle sezioni vere.

Il numero di default di corde principali è quattro e queste sono localizzate nel seguente modo:

- 1) La prima coordinata della sezione trasversale

- 2) Il limite sinistro del canale principale
- 3) Il limite destro del canale principale
- 4) L'ultima coordinata della sezione.

Quando tra due sezioni trasversali ci sono più di tre valori di  $n$  allora saranno valutate anche delle corde secondarie alla stessa maniera di come fatto nell'interpolazione geometrica.

### **3. Costruzione del modello idraulico.**

Il modello idraulico del Lagno Campagna è stato costruito inserendo 15 sezioni geometriche estrapolate dal rilievo topografico di dettaglio eseguito dallo Studio Tecnico Sposito incaricato dal Comune di Brusciano. Le sezioni sono state rilevate mediamente ogni cento metri con un infittimento in corrispondenza delle particolarità come i due ponti di attraversamento per avere un maggiore dettaglio nella modellazione idraulica. Per quanto riguarda il valore del coefficiente di Manning, come è visibile dal rilievo fotografico del rilievo, le condizioni di manutenzione del Lagno non sono ottimali e per questo si è assegnato un valore variabile da 0.035 a 0.03. Sono state, inoltre, effettuate delle interpolazioni delle sezioni trasversali sfruttando la routine d'interpolazione geometrica di HEC-RAS.

Nella figura sei è rappresentato lo schema idraulico del Lagno Campagna con la disposizione delle sezioni trasversali, in particolare quelle in verde scuro sono le sezioni trasversali vere mentre quelle in verde chiaro sono le sezioni trasversali interpolate.

Dopo aver inserito le caratteristiche geometriche sono state inserite quelle idrologiche, tramite l'inserimento delle portate distribuite calcolate con il metodo di Nash utilizzando come tempi di ritardo quello calcolate con la formula di Rossi e le portate concentrate provenienti dai sistemi fognari di Mariglianella e Brusciano. Gli ultimi dati inseriti sono stati quelli relativi alle condizioni al contorno: poiché l'alveo presenta delle pendenze molto basse si è ipotizzato la sussistenza di una corrente lenta imponendo, quindi, come condizione al contorno di valle e l'assunzione del tirante di moto uniforme.. Dopo ciò, si è potuto

procedere con la simulazione calcolando i profili di corrente per  $T=20,100$  e  $300$  anni.

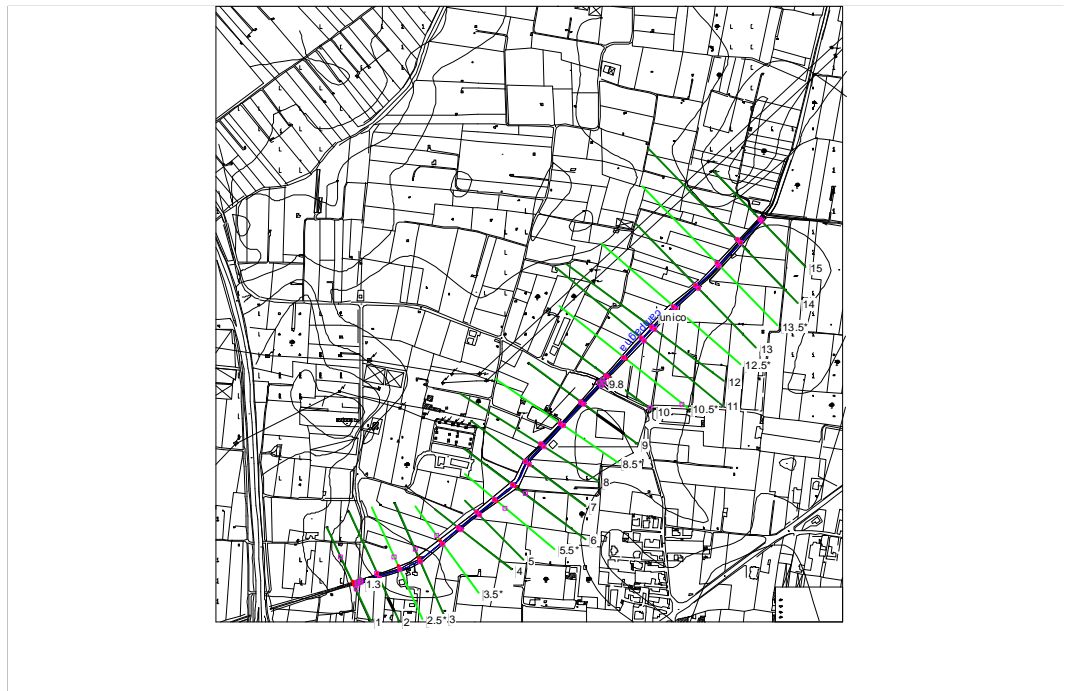


FIGURA 6

Dall'analisi dei profili di corrente calcolati si evince la presenza di esondazioni anche in corrispondenza delle portate con periodo di ritorno ventennale. Nelle figure da 7 a 23 sono rappresentate le sezioni del lago con le caratteristiche idrauliche a  $T=100$  anni:

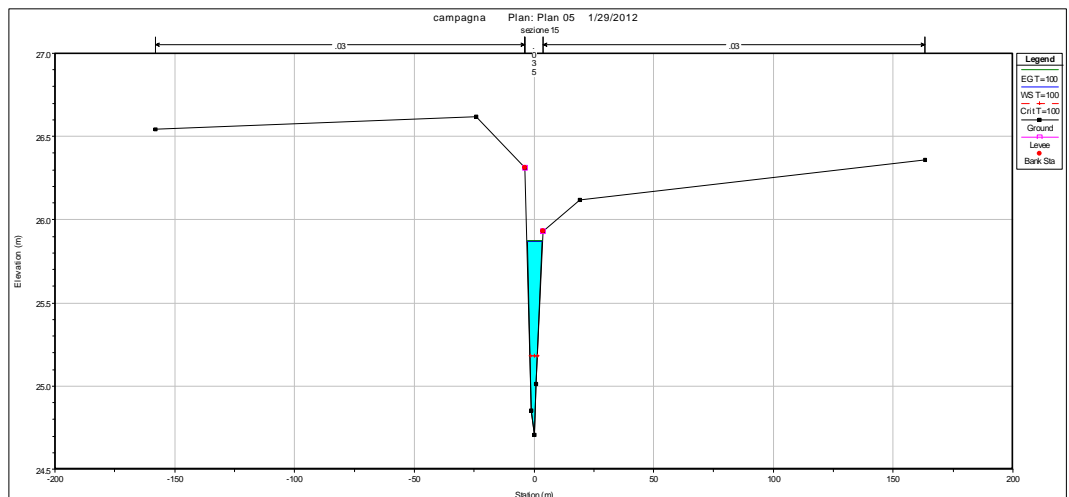


FIGURA 7

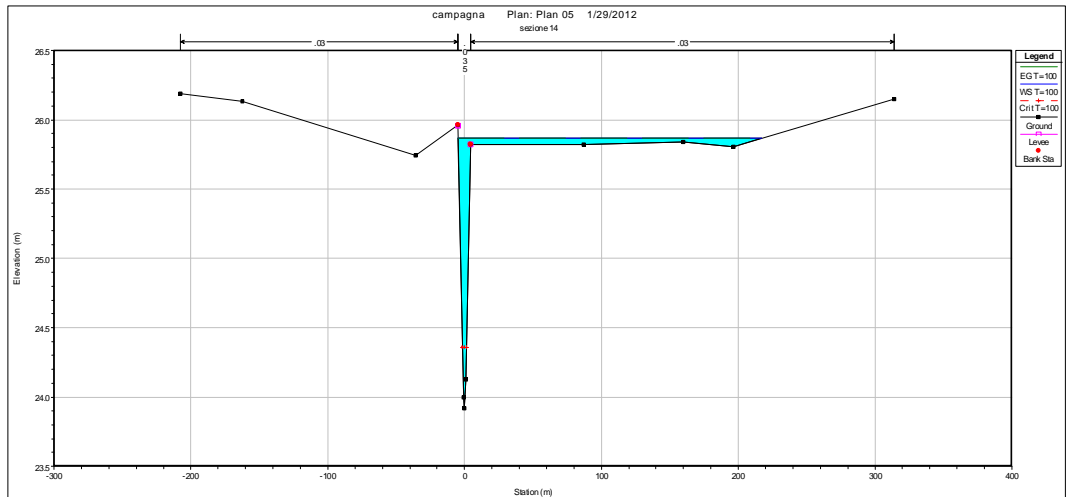


FIGURA 8

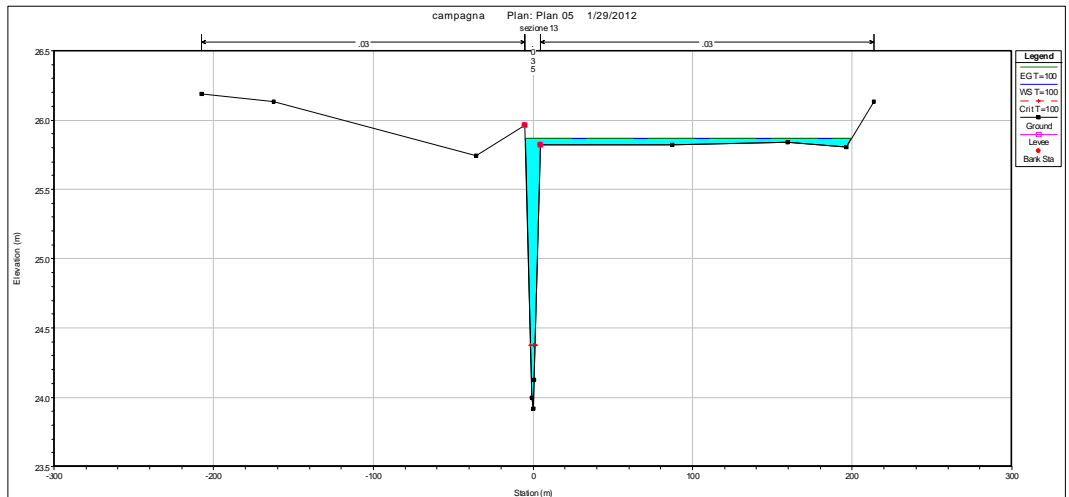


FIGURA 9

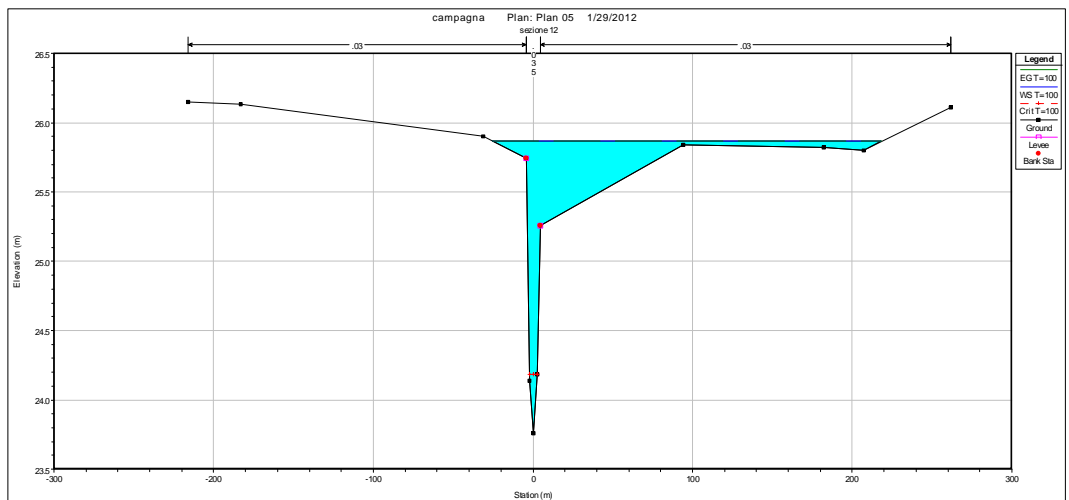


FIGURA 10

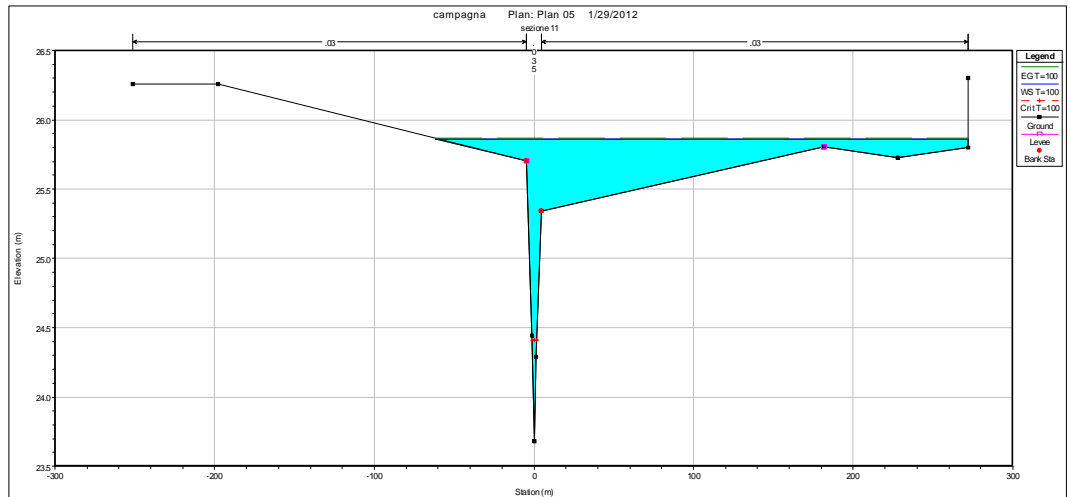


FIGURA 11

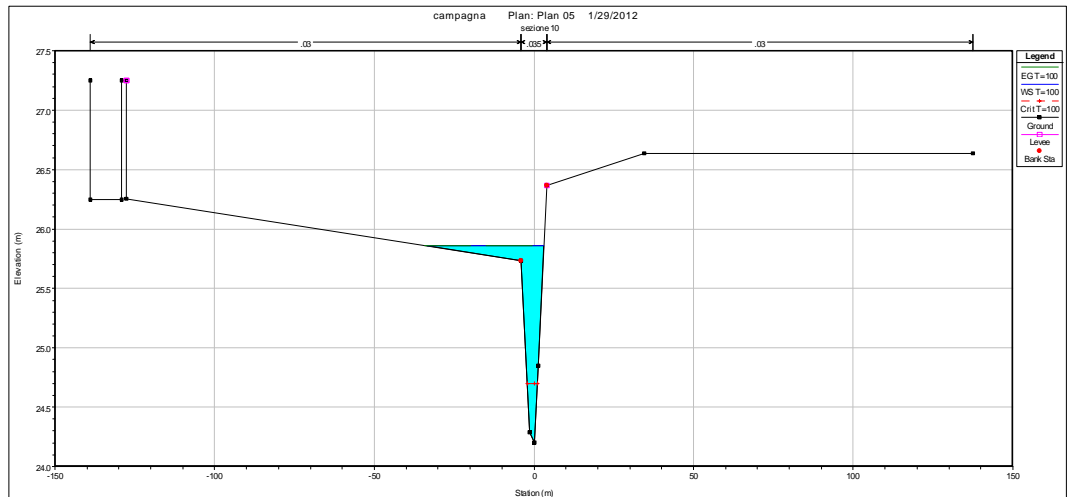


FIGURA 12

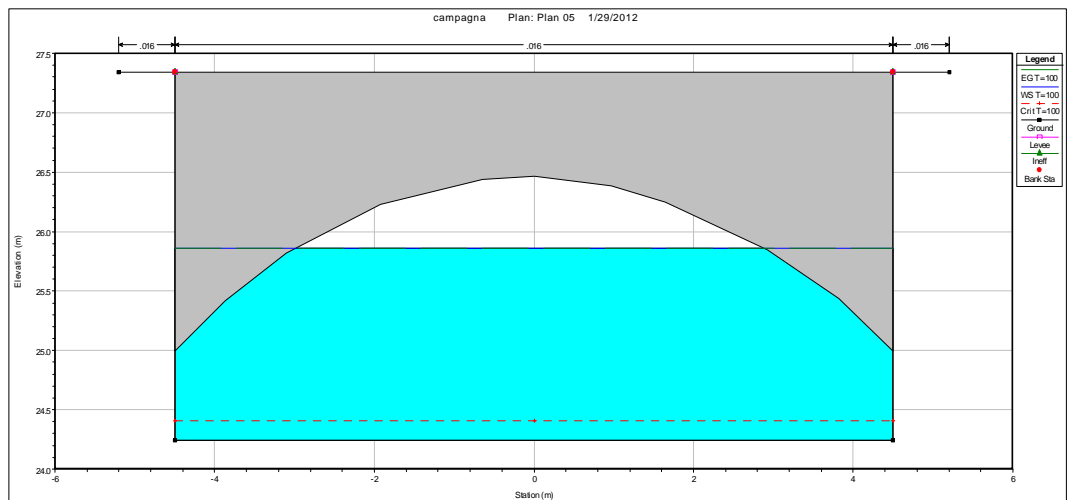


FIGURA 13

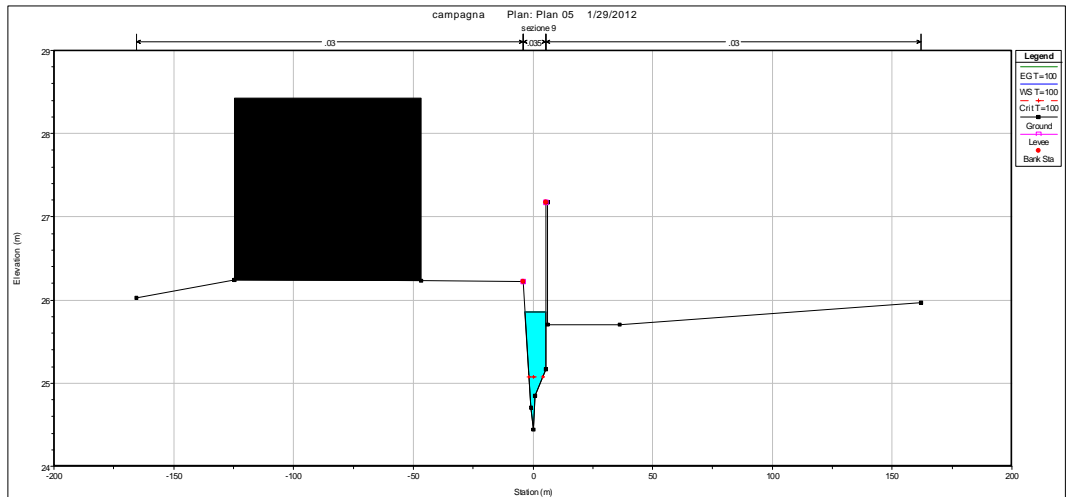


FIGURA 14

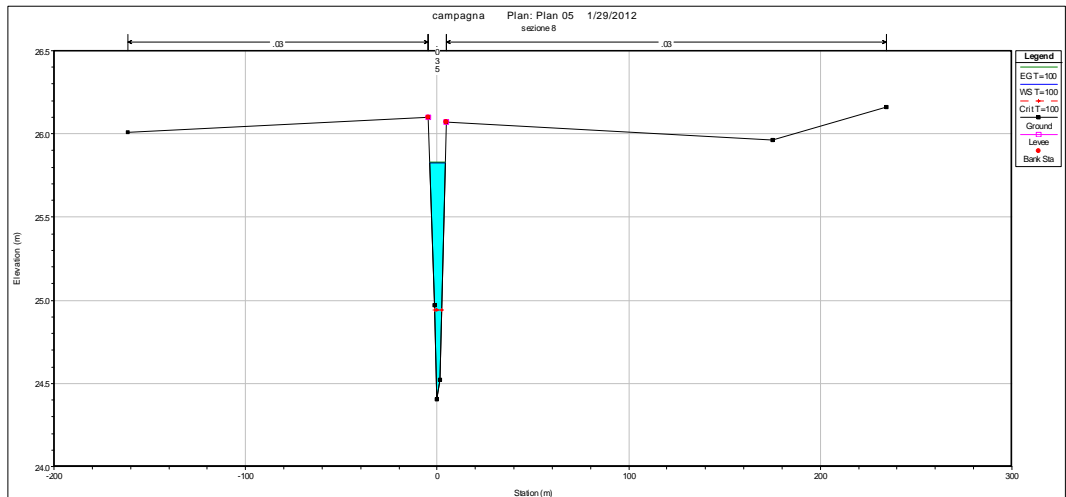


FIGURA 15

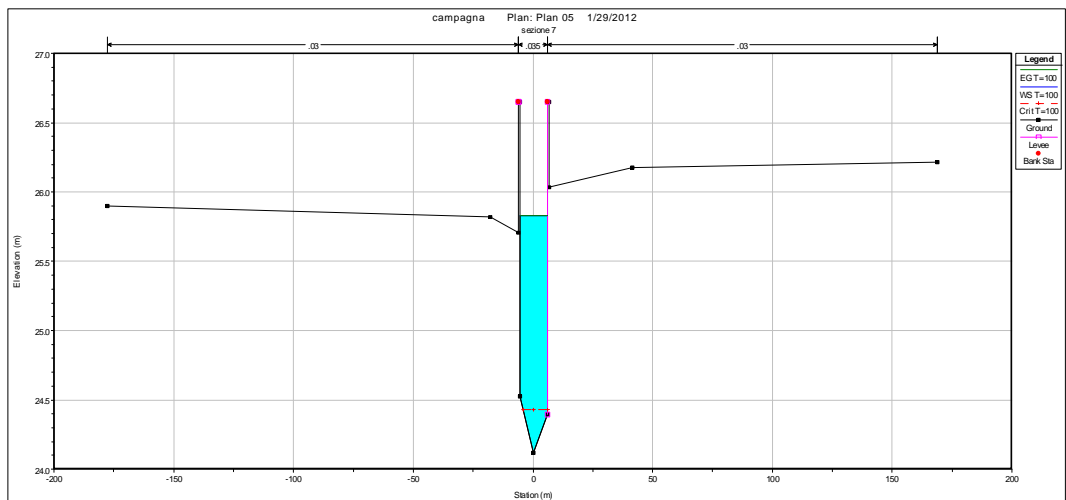


FIGURA 16

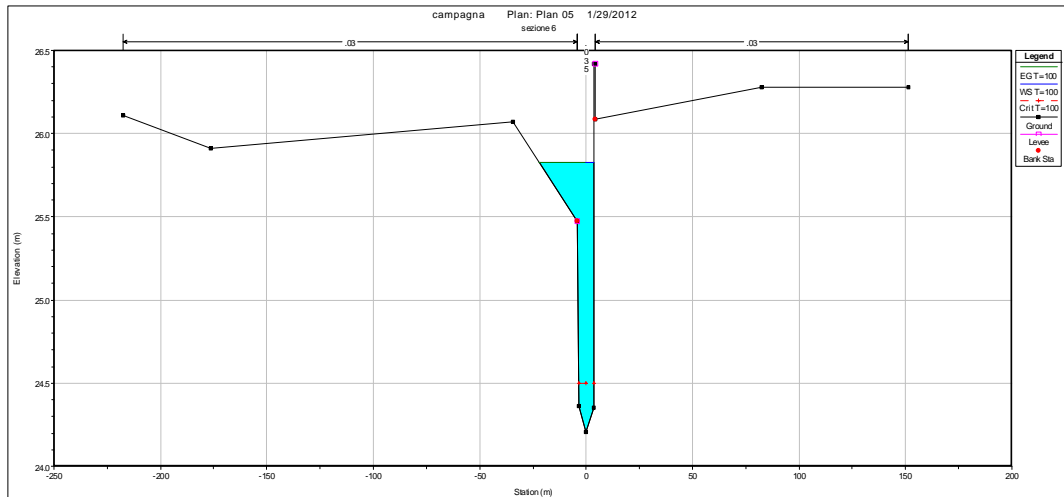


FIGURA 17

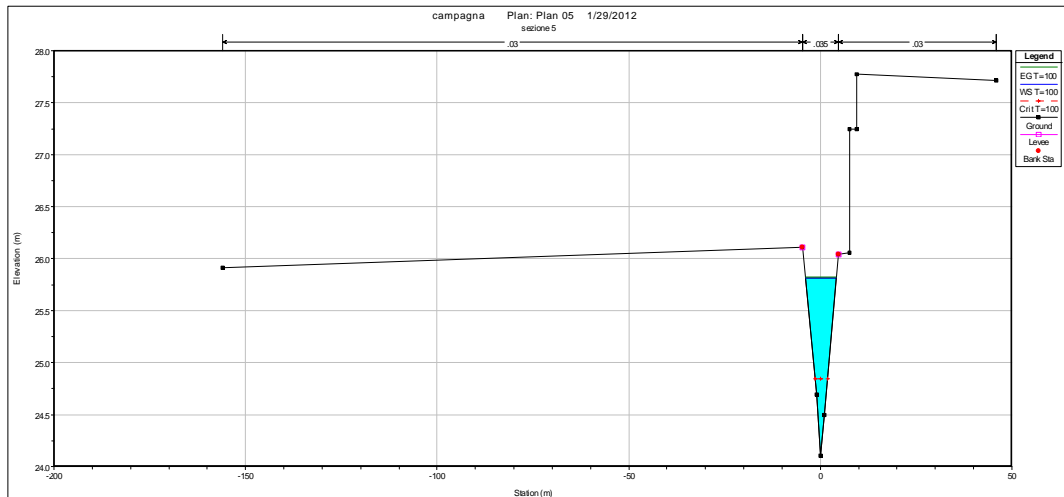


FIGURA 18

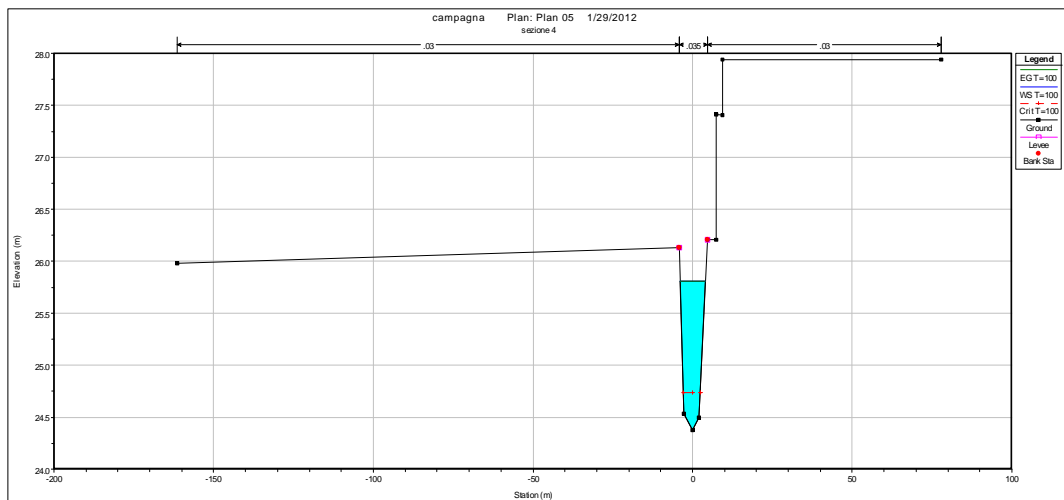


FIGURA 19



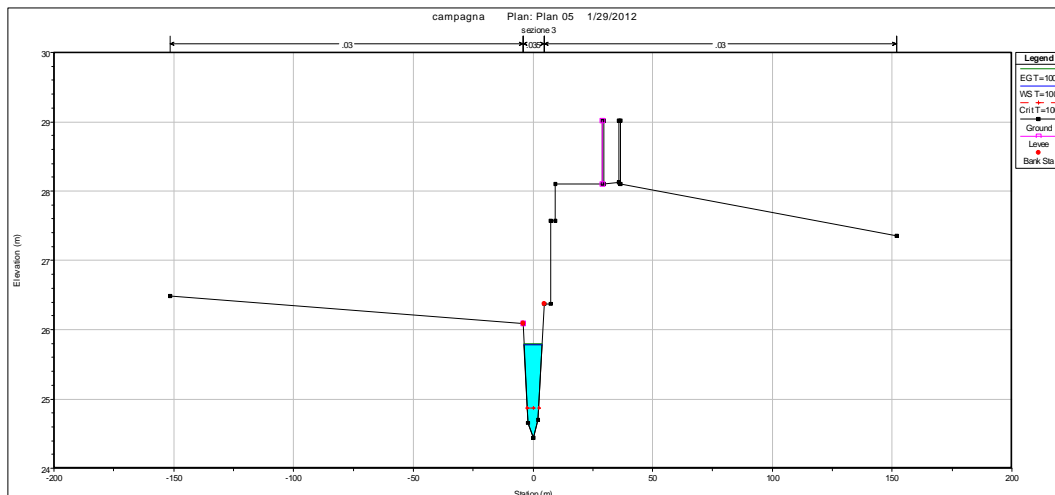


FIGURA 20

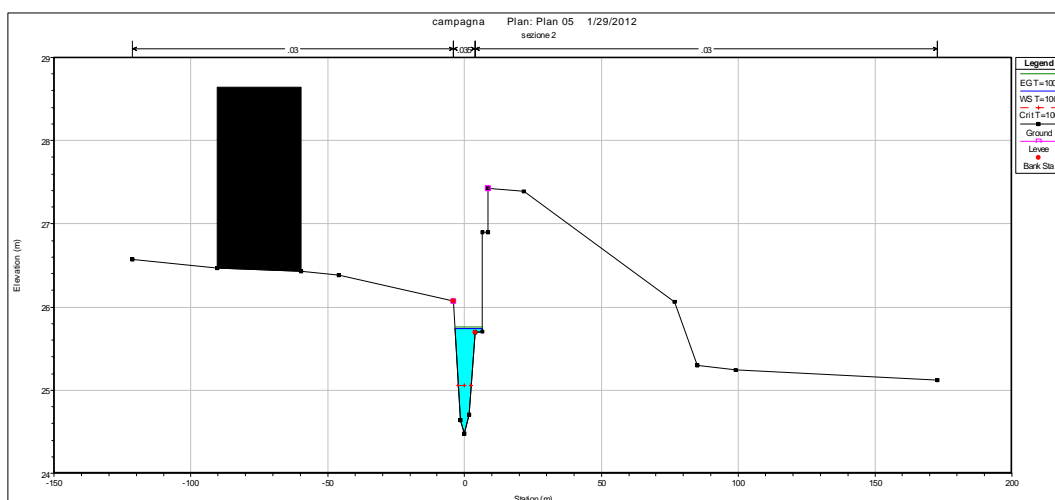


FIGURA 21

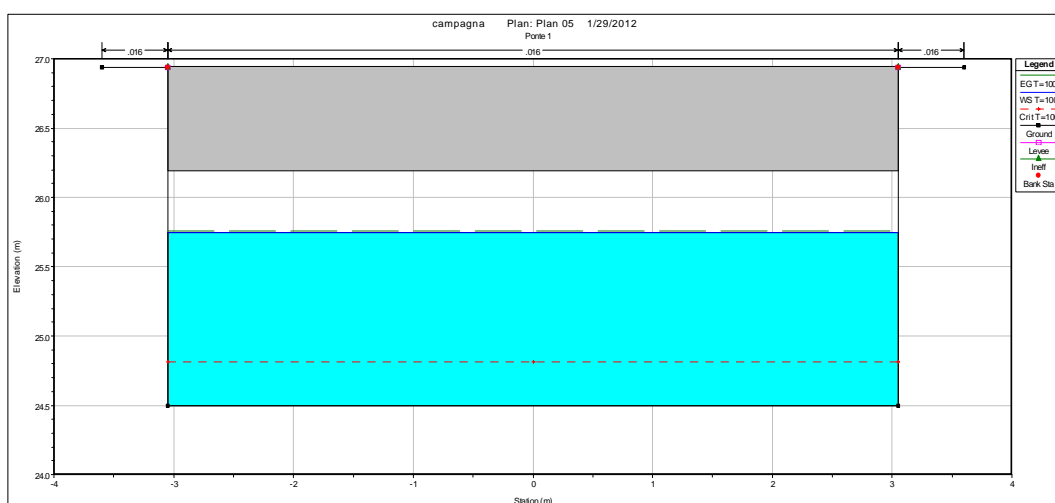
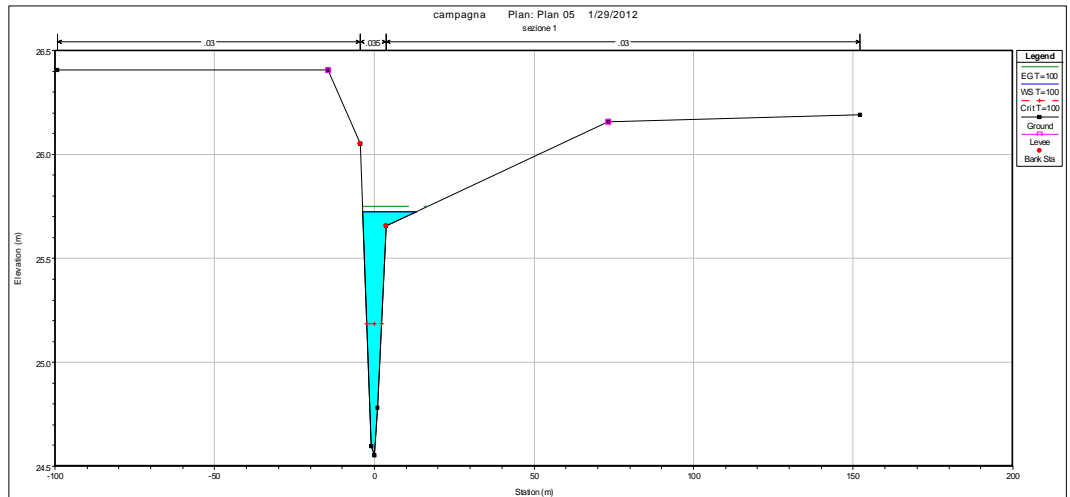
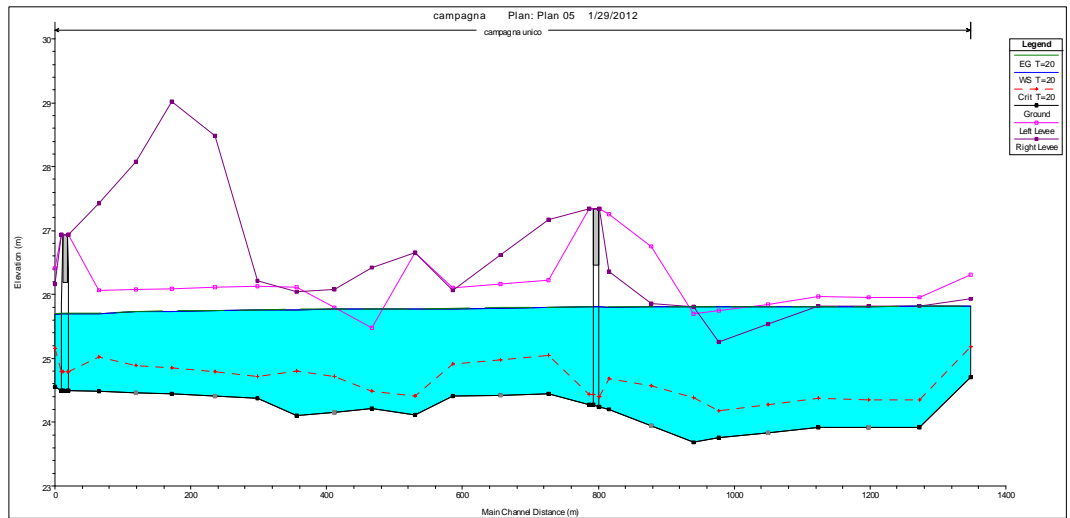


FIGURA 22

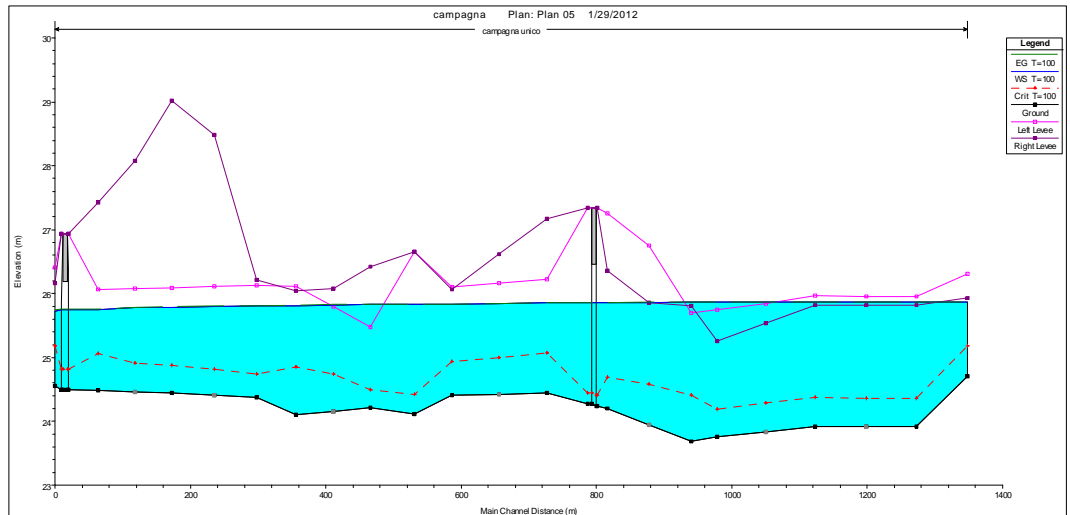


**FIGURA 23**

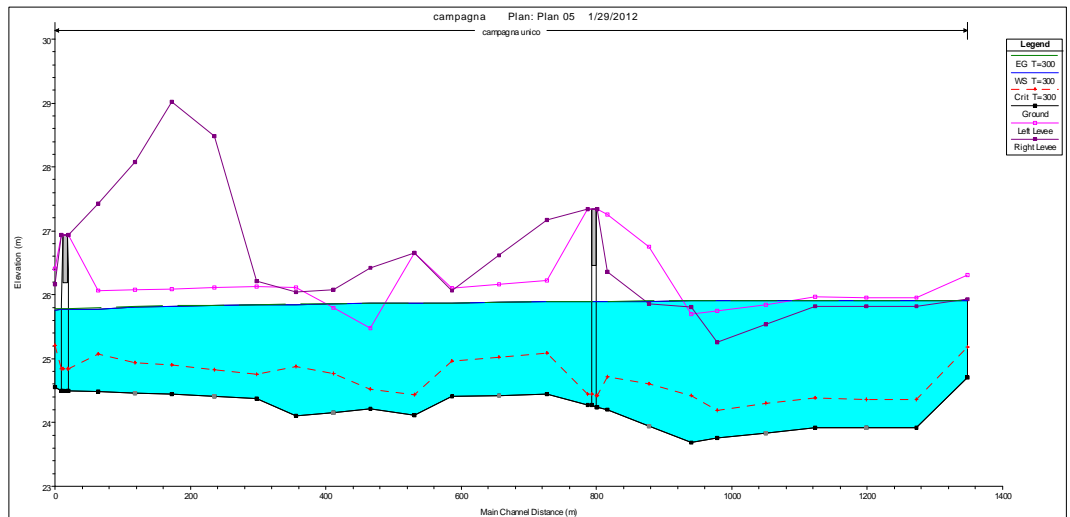
Nelle figure successive sono rappresentati, i profili di corrente in corrispondenza del deflusso delle portate per i tre periodi di ritorno presi in considerazione:



**FIGURA 24: profilo di corrente per T= 20 anni.**



**FIGURA 25: profilo di corrente per T= 100 anni.**



**FIGURA 26: profilo di corrente per T= 300 anni.**

Nelle tabella III sono rappresentate le caratteristiche idrauliche per il profilo di corrente calcolato per il Campagna per T= 20 anni, nella IV quelle per T=100anni e nella V quelle per T=300 anni.

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 Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	15	T=20	1.32	24.71	25.81	25.18	25.82	0.000347	0.36	3.64	6.03	0.15
unico	14	T=20	1.41	23.92	25.81	24.35	25.81	0.000026	0.14	9.9	9.32	0.04
unico	13.5*	T=20	1.41	23.92	25.81	24.35	25.81	0.000026	0.14	9.87	9.31	0.04
unico	13	T=20	1.49	23.92	25.81	24.37	25.81	0.000029	0.15	9.86	9.3	0.05
unico	12.5*	T=20	1.49	23.84	25.81	24.28	25.81	0.000011	0.1	21.61	83.94	0.03
unico	12	T=20	1.58	23.76	25.81	24.17	25.81	0.000004	0.07	36.81	115.71	0.02
unico	11	T=20	1.66	23.68	25.81	24.39	25.81	0.000005	0.06	57.76	313.75	0.02
unico	10.5*	T=20	1.66	23.94	25.81	24.56	25.81	0.000055	0.2	9.42	35.19	0.06
unico	10	T=20	1.75	24.2	25.8	24.67	25.8	0.000094	0.25	7.38	23.35	0.08
unico	9.8	T=20	1.75	24.24	25.8	24.4	25.8	0.000003	0.12	14.04	9	0.03
unico	9.7	Bridge										
unico	9.6	T=20	1.75	24.27	25.8	24.43	25.8	0.000003	0.13	13.75	9	0.03
unico	9	T=20	1.83	24.45	25.8	25.05	25.8	0.000129	0.26	6.97	8.61	0.09
unico	8.5*	T=20	1.83	24.43	25.79	24.98	25.79	0.000162	0.29	6.38	8.54	0.11
unico	8	T=20	1.87	24.41	25.77	24.91	25.78	0.000195	0.32	5.9	7.8	0.12
unico	7	T=20	1.92	24.12	25.77	24.41	25.77	0.000012	0.11	17.21	11.57	0.03
unico	6	T=20	1.96	24.21	25.77	24.48	25.77	0.000028	0.17	13.4	22.92	0.04
unico	5.5*	T=20	1.96	24.16	25.77	24.71	25.77	0.000066	0.22	8.8	8.19	0.07
unico	5	T=20	2	24.1	25.76	24.81	25.77	0.000185	0.32	6.28	7.78	0.11
unico	4	T=20	2.04	24.38	25.75	24.71	25.76	0.000085	0.25	8.14	7.88	0.08
unico	3.5*	T=20	2.04	24.41	25.75	24.78	25.75	0.000107	0.27	7.48	7.72	0.09
unico	3	T=20	2.09	24.44	25.74	24.85	25.74	0.000147	0.31	6.82	7.51	0.1
unico	2.5*	T=20	2.09	24.46	25.73	24.89	25.73	0.000187	0.33	6.26	7.33	0.12
unico	2	T=20	3.13	24.48	25.7	25.02	25.72	0.000579	0.56	5.64	8.09	0.2
unico	1.3	T=20	3.13	24.49	25.7	24.8	25.71	0.000057	0.43	7.34	6.1	0.12
unico	1.2	Bridge										
unico	1.1	T=20	3.13	24.49	25.7	24.8	25.71	0.000057	0.43	7.34	6.1	0.12
unico	1	T=20	3.17	24.55	25.68	25.15	25.7	0.001001	0.66	4.84	10.59	0.26

Tabella III: caratteristiche idrauliche profilo di corrente per T=20 anni.

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 Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	15	T=100	1.32	24.71	25.87	25.18	25.87	0.000275	0.33	3.97	6.29	0.13
unico	14	T=100	1.44	23.92	25.87	24.36	25.87	0.000018	0.12	19.19	222.02	0.04
unico	13.5*	T=100	1.44	23.92	25.87	24.36	25.87	0.000019	0.13	17.64	195.11	0.04
unico	13	T=100	1.56	23.92	25.87	24.38	25.87	0.000023	0.14	18	204.03	0.04
unico	12.5*	T=100	1.56	23.84	25.86	24.29	25.87	0.000009	0.1	31.73	258.82	0.03
unico	12	T=100	1.69	23.76	25.86	24.19	25.86	0.000004	0.07	47.75	243.31	0.02
unico	11	T=100	1.81	23.68	25.86	24.41	25.86	0.000003	0.05	75.83	333.27	0.01
unico	10.5*	T=100	1.81	23.94	25.86	24.58	25.86	0.000005	0.19	11.89	53.83	0.06
unico	10	T=100	1.93	24.2	25.86	24.7	25.86	0.000089	0.25	9.08	36.78	0.08
unico	9.8	T=100	1.93	24.24	25.86	24.41	25.86	0.000004	0.13	14.54	9	0.03
unico	9.7	Bridge										
unico	9.6	T=100	1.93	24.27	25.86	24.44	25.86	0.000004	0.14	14.26	9	0.03
unico	9	T=100	2.05	24.45	25.85	25.07	25.86	0.000133	0.27	7.46	8.72	0.09
unico	8.5*	T=100	2.05	24.43	25.84	25	25.85	0.000165	0.3	6.86	8.68	0.11
unico	8	T=100	2.11	24.41	25.83	24.94	25.83	0.000205	0.33	6.33	8.08	0.12
unico	7	T=100	2.18	24.12	25.83	24.43	25.83	0.000014	0.12	17.85	11.57	0.03
unico	6	T=100	2.24	24.21	25.83	24.5	25.83	0.000031	0.18	14.73	25.69	0.05
unico	5.5*	T=100	2.24	24.16	25.82	24.74	25.83	0.000074	0.24	9.29	11.13	0.07
unico	5	T=100	2.3	24.1	25.81	24.85	25.82	0.000206	0.34	6.7	8.04	0.12
unico	4	T=100	2.36	24.38	25.81	24.74	25.81	0.000099	0.28	8.56	8.01	0.09
unico	3.5*	T=100	2.36	24.41	25.8	24.81	25.8	0.000124	0.3	7.88	7.85	0.1
unico	3	T=100	2.43	24.44	25.79	24.87	25.79	0.00017	0.34	7.2	7.66	0.11
unico	2.5*	T=100	2.43	24.46	25.78	24.92	25.78	0.000217	0.37	6.61	7.5	0.12
unico	2	T=100	3.49	24.48	25.75	25.06	25.76	0.000598	0.58	6.1	10.04	0.21
unico	1.3	T=100	3.49	24.49	25.74	24.82	25.75	0.000063	0.46	7.62	6.1	0.13
unico	1.2	Bridge										
unico	1.1	T=100	3.49	24.49	25.74	24.82	25.75	0.000063	0.46	7.62	6.1	0.13
unico	1	T=100	3.55	24.55	25.73	25.19	25.75	0.001001	0.68	5.47	17	0.26

Tabella IV: caratteristiche idrauliche profilo di corrente per T=100 anni

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 Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
unico	15	T=300	1.32	24.71	25.9	25.18	25.91	0.000238	0.31	4.19	6.46	0.12
unico	14	T=300	1.47	23.92	25.9	24.36	25.9	0.000013	0.1	27.3	234.33	0.03
unico	13.5*	T=300	1.47	23.92	25.9	24.36	25.9	0.000014	0.11	25.06	219.11	0.03
unico	13	T=300	1.62	23.92	25.9	24.38	25.9	0.000016	0.12	25.48	206.03	0.04
unico	12.5*	T=300	1.62	23.84	25.9	24.3	25.9	0.000006	0.08	41.74	287.65	0.02
unico	12	T=300	1.77	23.76	25.9	24.19	25.9	0.000003	0.07	56.9	256.83	0.02
unico	11	T=300	1.92	23.68	25.9	24.43	25.9	0.000002	0.04	88.29	346.08	0.01
unico	10.5*	T=300	1.92	23.94	25.9	24.6	25.9	0.000045	0.19	14.23	72.78	0.06
unico	10	T=300	2.07	24.2	25.89	24.72	25.9	0.000085	0.25	10.62	45.64	0.08
unico	9.8	T=300	2.07	24.24	25.89	24.42	25.9	0.000004	0.14	14.88	9	0.03
unico	9.7	Bridge										
unico	9.6	T=300	2.07	24.27	25.89	24.45	25.9	0.000004	0.14	14.59	9	0.04
unico	9	T=300	2.22	24.45	25.89	25.09	25.89	0.000138	0.29	7.78	8.8	0.1
unico	8.5*	T=300	2.22	24.43	25.88	25.02	25.88	0.000169	0.31	7.17	8.77	0.11
unico	8	T=300	2.3	24.41	25.86	24.97	25.87	0.000216	0.35	6.63	8.26	0.12
unico	7	T=300	2.37	24.12	25.87	24.44	25.87	0.000015	0.13	18.26	11.57	0.03
unico	6	T=300	2.45	24.21	25.86	24.51	25.86	0.000033	0.19	15.68	27.49	0.05
unico	5.5*	T=300	2.45	24.16	25.86	24.76	25.86	0.000008	0.26	9.74	14.31	0.08
unico	5	T=300	2.53	24.1	25.85	24.88	25.85	0.000224	0.36	6.98	8.21	0.13
unico	4	T=300	2.6	24.38	25.84	24.76	25.84	0.00011	0.29	8.83	8.1	0.09
unico	3.5*	T=300	2.6	24.41	25.83	24.83	25.84	0.000137	0.32	8.14	7.94	0.1
unico	3	T=300	2.68	24.44	25.82	24.9	25.83	0.000189	0.36	7.44	7.75	0.12
unico	2.5*	T=300	2.68	24.46	25.81	24.94	25.82	0.00024	0.39	6.84	7.6	0.13
unico	2	T=300	3.75	24.48	25.77	25.08	25.79	0.000616	0.6	6.39	10.09	0.21
unico	1.3	T=300	3.75	24.49	25.77	24.83	25.78	0.000068	0.48	7.79	6.1	0.14
unico	1.2	Bridge										
unico	1.1	T=300	3.75	24.49	25.77	24.83	25.78	0.000068	0.48	7.79	6.1	0.14
unico	1	T=300	3.83	24.55	25.75	25.21	25.78	0.001001	0.7	6.02	21.05	0.26

Tabella Y: caratteristiche idrauliche profilo di corrente per T=300 anni

#### 4. Conclusioni.

A valle della fase di inquadramento generale e dell'analisi idrologica sono state fatte una serie di valutazioni idrauliche, con un modello di moto permanente, per analizzare il comportamento dell'alveo oggetto dello studio di compatibilità in corrispondenza del passaggio delle portate sia distribuite che concentrate. Tali analisi hanno evidenziato la presenza di esondazioni in corrispondenza delle varie portate stimate nell'analisi idrologica in particolare in destra idraulica. Si sottolinea che, al fine di migliorare la conducibilità idraulica del lago, sarebbe opportuno porre in essere una manutenzione dello stesso al fine di riportarlo alla pendenza originaria eliminando, in particolare, le contropendenze dovute all'accumulo di inerti.

ing. Antonio De Falco