



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI TRENTO

Dipartimento di Ingegneria Civile,  
Ambientale e Meccanica

---

## Esercitazione 2: Moto Permanente

---

*Autori :*

Gianluca Pelagatti

198365

Pasquale Di Tolla 197990

Umberto Gallina 197363

*Professor :*

Ing. Federico Monegaglia

Ing. Walter Bertoldi

Anno Accademico 2017/2018



# Indice

<b>1</b>	<b>Canalette di laboratorio</b>	<b>5</b>
1.1	Introduzione analisi . . . . .	5
1.2	Introduzione al software Hec-Ras . . . . .	6
1.3	Metodi e strumenti usati . . . . .	7
1.4	Presentazione dei risultati . . . . .	8
<b>2</b>	<b>Verifica idraulica</b>	<b>17</b>
2.1	Introduzione della problematica . . . . .	17
2.2	Inquadramento territoriale . . . . .	17
2.3	Valutazione portata di progetto . . . . .	18
2.4	Modellazione idraulica in moto stazionario . . . . .	19
2.5	Dati di input . . . . .	20
2.6	Presentazione dei risultati . . . . .	24
<b>3</b>	<b>Conclusioni</b>	<b>31</b>



# Capitolo 1

## Canalette di laboratorio

### 1.1 Introduzione analisi

Le analisi condotte in laboratorio sono divise in quattro casistiche distinte, per approcciare a problematiche ben differenti tra loro.

Tutte le prove prevedono l'uso di una canaletta divisa in tre tratti, contraddistinti da una scabrezza e da un'angolazione fissata. Mentre la pendenza  $i_f$  è stata misurata in maniera diretta sul fondo, l'assegnazione del coefficiente di scabrezza  $k_s$  ha richiesto un'analisi più accurata rispetto alle simulazioni precedentemente effettuate, con un minor numero di parametri e l'ipotesi di alveo rettangolare largo. Inoltre, ad ogni prova è stata utilizzata una portata diversa ma costante, per ricreare al meglio le condizioni di moto uniforme.

Una prima prova è stata effettuata in modo che l'alveo risultasse fluviale: imponendo una pendenza nei tratti a monte e a valle dello 0.2%, con una portata fissata per tutta la durata della prova a  $23.3 \frac{l}{s}$ , così da stabilizzare la canaletta in stato costante di alveo fluviale.

Per la seconda prova è stato richiesto uno stato di alveo torrentizio; allo stesso modo sono stati imposti i parametri di pendenza allo 1% e di portata di  $10.2 \frac{l}{s}$  fissati. Al tratto centrale definito *liscio* è stata imposta una pendenza fissata di 2.7% simulando un gradino a forte pendenza. Tali condizioni hanno portato il tratto centrale ad assumere il carattere torrentizio in tutte le prove effettuate.

In ultimo bisogna considerare il coefficiente di scabrezza trovato nelle precedenti analisi di laboratorio: dei tre tratti distinti, si ha quello centrale più liscio con  $k_s = 100 \frac{\sqrt[3]{m}}{s}$  mentre nei tratti di monte e valle è presente uno strato sabbioso, quindi si è valutato un  $k_s = 70 \frac{\sqrt[3]{m}}{s}$ . L'ipotesi di questi valori viene a valle di uno *studio statistico* dei diversi valori ambientali misurati, notando che, in

condizioni di moto uniforme, per la canaletta rettangolare<sup>[1]</sup>, è

$$k_s = \frac{Q}{\Omega \sqrt{i_f} R_h^{\frac{2}{3}}} \quad (1.1)$$

Misurando la superficie libera si sono trovate le geometrie corrispondenti di sezione e raggio idraulico, ma sono state ottenute più condizioni per le diverse misure effettuate. Per questo motivo è stata condotta la già citata analisi statistica dei vari  $k_s$  calcolati, facendo attenzione alle misure non propriamente esatte.

La seguente *Tabella 1.1* riassume le varie casistiche:

Caso	Pendenza tratti variabili	Portata $\frac{l}{s}$
fluviale libero	0.002	23.3
torrentizio libero	0.01	10.2
fluviale con manufatti	0.002	13.1
torrentizio con manufatti	0.01	10.6

Tabella 1.1: Condizioni dei quattro casi.

Per meglio presentare le prove ed esplicitare i risultati ottenuti è bene schematizzare il problema in questione, impostando dei punti di riferimento lungo la canaletta (*Figura 1.1*)

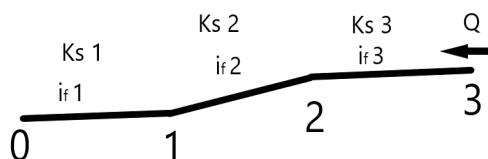


Figura 1.1: Schema semplificato della canaletta di laboratorio.

## 1.2 Introduzione al software Hec-Ras

Il software "Hec-Ras"<sup>[2]</sup>, il cui nome deriva dall'acronimo di Hydrologic Engineering Center, fu sviluppato dalla US Army Corps of Engineers nel 1964, principalmente per scopi difensivi e di controllo del territorio. Successivamente è stato implementato per l'utilizzo civile per rappresentare e valutare nel miglior modo possibile le caratteristiche di un corso d'acqua, da un grande fiume al più

piccolo torrente.

Principalmente Hec-Ras è in grado di ricostruire le condizioni di un alveo tramite un modello tridimensionale, ma spesso è utilizzato nel modello unidimensionale per la valutazione delle sezioni attraversate dal corso, caratteristica principale del nostro caso in analisi.

Un carattere più avanzato permette lo sviluppo di uno scorrimento d'acqua nel tempo, grazie al quale si valutano gli effetti di elementi di interferenza, e le conseguenze che l'azione di un fiume genera sull'alveo e sui manufatti circostanti. Il modello lavora tramite l'equazione di energia:

$$E_1 = Y_1 + \frac{Q^2}{2gb^2(Y_1)^2} = Y_2 + \frac{Q^2}{2gb^2(Y_2)^2} = E_2 \quad (1.2)$$

Per ipotesi di moto gradualmente variato, le rette di corrente sono rettilinee e parallele, tramite un perdita di:

$$h_e = jL + c \left| \frac{\alpha_2 U_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 U_1^2}{2g} \right| \quad (1.3)$$

In presenza di manufatti si utilizzano modelli matematici preesistenti ed equazioni di quantità di moto, ipotizzando l'uguaglianza delle spinte.

### 1.3 Metodi e strumenti usati

Le simulazioni ricreate in laboratorio non sono esattamente identiche alla realtà, per questo motivo si necessita di confrontare e parametrizzare tutti i casi, trovando un risultato quanto più vicino ai valori fisici che si possono trovare su un rilievo in campo.

Si utilizza una semplice canaletta, di larghezza misurata di  $31.5\text{cm}$  e lunghezza di  $10\text{m}$ . È evidente che nessun fiume o torrente ha tali dimensioni, ma con l'analisi in scala spaziale si possono calcolare gli stessi parametri in gioco per le correnti.

La canaletta ha la possibilità di essere divisa in tre tratti differenti come geometria e scabrezza di fondo; viene fatta l'ipotesi di alveo rettangolare largo, anche se sicuramente si ha una piccola influenza delle pareti, spesso con scabrezza differente anche dal fondo. Inoltre, si cerca di avere una portata  $Q$  d'ingresso sempre costante e carattere di *cilindricità* della sezione  $\frac{\partial b}{\partial x} = 0$ .

Si hanno a disposizione due misuratori di profondità, con una sensibilità fino al decimo di millimetro. Chiaramente con la superficie del fluido in continuo movimento, sarà necessaria un'approssimazione della misura oscillando i valori di  $\pm 0.1\text{mm}$ . I due strumenti sono tarati in modo diverso, per cui sarà necessario un controllo del *gap* delle misurazioni ottenute, calcolato costante a  $8.1\text{cm}$ .

Il software Hec-Ras precedentemente descritto ha diverse versioni di aggiornamento. Per lo studio in questione, la versione utilizzata è la 4.1.0, non l'ultima disponibile, ma la più semplice e adatta alla simulazione del moto stazionario.

## 1.4 Presentazione dei risultati

A seguito della simulazione in laboratorio e dei calcoli analitici tramite il software Hec-Ras, si ha la possibilità di confrontare i risultati ottenuti, avendo ricreato una situazione simile attraverso l'uso di parametri e condizioni ambientali quanto più corrispondenti.

Nei grafici successivi le linee rosse rappresentano la superficie libera, le azzurre sono il fondo e le verdi sono il risultato analitico della superficie critica, ovvero

$$y_c = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{gb^2}}.$$

La **prima** prova effettuata in laboratorio è la canaletta composta da tre tratti per ricreare un alveo fluviale. Si è descritta la differenza principale nel tratto centrale, quindi si sono calcolati i coefficienti di scabrezza differenti. Grazie alla portata impostata dalla pompa a monte di  $23.3 \frac{l}{s}$  si ottiene una corrente torrenzia nel tratto centrale, avendo maggior pendenza e meno scabrezza (*Figura 1.2*).

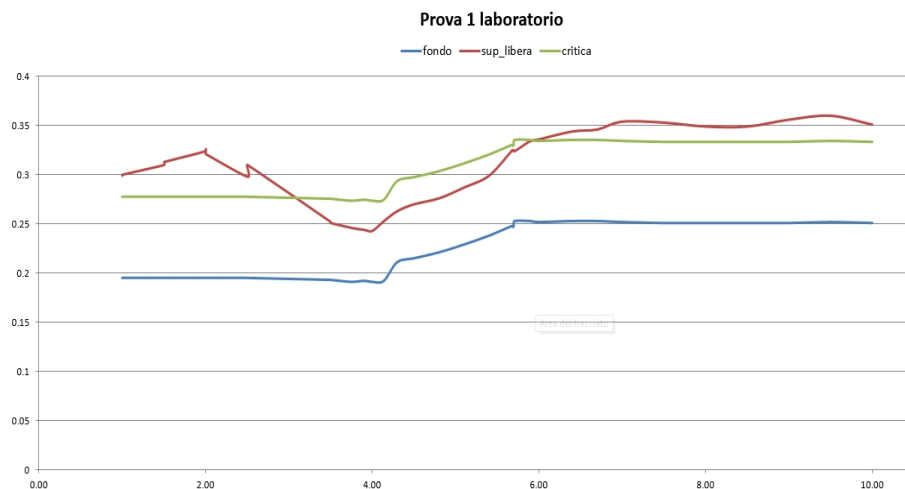


Figura 1.2: Profilo in laboratorio fluviale libero.

Nella **seconda** prova si tratta il caso di una canaletta con alveo integralmente torrenzioso. Si è in grado di ricreare questa situazione grazie all'aumento della pendenza nei tratti a monte e a valle fino all'1%, impostando una portata costante di  $10.2 \frac{l}{s}$ .

Il fenomeno che si genera prevede la superficie libera costantemente sotto l'altezza critica, senza alcun caso di risalto o dissipazione energetica. Per questo motivo si è chiusa una paratoia a valle con geometria indefinita, creando un innalzamento del livello di valle e formando un risalto idraulico dovuto al pas-



saggio da corrente veloce a lenta (*Figura 1.3*).

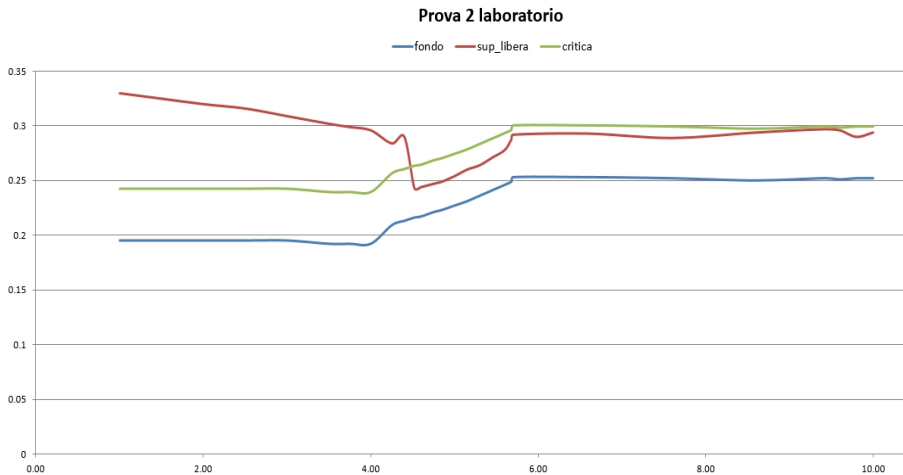


Figura 1.3: Profilo in laboratorio torrentizio libero.

Nella **terza** prova si introducono alcuni fenomeni localizzati come manufatti di luce di fondo e restringimento.

Nello specifico si inserisce una paratoia a 1.65m da valle, lasciando una luce di 5.5cm dal fondo. Il restringimento è situato nel tratto di monte, a 1.41m dall'imbocco della portata, ed è lungo 0.35m. Questo ha una larghezza interna di 0.255m rispetto ai 0.315m della larghezza normale della canaletta.

Questa prova ha una portata di  $13.1 \frac{l}{s}$  con delle pendenze 0.2% nei tratti estremi; tali condizioni permettono un alveo fluviale nei tratti di monte e valle, un alveo torrentizio nel tratto centrale più liscio (*Figura 1.4*).

La **quarta** prova ha condizioni simili alla precedente, ma i manufatti sono inseriti casualmente e misurati:

- la luce è a 2.3m dallo sbocco di valle con un'apertura al fondo di 3.7cm;
- il restringimento inizia a 1.90m dall'imbocco di monte, con lunghezza di 0.35m e larghezza di 0.255m.

La differenza con il caso precedentemente studiato è la pendenza della canaletta impostata all'1.5%, creando una condizione di alveo torrentizio nell'intera canaletta. La portata in ingresso si pone di  $10.6 \frac{l}{s}$  (*Figura 1.5*).

A seguito di queste prove fatte in laboratorio, si analizzano le misurazioni prese, facendo attenzione a quali sono attendibili e quali sono influenzate da errori. Si ricreano le stesse situazioni nel software Hec-Ras per poi confrontarne i dati di calcolo.

Risulterà fondamentale rispettare tutte le condizioni ambientali ipotizzate nella

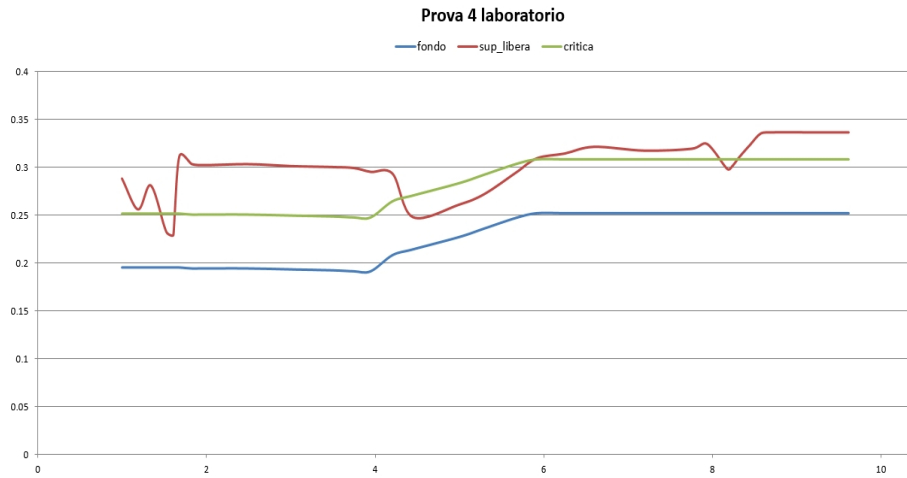


Figura 1.4: Profilo in laboratorio fluviale con manufatti.

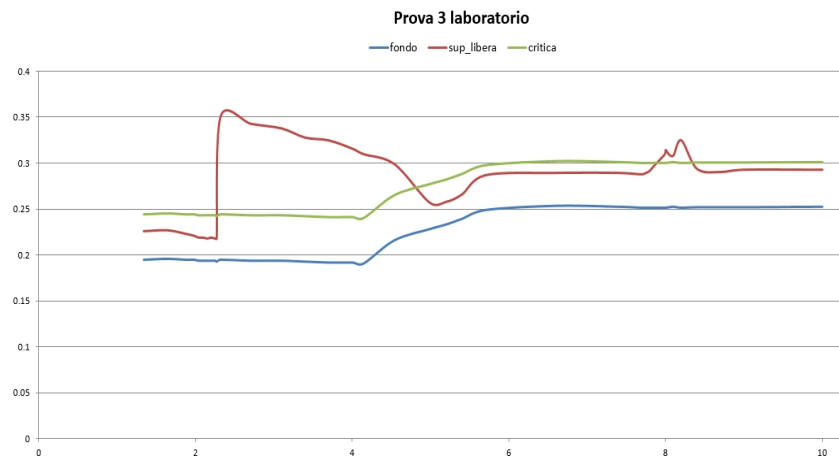
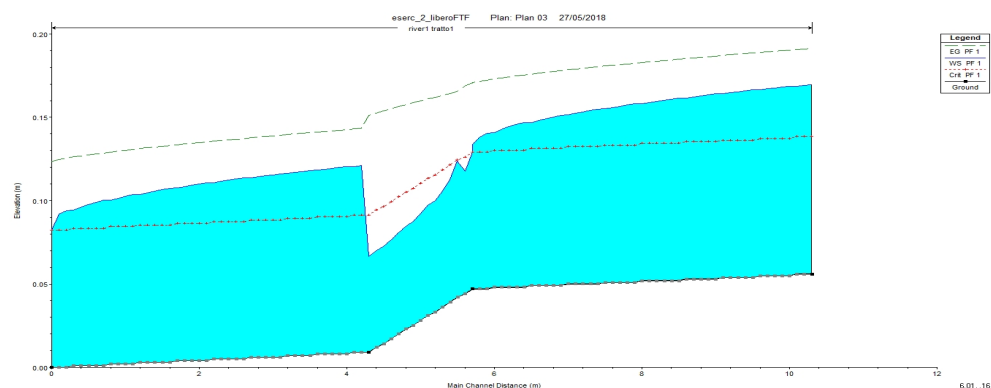


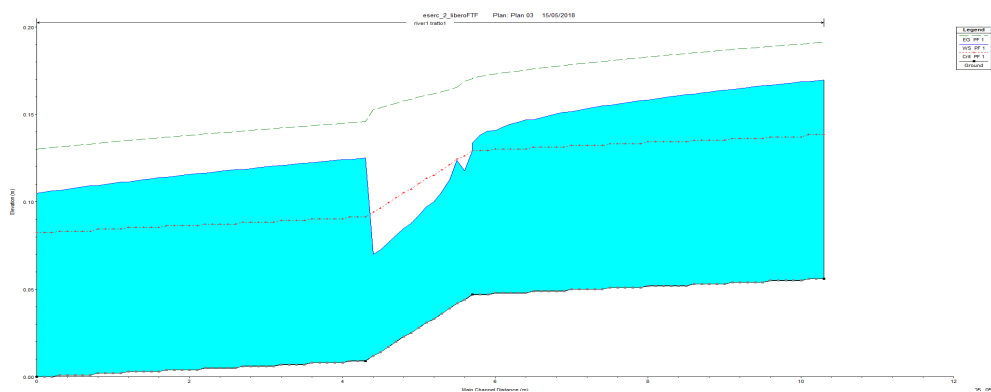
Figura 1.5: Profilo in laboratorio torrentizio con manufatti.

canaletta per ottenere un profilo di corrente teorico quanto più simile a quello reale.

L'implementazione del primo caso, fluviale libero, ha la particolarità della condizione di valle: inserendo il passaggio in critica, si presuppone un caso di sbocco (come il caso di una cascata); mentre inserendo il moto uniforme si inserisce la pendenza del tratto nota, quindi simulando la continuità della canaletta a valle. Nella *Figura 1.6* si rappresentano i risultati di calcolo tramite Hec-Ras.



(a) Condizione di valle di passaggio in critica.



(b) Condizione di valle di moto uniforme.

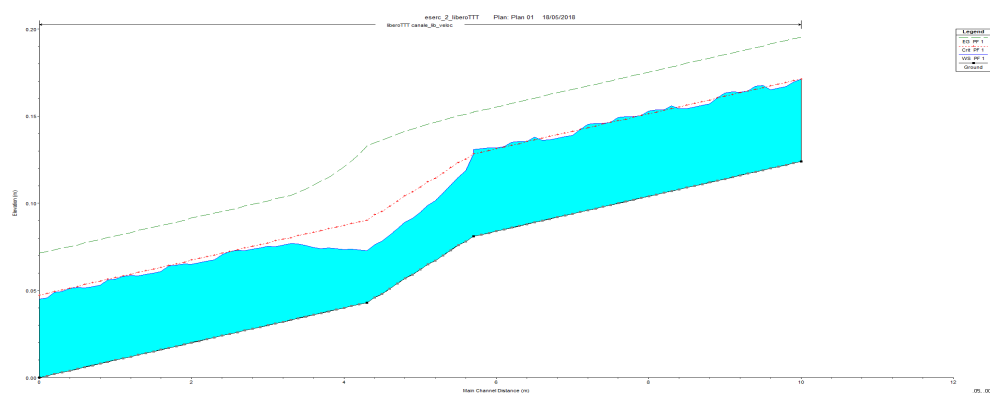
Figura 1.6: Profilo di alveo fluviale libero tramite Hec-Ras.

Il calcolo con software della prima casistica presenta un risalto idraulico nel cambio di pendenza tra il tratto centrale ed il tratto più a valle. Il fenomeno è previsto anche dalla prova di laboratorio nella canaletta avendo il passaggio da corrente veloce a corrente lenta, quindi, non essendo sezione di controllo, è corretto avere questo tipo di discontinuità del profilo.

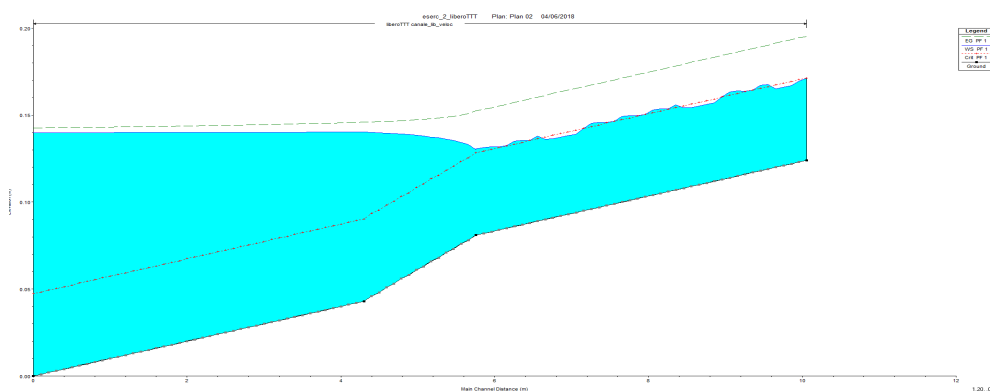
Si precisa che nel punto di passaggio in critica tra il moto lento a monte e il tratto centrale a pendenza maggiore, il moto risulta instabile, e il software calcola un punto con numero di Froude pari a circa 0.99. Per questo motivo non si ha subito l'instaurarsi di corrente veloce, ma si ha un punto graficato sulla critica. Ciò è dovuto al calcolo del software e non ad un errore concettuale.

La canaletta in alveo torrentizio è studiata tramite l'Hec-Ras, presentando dei punti particolari dovuti alla presenza della paratoia a valle non misurata.

La *Figura 1.7* presenta i risultati nei casi eccezionali distinti dalle condizioni al contorno a valle.



(a) Condizione di valle di moto uniforme.



(b) Condizione di valle di superficie nota.

Figura 1.7: Profilo di alveo torrentizio libero tramite Hec-Ras.

Calcolando le condizioni ambientali senza impostare la paratoia, risulta un alveo completamente torrentizio, avendo un controllo interamente da monte. Per ricreare esattamente il profilo della prova in laboratorio è necessario l'inserimento della superficie libera di valle misurata, ovvero  $0.33m$ . Conseguentemente si ha un risalto idraulico nel tratto a valle, come registrato nelle misurazioni di laboratorio.

Infine si presentano entrambi i risultati grafici del calcolo nei casi con manufatti, sia in alveo fluviale che torrentizio, nella successiva *Figura 1.8*.

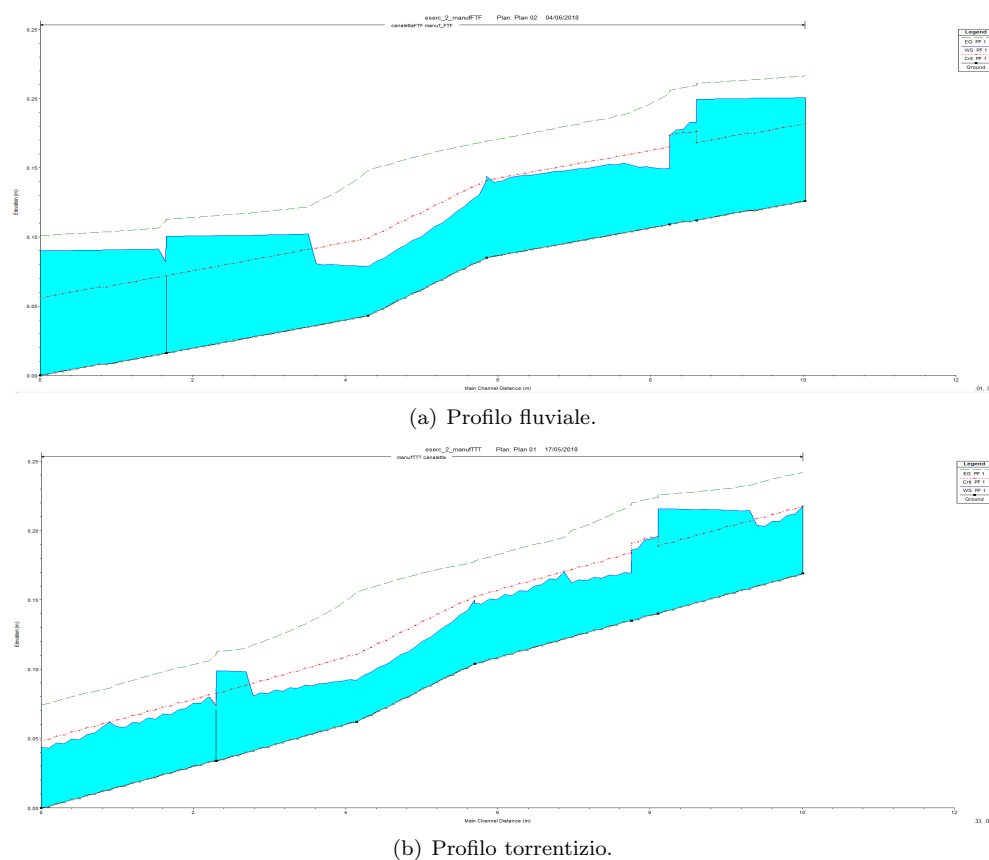


Figura 1.8: Profili degli alvei con manufatti tramite Hec-Ras.

Analizzando i risultati, anche analitici dall'estrapolazione tabulare, risultano fenomeni di rigurgito a monte con l'ingresso nel restringimento, conseguentemente una corrente veloce ( $F_r > 1$ ). Anche nella luce si ha rigurgito a monte, creando un profilo del tipo *s1*, mentre a valle si ha corrente lenta nell'alveo fluviale (profilo *m1*) e corrente veloce nell'alveo torrentizio (profilo *s3* uscente dalla luce).

Per uno sguardo più dettagliato di alcuni risultati puntuali, si inseriscono nella successiva *Tabella 2.1* i dati salienti dei diversi casi.

CASO	SEZIONE	SUP LIBERA	CRITICA	NUM $F_r$	TIPO
		$m$	$m$		
fluviale libero	3	0.17	0.14	0.64	lento
	2	0.13	0.13	1	critica
	tratto 1	0.12	0.09	0.62	lento
	0	0.1	0.08	0.7	lento
torrentizio libero	3	0.17	0.18	1.21	veloce
	2	0.14	0.14	<b>0.78</b>	lento
	tratto 1	0.1	0.1	<b>0.8</b>	lento
	0	0.05	0.06	<b>0.85</b>	lento
fluviale manufatti	3	0.16	0.12	0.5	lento
	restringimento	0.13	0.13	1	critica
	luce	0.09	0.07	0.55	lento
	0	0.09	0.06	0.49	lento
torrentizio manufatti	3	0.22	0.22	1	critica
	restringimento	0.22	0.19	0.51	lento
	luce	0.1	0.08	0.65	lento
	0	0.04	0.05	1.18	veloce

Tabella 1.2: Condizioni dei quattro casi da Hec-Ras.

Come previsto, l'unico caso che si può definire *paradossale* è il torrentizio libero: si è detto dell'uso della paratoia a valle, ma queste analisi riguardano una situazione di completo alveo torrentizio, in cui si registra una superficie libera costantemente appena sotto l'altezza critica, ma viene calcolato dal software un numero di Froude  $F_r < 1$  quindi di corrente lenta.





## Capitolo 2

# Verifica idraulica

### 2.1 Introduzione della problematica

L'obiettivo di questo lavoro è la verifica idraulica di un alveo idraulico esistente, ponendo delle situazioni reali possibili di portata da monte e analizzando cosa succede negli argini del torrente. Inoltre si pone un caso particolare quando una certa portata non interessa direttamente il corso in esame, ma crea un fenomeno di rigurgito da valle dovuto ad una piena di un fiume collettore in cui sfocia. Come si vedrà in seguito, esiste un punto di maggior criticità, quale il ponte San Pietro in località Carasco (GE) che risente maggiormente delle alte portate e del fenomeno di rigurgito, ricordando che si analizzano tre portate diverse in funzione di tre tempi di ritorno distinti.

### 2.2 Inquadramento territoriale

Il tratto di fiume in analisi è la parte terminale del torrente Sturla in località Carasco (GE), corrispondente alla confluenza col fiume Lavagna che scende da Nord-Ovest fino alla foce nel comune di Entella nel Mar Tirreno. Come è visibile dalla *Figura 2.1*, il torrente Sturla scende dall'Appennino ligure attraversando il suo bacino, fino alla frazione di San Pietro di Sturla, nel comune di Carasco. Questo è un centro prettamente residenziale, con qualche edificio a fine produttivo nei pressi degli argini del torrente<sup>[3]</sup>.

Proprio questa caratteristica risulta cruciale ai fini di questo studio: il torrente è caratterizzato perciò da una forte impermeabilizzazione degli argini dovuta alla deviazione forzata del torrente.

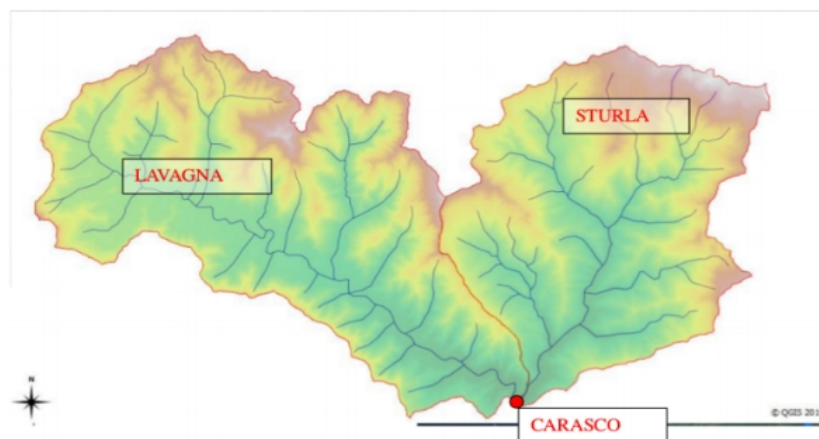


Figura 2.1: Planimetria dei bacini di Sturla e di Lavagna con Carasco.

I dati relativi alle dimensioni del bacino sono trovati nel Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico di Genova, nella sezione dedicata al bacino Entella-Sturla (ambito 16). L'area occupa  $146\text{km}^2$ , la sorgente è posta a circa  $1500\text{mslm}$ , fino alla località di Bertigaro con una quota di  $600\text{mslm}$ . Il torrente Sturla defluisce nel Lavagna in località San Pietro avendo raggiunto quasi il livello del mare. Il documento fornisce una pendenza media del tratto più a valle dello  $0.4\%$ , mentre il tratto più a monte è dello  $0.58\%$ .

Il tratto considerato ha una lunghezza di circa  $2.5\text{km}$ ; risulta inciso nelle alluvioni di fondo valle e presenta una sezione caratterizzata da una parte centrale più profonda (alveo di magra e di morbida) e da due aree golenali caratterizzate da un minore elevato grado di urbanizzazione rispetto a quelle del Fiume Entella e del tratto terminale del torrente Lavagna, costituito prevalentemente da aree e capannoni destinati ad attività produttive.

### 2.3 Valutazione portata di progetto

Si richiedono tre tempi di ritorno dell'evento di piena:  $50\text{anni}$ ,  $200\text{anni}$  e  $500\text{anni}$ . E' necessaria una ricerca approfondita nella documentazione a disposizione sul web dei vari Piani di Bacino liguri, allo scopo di determinare le portate di progetto in funzione dei tempi di ritorno<sup>[6]</sup>.

$$Q_p = f(T_r) \quad (2.1)$$

Per fare questo si tiene conto della moltitudine di formule empiriche che fanno riferimento alla dimensione del bacino ed alle sue caratteristiche. Tali definizioni sono importanti perché si distinguono i risultati di terreni impermeabili e permeabili, così come bacini più grandi, che raccolgono più acqua con tempo di corrivazione maggiore, e bacini più piccoli, con meno acqua e tempo di corrivazione minore.

Chiaramente la portata del fiume ha una stretta relazione con i fenomeni meteorologici che interessano il bacino. Grazie al *Piano di Bacino ligure*, nell'Ambito 16 per il torrente Entella-Sturla, si risale allo studio pluviometrico dell'area; attraverso la metodologia statistica tipica in cui si definisce l'altezza di pioggia in funzione del tempo di ritorno, ovvero le Linee Segnalatrici di Possibilità Pluviometrica.

$$h_R = a(R)T^{\nu(R)} \quad (2.2)$$

A seguito di una ricerca nella quinta parte del PGUAP, nel capitolo 2, si descrivono le formule empiriche specifiche per il calcolo della portata in funzione del tempo di ritorno di un evento. Inoltre sono descritte tre tipologie di approccio al problema, in base ai dati ambientali a disposizione:

1. Analisi statistica di una lunga serie di osservazioni di portate e volumi di piena nella sezione idrografica di interesse;
2. Analisi statistica dell'insieme delle osservazioni di portate e volumi di piena disponibili in una regione idrologica, la quale presenti caratteristiche di omogeneità in relazione al regime di piena;
3. Analisi statistica delle osservazioni pluviometriche e la successiva trasformazione in probabilità delle portate e dei volumi di piena.

Successivamente si presentano i due metodi di calcolo definiti come *metodo razionale* e *metodo del Soil Conservation Service*, rispettivamente dati dalle formule<sup>[5]</sup>:

$$Q_p = 0.278 \frac{Ch_c A}{T_c} \quad (2.3)$$

$$Q_p = 0.278 \frac{VA}{T_a} \quad (2.4)$$

La differenza è che il primo si basa sulle dimensioni del bacino e sul tempo di corrivazione, mentre il secondo tiene conto della tipologia di suolo e del tempo di accumulo, per distinguere i deflussi lenti e rapidi e la quota parte di acqua infiltrata nel suolo.

## 2.4 Modellazione idraulica in moto stazionario

La modellazione idraulica tramite dei software permette di ricreare qualsiasi condizione reale e simulare qualsiasi evento, anche in moto in funzione del tempo. Nel caso in questione si possono studiare casistiche differenti di portate in funzione del tempo di ritorno, dopo aver inserito una *geometria* dell'alveo quanto più simile a quella reale. Il software utilizzato nel calcolo analitico è l'*Hec-Ras* versione 4.1.0, sviluppato negli Stati Uniti nel 1964 per scopi militari, implementato successivamente per uso di protezione civile.

Il primo dato input necessario sarà un rilievo sul campo, riportando i dati tramite sezioni trasversali del fiume su un AutoCad rappresentandolo nel modo

più dettagliato possibile. Quindi sarà necessario riportare questa geometria in *Hec-Ras* grazie proprio al comando di inserimento dei dati ambientali. La logica è quella di inserire le sezioni dell'alveo misurate sul campo tramite l'incrocio di punti *quota* in relazione alla larghezza. Avverrà successivamente un rinfittimento delle sezioni tramite *tool interpolation* per migliorarne l'esattezza dell'output dei risultati.

Altro dato significativo è la scabrezza del fondo, indicata in coefficiente di Strickler-Manning  $n = \frac{1}{k_s}$ , da riportare col maggior dettaglio possibile sulla geometria sezione per sezione.

A questo punto la geometria dell'alveo in esame è inserita ed è fissa per tutta la prova. I parametri che cambiano sono relativi alla portata in funzione al tempo di ritorno. Tramite il comando *Flow* è possibile inserire l'input relativo alle portate e alle condizioni al contorno; quindi le prime prove richieste sono:

- tempo di ritorno 50 anni,
- tempo di ritorno 200 anni,
- tempo di ritorno 500 anni.

Successivamente ci si pone in condizioni in cui il fiume Lavagna è in piena, ovvero ha una portata eccezionale indipendentemente dallo stato di monte dello Sturla. Allora si analizzano ancora i casi di:

- tempo di ritorno 50 anni con rigurgito,
- tempo di ritorno 200 anni con rigurgito,
- tempo di ritorno 500 anni con rigurgito.

## 2.5 Dati di input

I dati di ingresso delle prove, sono stati trovati nel documento provinciale *PGUAP* (Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche). Oltre ai coefficienti di scabrezza precedentemente descritti, è possibile trovare le portate in funzione dei tre tempi di ritorno richiesti, frutto di una precedente analisi sperimentale effettuata nel corso degli anni e degli eventi passati. I valori delle portate sono in *Tabella 2.1*<sup>[5]</sup>:

Tempo di ritorno (anni)	Portata $\frac{m^3}{s}$
50	474
200	839
500	1223

Tabella 2.1: Portate da PGUAP.

Il valore del  $k_s$  è stato trovato a seguito di uno studio dell'area tramite la documentazione fornita dal web, nel PGUAP si ricavano i coefficienti corrispondenti

al tipo di suolo: l'alveo presenta una prevalenza del fondo in terra con sabbia e ghiaia, avente un  $k_s = 50$ ; alcuni punti di accumulo sono definiti come depositi alluvionali a fondo sabbioso, avente un  $k_s = 25$ . I relativi coefficienti utilizzati nel programma saranno  $n = 0.02$  e  $n = 0.04$ .

Nella *Tabella 2.2* si inseriscono i dati salienti delle sezioni raccolte dal file AutoCad ed inserite nella geometria Hec-Ras come precedentemente descritto. Si sottolineano le quote minime, le distanze reciproche ed eventuali note<sup>[3]</sup>.

(a) Sezioni più a valle

Num. sezione	quota minima $m$	distanza sez. a valle $m$	note
301	20.55	0	sfocia nel Lavagna
302	20.60	43.01	
303	20.65	43.01	ponte San Pietro
304	20.58	46.99	
305	20.91	30.50	
307	21.37	57.58	
309	21.42	21.00	
310	21.48	90.98	
312	22.89	26.00	
313	23.05	100.98	
314	23.01	45.01	

(b) Sezioni centrali

Num. sezione	quota minima $m$	distanza sez. a valle $m$	note
316	28.40	37.39	
317	28.10	28.39	
318	27.86	36.98	
319	28.09	74.7	
321	28.40	74.60	
322	28.82	86.80	
323	28.95	70.99	
325	29.45	40.99	
326	29.35	46.80	
327	29.30	85.00	

(c) Sezioni più a monte

Num. sezione	quota minima $m$	distanza sez. a valle $m$	note
331	31.43	148.40	
332	31.01	69.60	
333	31.50	56.49	
334	32.64	141.02	
335	32.66	95.17	
336	32.98	90.40	
337	33.81	225.87	
338	33.83	20.30	
339	35.36	83.19	
340	35.45	53.30	
341	36.25	25.19	
342	36.95	54.99	
343	37.00	30.00	
344	37.07	34.00	
345	36.55	74.4	sezione a monte

Tabella 2.2: Sezioni importate da AutoCad in Hec-Ras, da valle a monte.

Notare che alcune sezioni sono mancanti: questo è dovuto alla precisione del rilievo sul campo. Questo deficit è coperto dall'interpolazione dei dati tra le sezioni acquisite. La geometria dell'alveo in questione è visibile in planimetria dalla *Figura 2.2*.

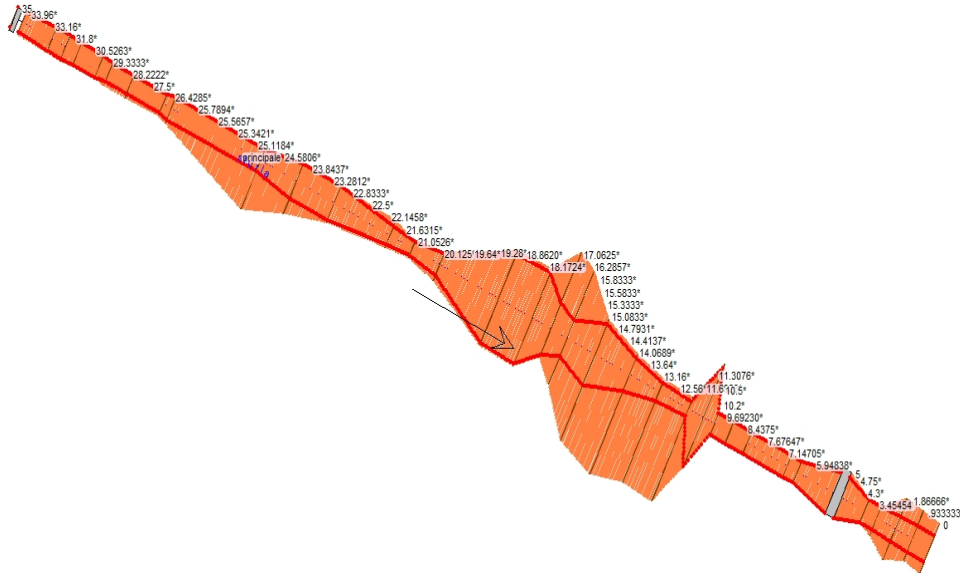


Figura 2.2: Geometria alveo in sezioni interpolate.

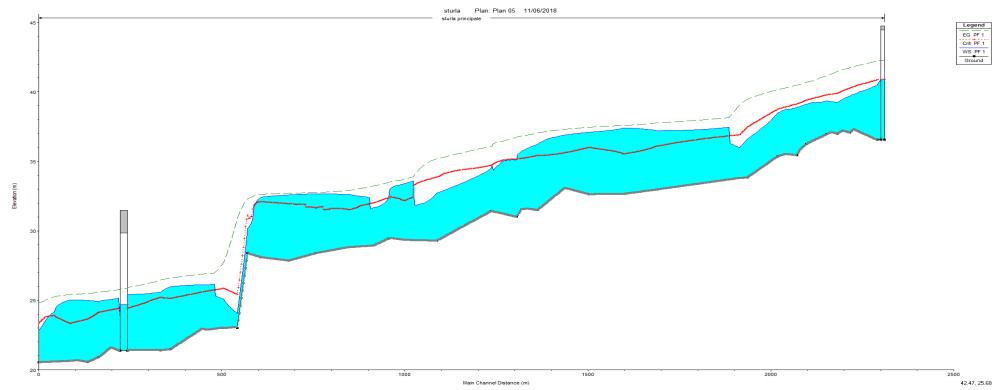
Date le diverse situazioni di studio, si implementano le diverse portate trovate nel PGUAP. Le relative condizioni al contorno sono a monte e a valle la pendenza ipotizzata 0.7% e 0.147% definite nel *Flow* come *Normal depth*, cioè condizioni di moto uniforme. Invece nel caso del rigurgito del Lavagna, si verifica il franco del fiume mettendo le seguenti condizioni al contorno di valle, poste utilizzando il comando *Know WS* per indicare la superficie libera a valle nota:

Tempo di ritorno (anni)	Profondità $m$	Sup Libera $m$
50	5.6	26.15
200	8	28.55
500	8.2	28.75

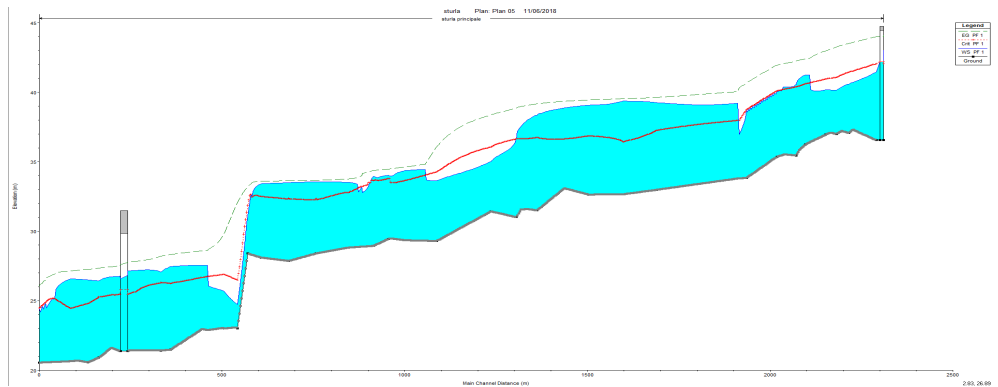
Tabella 2.3: Superficie nel rigurgito a valle.

## 2.6 Presentazione dei risultati

Nel presente capitolo si presentano i risultati dei calcoli nelle diverse condizioni, evidenziando le criticità ed esplicando i diversi profili dell'alveo. In prima battuta si raffigurano i tre profili di corrente stazionaria nei tre tempi di ritorno *50anni*, *200anni* e *500anni*:

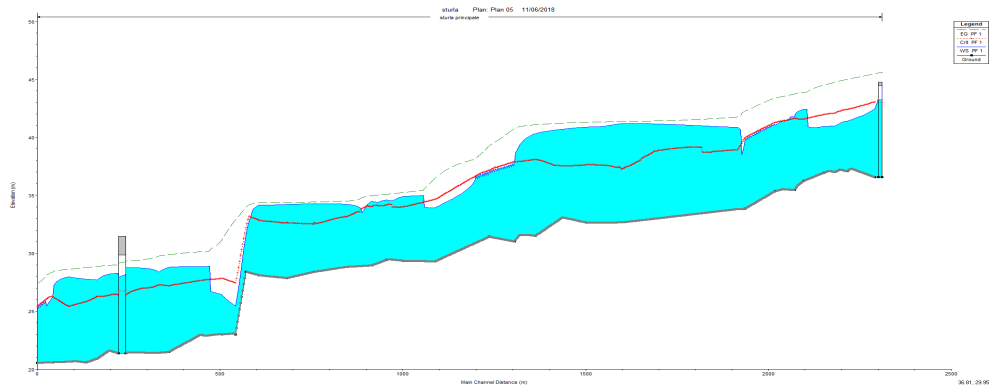


(a) Tempo di ritorno *50anni*



(b) Tempo di ritorno *200anni*



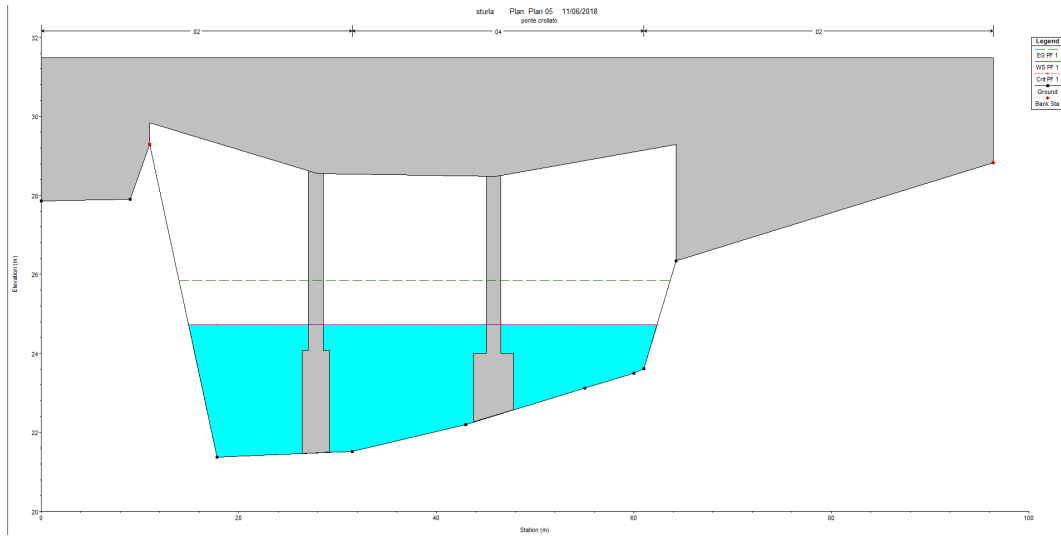


(c) Tempo di ritorno 500anni

Figura 2.3: Profili di corrente in condizioni normali.

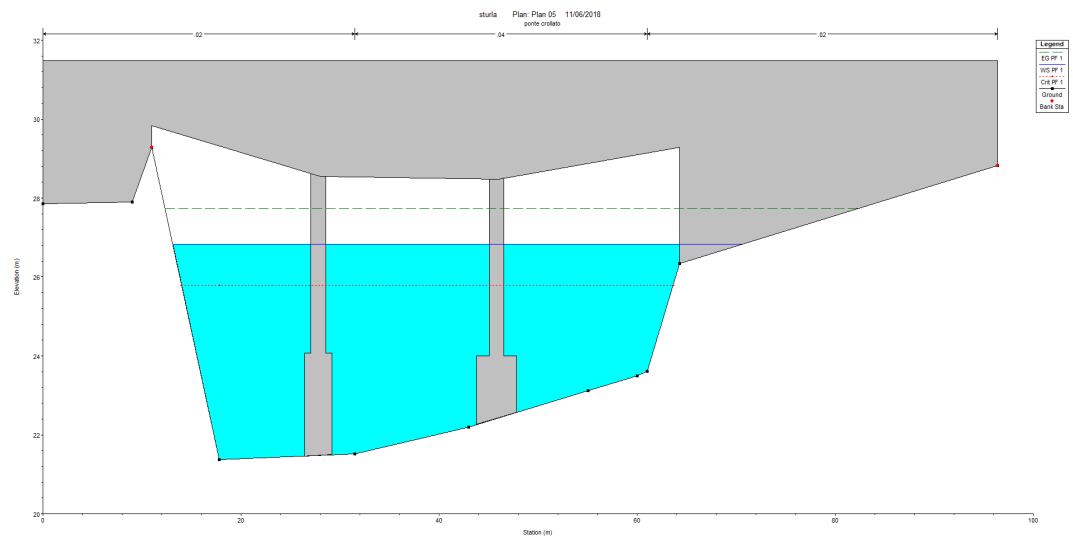
Si nota come all'aumentare del tempo di ritorno, aumenti anche la portata di ingresso, quindi si ha un innalzamento della superficie libera lungo tutto il profilo.

Si analizza anche il comportamento puntuale del ponte San Pietro in esame, seguendo le stesse implementazioni di condizioni idrauliche:

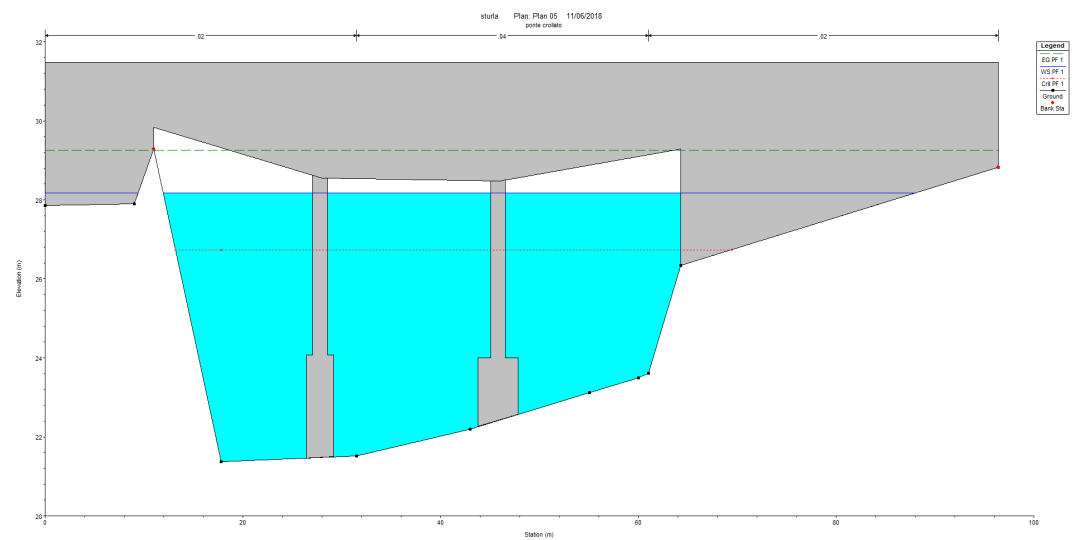


(a) Tempo di ritorno 50anni

## Progetto di Idrodinamica Esercitazione 2



(b) Tempo di ritorno 200anni



(c) Tempo di ritorno 500anni

Figura 2.4: Sezione del ponte San Pietro in condizioni normali.

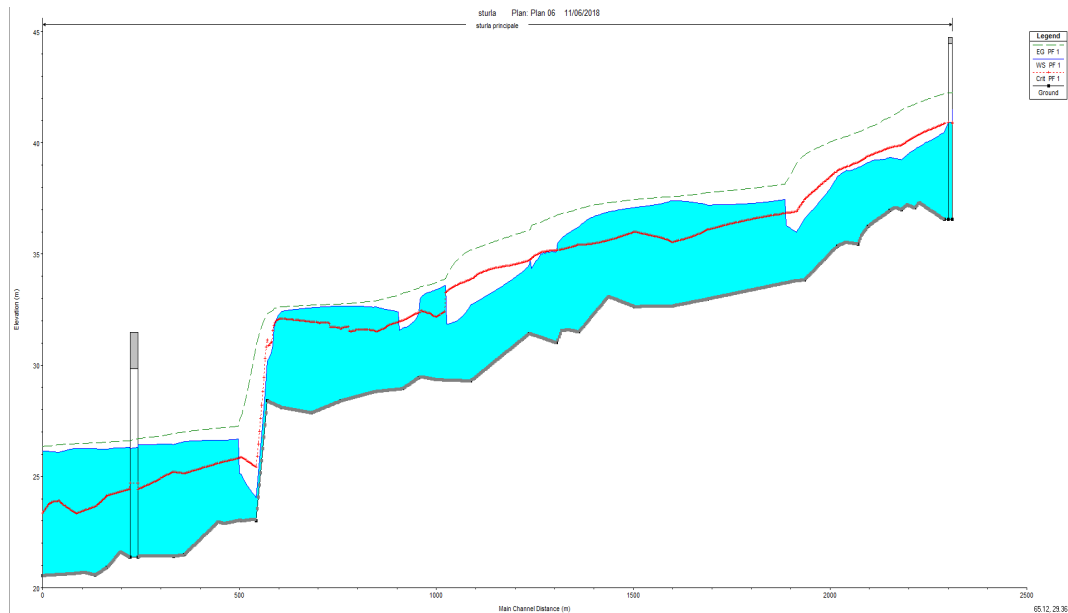
Il primo risultato visivo è che con una portata di  $1223m^3/s$  la superficie libera sfiora l'intradosso del ponte, quindi si pone una prima condizione di rischio idrologico (*Tabella 2.4*).

Tempo di ritorno (anni)	Sup Libera $m$	Numero di Froude
50	25.58	0.53
200	27.52	0.51
500	29.36	0.42

Tabella 2.4: Risultati in condizioni normali nella sezione del ponte.

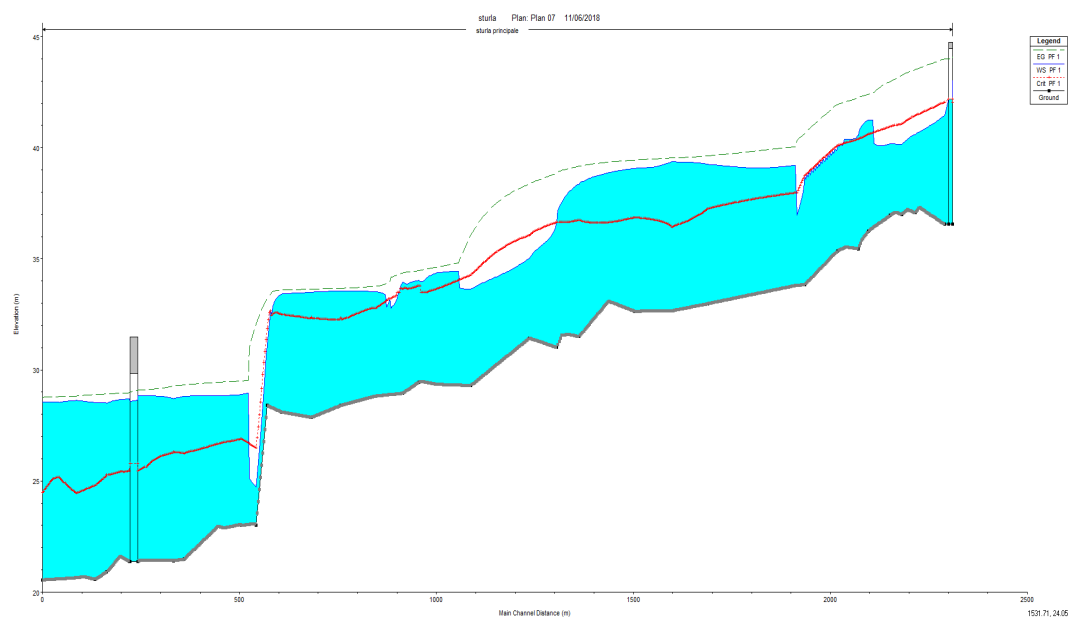
Notare che le correnti sono sempre più lente, con numero di Froude  $F_r < 1$ , avendo una profondità sempre maggiore.

Ora si pone il caso del rigurgito nel fiume Lavagna, implementando il calcolo alla condizione di superficie libera nota a valle, per esaminare cosa succede nel profilo ed, in particolare, nella sezione del ponte San Pietro.

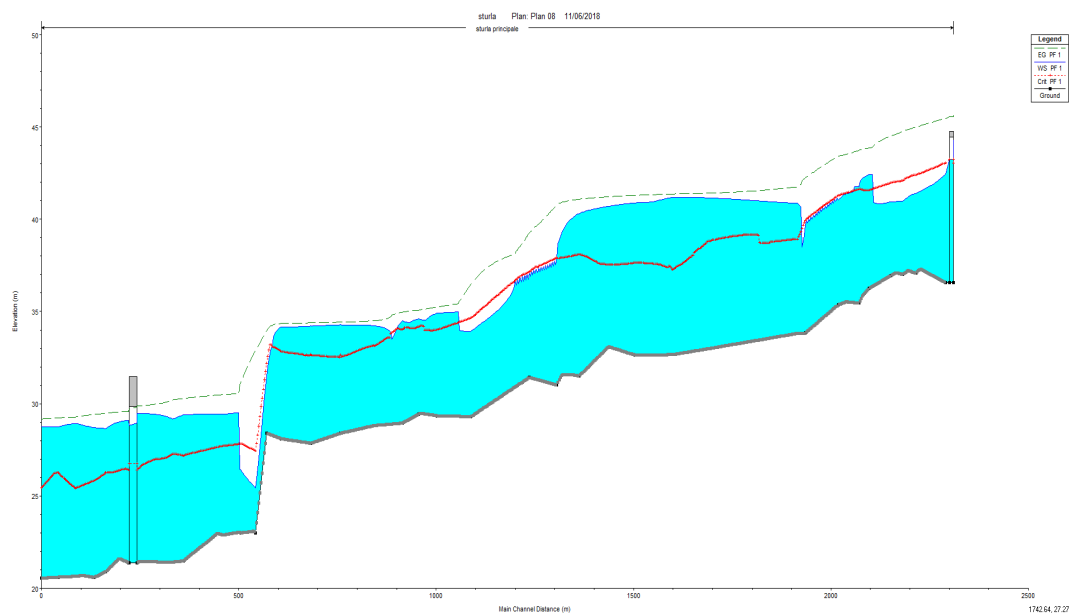


(a) Tempo di ritorno 50anni

## Progetto di Idrodinamica Esercitazione 2



(b) Tempo di ritorno 200anni

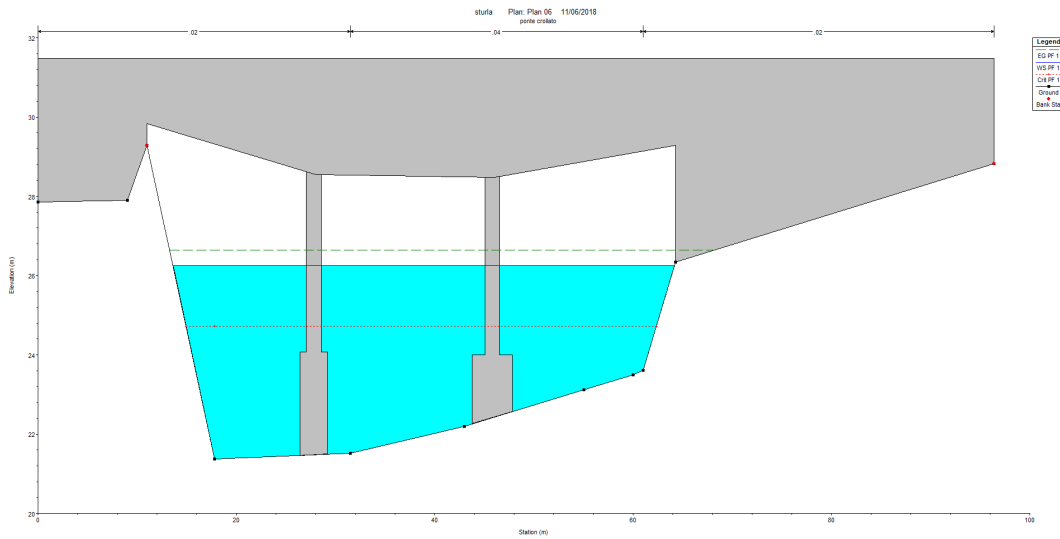


(c) Tempo di ritorno 500anni

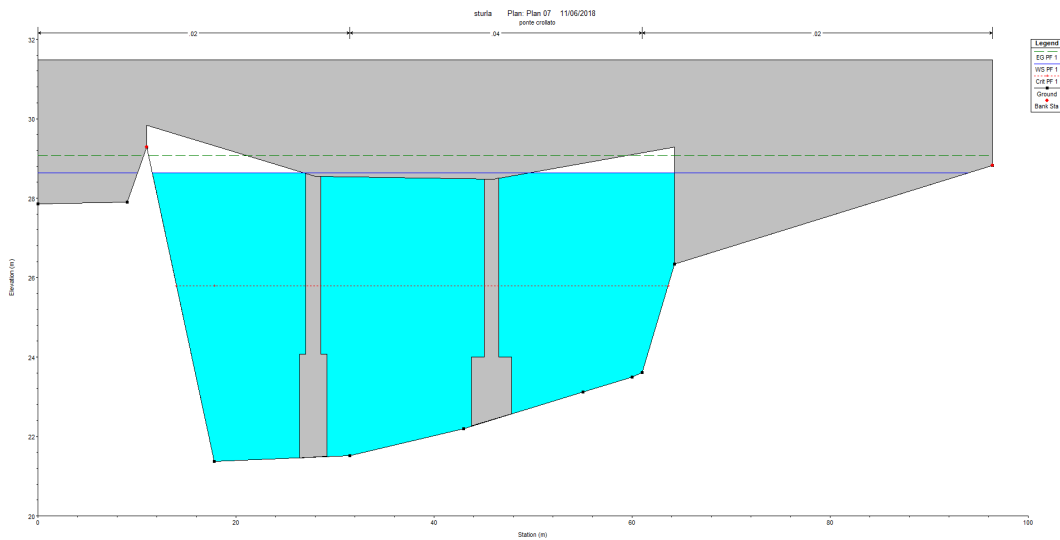
Figura 2.5: Profili di corrente in condizioni di rigurgito.

## Progetto di Idrodinamica Esercitazione 2

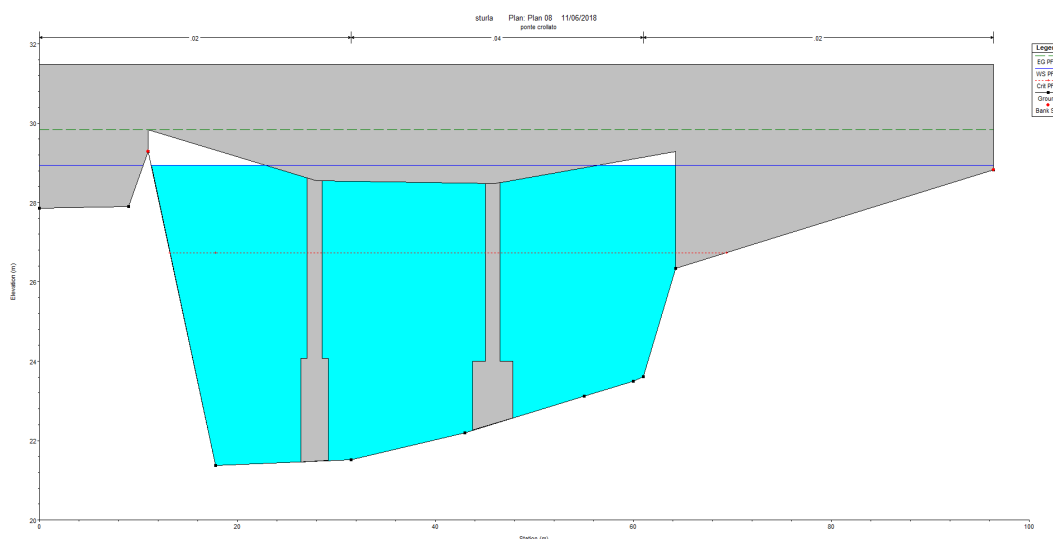
La differenza con il caso in condizioni normali sostanzialmente è a valle, dove si risente maggiormente di un effetto di superficie libera crescente proveniente dal Lavagna. Il primo elemento che va in crisi, oltre agli argini più a valle, è il ponte San Pietro essendo situato a circa 200m dall'imbocco. Quindi si analizza proprio la sua sezione con i tre tempi di ritorno, con un pericolo proveniente da valle.



(a) Tempo di ritorno 50anni



(b) Tempo di ritorno 200anni



(c) Tempo di ritorno 500anni

Figura 2.6: Sezione del ponte San Pietro in condizioni di rigurgito.

Nel tempo di ritorno di 50anni la situazione è ancora stabile, ma già nella prova successiva il livello dell'acqua va a toccare l'intradosso del ponte. Una situazione ben peggiore si può trovare nel tempo di ritorno di 500anni, dove l'acqua arriva quasi a coprire l'intera sezione sotto il ponte e creare una *corrente in pressione*.

Tempo di ritorno (anni)	Sup Libera $m$	Numero di Froude
50	26.42	0.39
200	28.83	0.35
500	29.47	0.41

Tabella 2.5: Risultati in condizioni di rigurgito nella sezione del ponte.

La *Tabella 2.5* riporta i dati risultanti in rigurgito nella sezione del ponte, sottolineando una corrente lenta in accordo con la teoria del rigurgito a valle. Inoltre si notano le altezze delle superfici libere superiori ai dati geometrici dell'intradosso del ponte, di quota circa 28.50m.

## Capitolo 3

# Conclusioni

In conclusione di questa analisi si può rispondere alla verifica idraulica, in condizioni di moto stazionario: è chiaro che le condizioni ambientali e superficiali dell'alveo non sono favorevoli al deflusso indisturbato dell'acqua da monte a valle. Notando i profili risultanti si hanno diversi punti di fenomeni localizzati con perdita di energia e variazioni di velocità; questi influiscono a rendere il torrente pericoloso per gli argini in condizioni di alte portate. Infatti, per basse portate si riscontra un alveo in condizioni *normali*, ma con portate dovute a tempi di ritorno maggiori è chiaro lo stato di pericolo dell'intero torrente, oltre che del ponte di esame San Pietro di Carasco.

Il caso del *rigurgito* dal Lavagna è contemplato troppo di rado negli studi di verifica idraulica. Questa è una situazione di estremo pericolo dato che la portata che potrebbe danneggiare il manufatto viene da valle e non da monte, quindi gli argini potrebbero facilmente collassare se questi non sono progettati adeguatamente. Inoltre, si nota il fenomeno di *condotta in pressione* che aumenta di molto la pericolosità del caso sviluppato. La conseguenza principale è il fenomeno di "luce di fondo", analizzato nell'idraulica e calcolato, con ipotesi di sezione rettangolare, come<sup>[1]</sup>:

$$Y_m = \frac{Q^2}{2g(cab)^2} \quad (3.1)$$

Ciò causa l'innalzamento repentino del profilo di monte rispetto al ponte, e di conseguenza il superamento degli argini dell'alveo.

Infine, si richiede il rispetto del metro di franco dall'argine, secondo la normativa del PGUAP. Da una prima osservazione risulta **non** verificato nei casi di piena, in particolare nei tempi di ritorno di *200anni* e *500anni*, specialmente nel caso del rigurgito da valle.





# Bibliografia

- [1] Dispense di lezione del corso di Idrodinamica, Marco Tubino, Università degli Studi di Trento, a. a. 2017/2018.
- [2] Hec-Ras, River Analysis System, US Army Corps of Engineers, User's Manual - 4.1.0 Version, Gennaio 2010.
- [3] Piano di Bacino Stralcio sul Rischio Idrogeologico, Ambito 16, Provincia Autorità di Bacino Regionale, Regione Liguria, 30/05/2018, Genova.
- [4] Planimetria quotata Sturla, rilievo del marzo 2013, rilievo eseguito dallo *Studio tecnico Associato 2L*, Comune di Chiavari (GE).
- [5] Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP) - Parte V, Provincia Autonoma di Trento, 15/02/2016, Trento.
- [6] Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche (PGUAP) - Parte VIII, Provincia Autonoma di Trento, 15/02/2016, Trento.