

Committente:

COMUNE DI VAL DELLA TORRE

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO



Oggetto:

MANUTENZIONE IDRAULICA DEL TORRENTE CASTERNONE

L.R. 54/75 e 19/78 - D.D. 4276 del 18.12.2017 - Programma interventi annualità 2017-2019

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

SCALA:

Identificazione elaborato	Ambito		Tipologia		Commessa	n° elaborato	
E2PE49618A02	E	2	P	E	496/18	A	02

Dati Progettisti / Consulenti

Ing. Massimo TUBERGA

Iscritto all'Albo Professionale dell'Ordine
degli Ingegneri della Provincia di Torino
n° 5452 Sezione A

Rev.	Redatto	Verificato	Validato	Data	Timbri e Firme
1	ing. M. Tuberga	ing. L. Marengo	ing. M. Tuberga	10-18	

Il Responsabile del procedimento:

FIRMA

File: E2PE49618A02.doc

GEO sintesi
Associazione tra Professionisti

geol. Edoardo RABAJOLI
ing. Massimo TUBERGA
ing. Luigi MARENCO
geol. Nicola QUARANTA
geol. Teresio BARBERO

C.so Unione Sovietica, 560 - 10135 Torino
Tel. 011 3913194 - Fax. 011 3470903
email : info@geoengineering.torino.it

1	PREMESSA.....	1
2	METODOLOGIA DI INDAGINE	1
2.1	Acquisizione dei dati.....	1
3	COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUL CORSO D'ACQUA	1
4	ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA	2
4.1	Fisiografia.....	2
4.2	Caratteristiche idrologiche	2
4.3	Caratteristiche dell'alveo	3
4.4	Geologia.....	4
5	IDROLOGIA.....	5
6	ANALISI IDRAULICHE	7
6.1	Geometria delle sezioni	9
6.2	Valori di scabrezza	9
6.3	Simulazione in moto permanente	10
7	RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE	14
8	VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE	15
9	ALLEGATO 1 - RISULTATI SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO PERMANENTE	20
9.1	CASTERNONE SOGLIA	22

1 PREMESSA

Nell'ambito del progetto esecutivo di "INTERVENTI DI MANUTENZIONE IDRAULICA DEL T. CASTERNONE", a mitigazione dei dissesti connessi ai ricorrenti eventi di piena stagionale, redatto su incarico del Comune di Val della Torre (TO) è stata condotta una indagine a carattere idrologico e idraulico che mira alla definizione delle portate di progetto attese e alla definizione dei livelli di piena che possono andare ad interferire con le opere in progetto previste nel settore di interesse. Definiti i parametri di deflusso in termini di altezza e velocità della corrente in condizioni di progetto si procederà infine alla verifica della stabilità delle opere previste.

Nei paragrafi che seguono sono esposti la metodologia di lavoro adottata e i risultati a cui si è pervenuti.

2 METODOLOGIA DI INDAGINE

2.1 Acquisizione dei dati

È disponibile un'ampia bibliografia circa il Torrente Casternone ed il relativo bacino, per cui l'acquisizione dei dati è stata realizzata mediante la consultazione di numerosi studi, tra cui:

- Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) - Rete idrografica minore naturale di pianura LINEE GENERALI DI ASSETTO IDROGEOLOGICO E QUADRO DEGLI INTERVENTI BACINO DEI TORRENTI CERONDA E CASTERNONE Redatto a cura dell'Autorità di bacino del Fiume Po

Per quanto concerne l'adozione della cartografia necessaria agli opportuni inquadramenti territoriali di rappresentazione ci si è avvalsi delle basi in scala 1:10.000 della Carta Regionale BDTRE e della cartografia tecnica provinciale alla scala 1:5000.

3 COMPETENZE AMMINISTRATIVE SUL CORSO D'ACQUA

Il Torrente Casternone risulta catastalmente censito come acqua pubblica. A seguito della Deliberazione del Consiglio regionale 31 gennaio 2012, n. 144-3789 Legge regionale 28 dicembre 2001, n. 38 (Costituzione dell'Agenzia interregionale per la

gestione del fiume Po – AIPO) - Ridefinizione dell'ambito territoriale di competenza dell'AIPO, esso risulta confermato di competenza del Servizio OO.PP e Difesa del Suolo della Regione Piemonte – Settore Decentrato Area Metropolitana Torinese.

4 ASPETTI FISICI DEL BACINO E DEL CORSO D'ACQUA

4.1 Fisiografia

Il Torrente Casternone, il cui alveo presenta uno sviluppo complessivo di circa 16 km, è un affluente di destra del Torrente Ceronda ed il suo bacino imbrifero è compreso tra le dorsali della bassa Val di Susa a Sud e della Valle di Lanzo a Nord. Le sue sorgenti si rilevano, ad una quota di circa 1350 m, sul versante meridionale del M.te Colombano e le sue acque incanalate, defluendo verso SE, lambiscono l'abitato di Val della Torre capoluogo e Brione, per confluire, in prossimità di S. Gillio e Druento, nel Torrente Ceronda.

Il bacino idrografico del Torrente Casternone, avente area complessiva di circa 59 km², nella sua parte valliva si sviluppa secondo una direttrice SE-NW, grosso modo parallela all'andamento del collettore principale ed è delimitato da una linea spartiacque, che raggiunge i 1650 metri in corrispondenza del M.te Colombano. Non sono presenti, nell'ambito del bacino, ghiacciai perenni e pertanto l'entità delle portate dell'asta fluviale è esclusivamente da attribuire al ciclo nivo-pluviale.

Le caratteristiche fisiografiche del bacino del T. Casternone alle sezioni di chiusura considerate dall'Autorità di Bacino, poste alla confluenza con il T. Ceronda (Sez.1) e all'altezza dell'abitato di S. Gillio (Sez. 2) sono qui riportate:

Sez.	A[km2]	Hmin[m.s.l.m.]	Hmed[m.s.l.m.]	L[km]	tc[h]
1	59	273	635	13	3.6
2	55	296	640	16	3.3

4.2 Caratteristiche idrologiche

Il bacino del Casternone è di tipo alpino pedemontano, con asta prevalentemente orientata in direzione ovest-est, esposto alla pianura (e alle correnti umide provenienti da sud) e quindi soggetto a precipitazioni più intense di quelle che arrivano a interessare le vallate interne della cerchia alpina. Le precipitazioni intense sono

decisamente elevate e prive di apporti nevosi consistenti per ampi periodi dell'anno, determinando portate specifiche molto gravose. Le piene si verificano generalmente in autunno, e in misura minore a fine primavera o a fine estate e presentano inoltre una frequenza nettamente superiore rispetto ai bacini alpini interni.

Nel bacino idrografico le precipitazioni medie di lungo periodo variano da 1000 mm/anno in pianura a 1300 mm/anno nel settore montano.

4.3 Caratteristiche dell'alveo

Dalle sorgenti sino al ponte di Via Castello, posto a monte del centro capoluogo e costituente di fatto il limite dello sbocco vallivo, esso attraversa con andamento irregolare un territorio esclusivamente boschivo. L'unità idraulico morfologica prevalente in questo tratto è la *step-pool*. La pendenza media dell'asta in tale tratto risulta pari a circa il 15%.

A valle di tale ponte la morfologia del corso d'acqua inizia a cambiare, l'alveo è caratterizzato dall'esistenza di alcune modeste zone golenali, che risultano essere potenziali bacini di laminazione delle piene fluviali e per il deposito di materiale solido. Tali zone di modesta ampiezza, risultano facilmente sovralluvionabili con riduzione della loro capacità di laminazione. L'indagine svolta ha evidenziato la natura torrentizia del corso d'acqua, caratteristica del quale è la portata idrica fortemente variabile nel corso dell'anno con piene stagionali. Durante i fenomeni di piena, nei settori di valle il corso d'acqua abbandona il suo letto di magra e divaga, asportando parte dei depositi preesistenti accumulati, mentre durante la fase di regressione del fenomeno di esondazione si formano i nuovi depositi, che modificano in tal modo il suo andamento pianoaltimetrico. In senso generale l'esame dei rilievi aerofotogrammetrici disponibili ha permessa di individuare una spiccata tendenza, da parte del corso d'acqua all'erosione della sponda destra. Per tali ragioni in passato furono realizzate estese difese di tale sponda, in modo particolare nell'immediato secondo dopoguerra fu realizzato un argine esteso dal Rio Verna al Rio Codano e più a valle all'altezza dell'abitato di Brione furono realizzati due pennelli, uno in destra e uno in sinistra idrografica a centrare la vena fluida al di sotto del Ponte di Brione posto in origine a servizio della S.P. 181, ora dismesso e posto a servizio della viabilità comunale. Successivamente, a seguito dell'evento alluvionale del Novembre '94, fu realizzata a valle del ponte suddetto una soglia in c.a. a impedire lo scalzamento delle pile e una estesa difesa antiersiva in destra idrografica difesa dell'abitato di Brione.

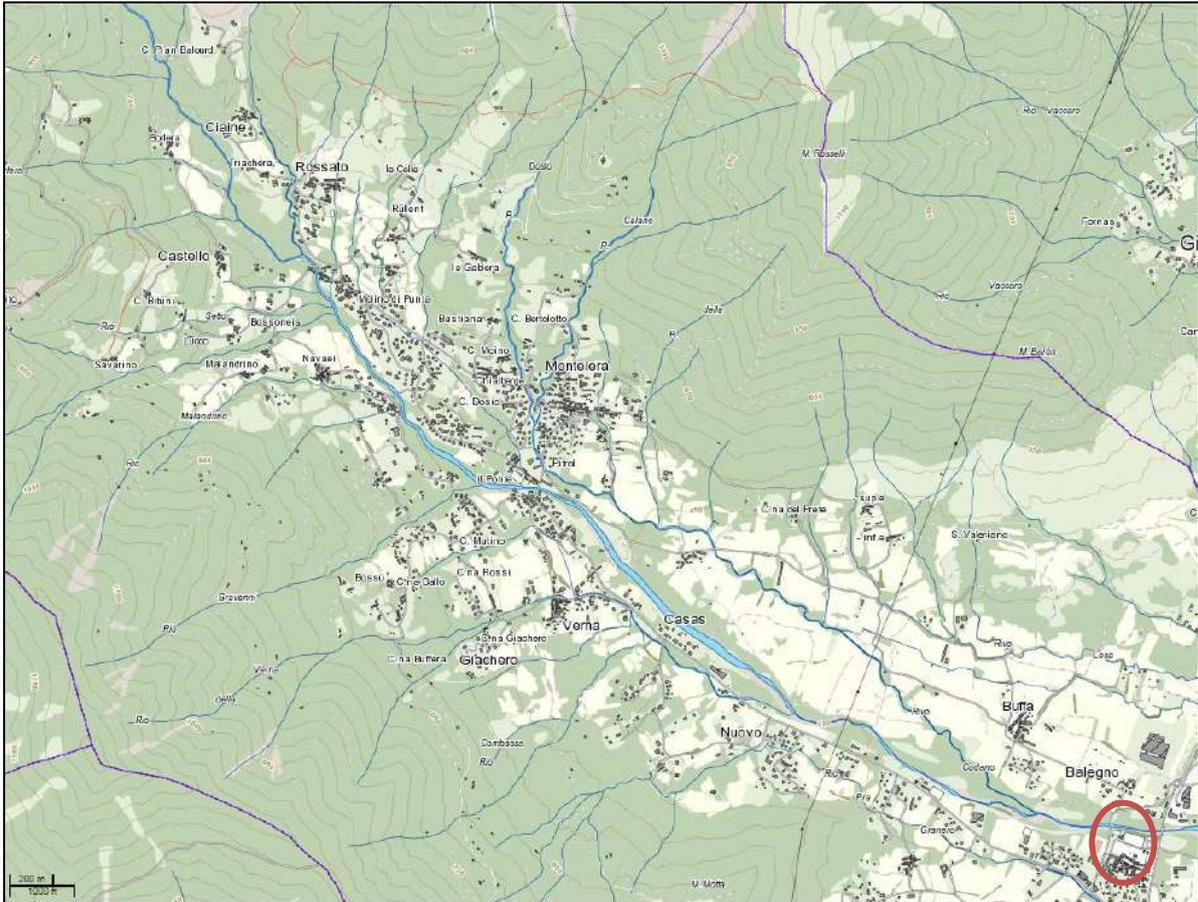


Figura 1: Inquadramento territoriale del bacino idrografico di interesse: in rosso il ponte di località Brione (Sfondo cartografico Regione Piemonte – non in scala)

4.4 Geologia

Dal punto di vista geologico il substrato pre-quadernario dell'area è riferibile alla grande massa di rocce ultrabasiche conosciuta con il termine di "Massiccio di Lanzo", che si estende tra la bassa Val di Susa e la bassa Val di Lanzo per una lunghezza di una ventina di chilometri ed una larghezza di circa 5 km. La sua natura litologica è rappresentata prevalentemente da peridotiti nella parte centrale, trasformate in serpentiniti verso la periferia, per effetto di processi metamorfici di età alpina. Il substrato affiora in modo discontinuo, essendo di norma celato da una coltre di prodotti di tipo eluvio-colluviale. La copertura detritica del basamento è caratterizzata da coltri eluvio colluviali e da depositi di natura alluvionale presenti in corrispondenza della zona di fondovalle e dello sbocco degli affluenti minori. E' da segnalare la presenza di orizzonti conglomeratici semilitoidi a tratti affioranti lungo l'alveo inciso anche nei settori di fondovalle.



Figura 2: Particolare affioramento livello conglomeratico in alveo a valle del ponte per il centro capoluogo

5 IDROLOGIA

Il presente capitolo riassume le metodologie, i contenuti ed i risultati degli studi idrologici disponibili finalizzati alla determinazione della portate sul bacino del Torrente Casternone oggetto di analisi ed alla definizione delle interferenze tra il territorio circostante l'asta e il deflusso delle portate di piena nel tratto in esame.

Obiettivo dello studio è stato quello di:

- fornire l'inquadramento idrologico generale dell'area di studio sulla base dei dati idroclimatici disponibili, delle caratteristiche morfologiche e di copertura del suolo;
- analizzare l'effetto dei deflussi nell'ambito del territorio delle piene di riferimento.

Sull'asta del T. Casternone non sono presenti stazioni idrometriche di misura diretta delle portate.

Il settore in esame risulta oggetto di delimitazione delle fasce fluviali nell'ambito del del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).

Per il T. Casternone tale delimitazione si attesta verso monte all'altezza del ponte della SP177 all'altezza del centro capoluogo. Per tale tratto d'alveo sono forniti dall'Autorità di Bacino i profili di piena relativi alla portata di riferimento utilizzata per la delimitazione

delle Fasce A e B del corso d'acqua. Tale portata corrisponde alla portata di progetto del corso d'acqua, definita come il valore per cui è dimensionato il sistema di opere strutturali di difesa. Nel Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'Autorità di Bacino si definiscono le portate di riferimento per le aste del bacino idrografico del T. Ceronda nel cui ambito ricade l'asta del T. Casternone in particolare risultano per un tempo di ritorno 200 anni i valori riportati nella seguente tabella:

Tratto	Portata (m ³ /s)
Torrente Casternone	300
Torrente Ceronda – monte confluenza Casternone	300
Torrente Ceronda – confluenza Stura	800

Figura 3: Portate di piena T. Casternone – Progetto di integrazione al piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto a cura dell'A. d. B. Po - Nel riquadro rosso il settore di maggior prossimità al settore di interesse

L'Autorità di Bacino del Fiume Po nell'ambito del recente "Piano per la valutazione e la gestione del rischio di alluvioni" di cui all'Art. 7 della Direttiva 2007/60/CE e del D.lgs. n. 49 del 23.02.2010 nell'elaborato "Profili di piena dei corsi d'acqua del reticolo principale" del Marzo 2016 definisce le portate di piena tra le altre anche in diverse sezioni dell'asta del T. Casternone.

I valori proposti risultano riportati nella tabella seguente tratta dal citato studio, non si riscontrano significative variazioni rispetto ai valori precedentemente proposti.

Tab. 4.15: portate di piena per i corsi d'acqua principali del bacino dello Stura di Lanzo (Stura di Lanzo, Ceronda, Casternone)

Bacino	Corso d'acqua	Sezione	Superficie	Q20	Q200	Q500	Idrometro		
								Progr. (km)	Cod.
Stura di Lanzo	Casternone	-	-	San Gillio	55	214	310	347	
Stura di Lanzo	Casternone	-	-	Confluenza in Ceronda	59	222	321	358	
Stura di Lanzo	Ceronda	-	-	La Cassa	62	176	255	285	
Stura di Lanzo	Ceronda	-	-	valle confl. Casternone	121	372	531	592	
Stura di Lanzo	Ceronda	-	-	Druento	140	462	662	738	
Stura di Lanzo	Ceronda	-	-	Venaria Reale	181	520	740	825	Ceronda a Venaria
Stura di Lanzo	Stura di L.	33.465	131	Lanzo Torinese	582	1080	1810	2120	Stura di Lanzo a Lanzo
Stura di Lanzo	Stura di L.	44.345	74	Robassomero	-	1080	1810	2120	
Stura di Lanzo	Stura di L.	57.053	8	Venaria Reale	-	1240	2080	2440	
Stura di Lanzo	Stura di L.	61.523	0.192	Torino	885	1240	2080	2440	Stura di Lanzo a Torino

Figura 4: Portate di piena T. Casternone – Nel riquadro rosso il settore di maggior prossimità al settore di interesse

Il suddetto studio definisce infine tre classi di rischio i cui risultati sono riportati nello stralcio cartografico seguente che di fatto non si discosta in modo significativo dal PAI vigente che recepisce gli studi geologici condotti in sede di adeguamento del PRGC.

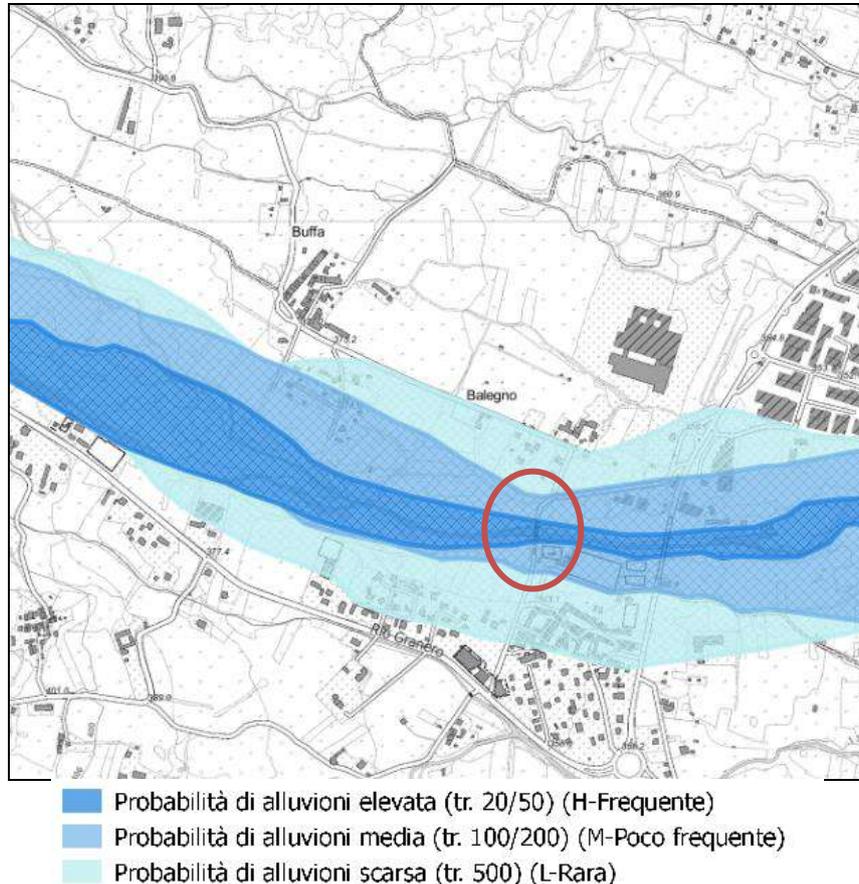


Figura 5: Mappe delle aree inondabili sul reticolo idrografico principale del bacino del Fiume Po - Fiume: Casternone –(Autorità di Bacino del Fiume Po, 2016)

6 ANALISI IDRAULICHE

Trattandosi di opere a mero scopo antiersivo l'obiettivo delle analisi idrauliche in moto permanente, riportate successivamente per l'alveo del T. Casternone, trattandosi di un intervento manutentivo non è risultato tanto quello di verificare la compatibilità tra le piene di progetto e le sezioni di deflusso di progetto, ma quello di definire le velocità e le altezze medie di deflusso utili a verificare la stabilità delle opere in progetto.

Infatti, come risulta dagli studi condotti dall'Autorità di Bacino, l'alveo inciso presenta nei confronti delle piene duecentennali e cinquecentennali una insufficienza idraulica, per cui i limiti della Fascia B e della Fascia C si pongono in settori esterni all'alveo inciso in fregio al quale si pongono le opere in progetto.

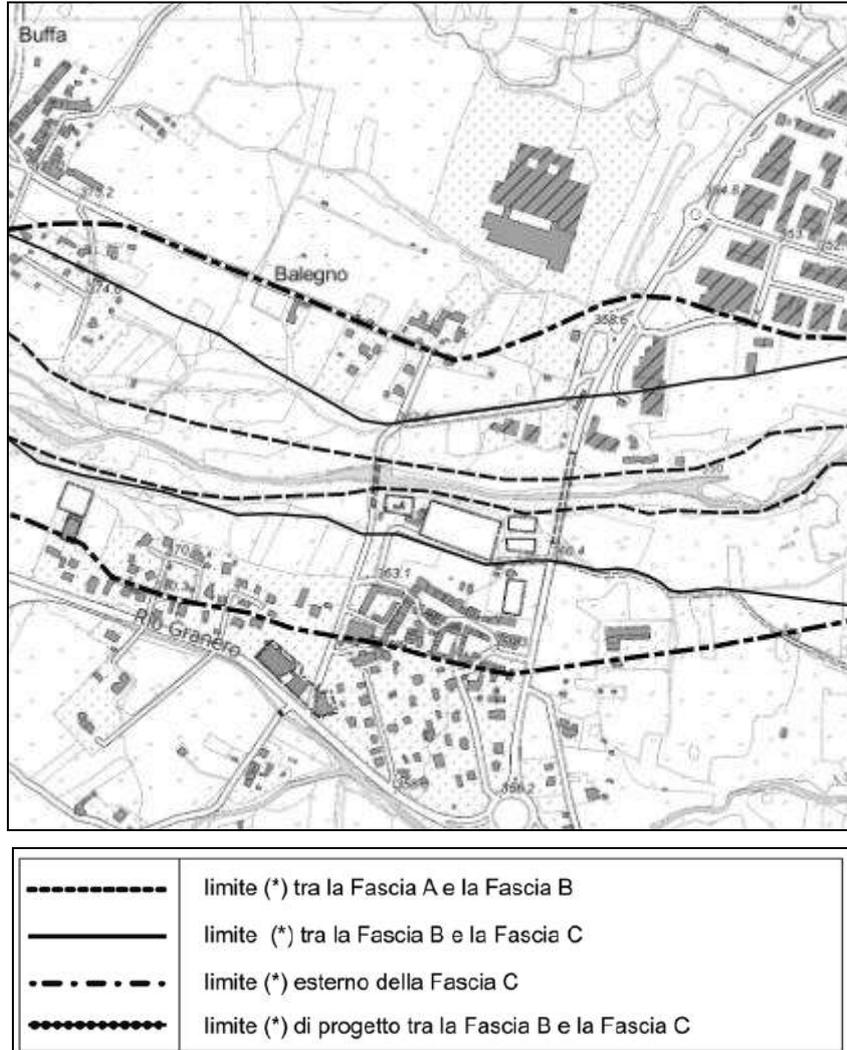


Figura 6: Limiti della Fasce Fluviali del PAI

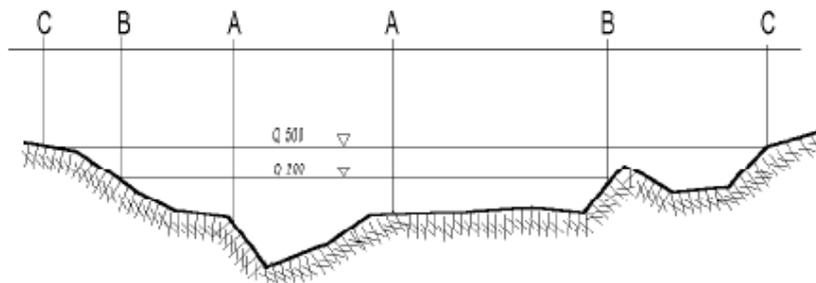


Figura 7: Identificazione dei limiti della Fasce Fluviali per i diversi tempi di ritorno

Fatta tale necessaria premessa, per inquadrare in un preciso contesto i risultati ottenuti dalle simulazioni in moto permanente di seguito riportati, risulta che la modellistica idraulica utilizzata necessita dei seguenti elementi di ingresso:

- piano quotato dell'asta fluviale presa in esame

- valori di scabrezza a caratterizzare la resistenza al moto dovuta all'attrito al contorno;
- condizioni al contorno necessarie per la taratura dei modelli.

6.1 Geometria delle sezioni

La geometria delle sezioni è stata ricavata mediante realizzazione di rilievi topografici dei settori di interesse, prestando attenzione ai cambiamenti significativi sia di sezione sia di pendenza del corso d'acqua in modo tale di ottenere una buona rappresentazione delle aste fluviali. Sono state quindi tracciate delle sezioni trasversali opportunamente infittite nei settori di condizionamento dell'alveo, per descrivere numericamente le caratteristiche dei tratti.

Le sezioni trasversali, come richiesto dal programma di simulazione idraulica, sono numerate da valle verso monte e sono visualizzate con vista da monte (sponda destra a destra) posizionate il più possibile perpendicolari al corso d'acqua.

6.2 Valori di scabrezza

Le condizioni di scabrezza sono state fissate utilizzando i dati presenti in letteratura (Chow V.T., 1959) con riferimento ai valori n di Manning.

I valori introdotti nel modello idraulico intendono rappresentare "la situazione a regime" e non le eventuali situazioni in evoluzione dovute a interventi di sistemazione. In altre parole, i valori di scabrezza introdotti tengono conto di quel degrado strutturale dei materiali e di quella presenza di accumuli (vegetazione, limo o ciottoli) indesiderata, ma comunque sempre presente in un alveo anche se a forte artificialità. In letteratura vengono riportati tali valori di riferimento:

- $n = 0,014 \div 0,020 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ indicato per *calcestruzzo grezzo*
- $n = 0.020 \div 0.040 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$ indicato per *fondo in terra irregolare con ciottoli*.

Per il torrente in analisi, in corrispondenza dell'alveo inciso è stato fissato un valore del coefficiente di Manning n pari a $0,025 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$.

Per le condizioni attuali del profilo di fondo si è fatto riferimento a condizioni di tipo veloce o misto, al variare della presenza di discontinuità e variazioni di pendenza significative. Come condizione al contorno di monte e di valle è stato assunto il deflusso in moto uniforme secondo le pendenze locali dell'asta.

6.3 Simulazione in moto permanente

La modellazione è effettuata allo stato attuale per simulare gli effetti determinati dall'evento di piena al fine di verificare la compatibilità idraulica tra l'asta fluviale e il territorio.

Il motore di calcolo del profilo è costituito dalla versione 4.1.0 di *Hec-Ras*, messo a punto dall'Hydrologic Engineering Center (HEC) di Davies, California alla fine degli anni '60 con il nome HEC-2. Adattato all'ambiente Windows® nel 1996 con la nuova denominazione di HEC-RAS (River Analysis System) e dotato d'interfaccia GUI.

Si tratta di un codice di calcolo diffuso a livello internazionale e ampiamente collaudato. Negli USA, in particolare, costituisce l'algoritmo di riferimento per la determinazione dei livelli idrici richiesto dalla FEMA nelle procedure connesse alla copertura assicurativa dei danni alluvionali.

Il codice di calcolo esegue la determinazione del profilo del pelo libero nelle condizioni di moto permanente monodimensionale. Il profilo del pelo libero è calcolato per ogni sezione trasversale risolvendo l'equazione dell'energia con una procedura iterativa denominata *standard step method* ampiamente descritta nei testi classici dell'idraulica delle correnti a pelo libero.

L'equazione dell'energia fra due sezioni trasversali (1) e (2), con la sezione 1 ubicata a valle della sezione 2, viene scritta nella forma classica, riferita all'unità di peso del liquido:

$$y_2 + z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = y_1 + z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e$$

dove:

y	profondità della corrente nella sezione [m]
z	quota del fondo [m]
V	velocità media della corrente nella sezione [portata totale/area totale]
α	coefficiente di Coriolis che tiene conto della forma della sezione
g	accelerazione di gravità pari a 9.81 [m/s ²]
h_e	perdita di energia [m]

Il significato geometrico dei simboli è illustrato nella Figura 8:

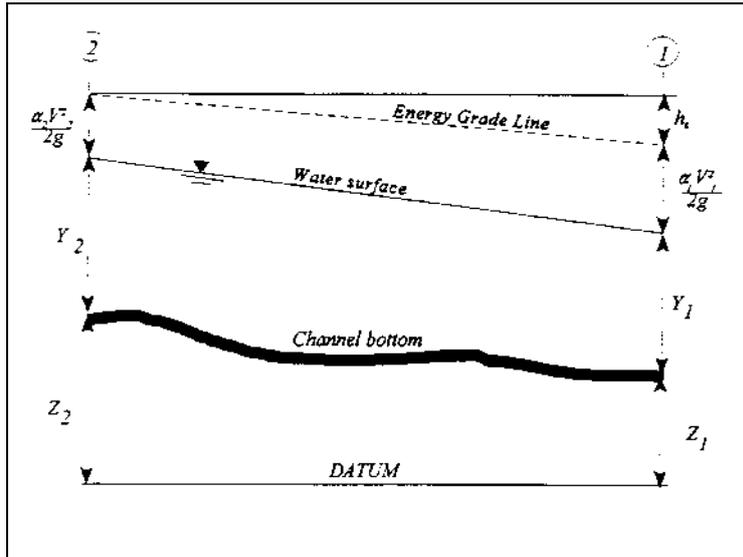


Figura 8: Rappresentazione dei termini dell'equazione dell'energia (da Manuale d'uso Hec-ras 2001)

La sezione trasversale del corso d'acqua viene rappresentata mediante ascissa e ordinata dei punti rilevati e schematizzata in tre settori rilevanti ai fini del convogliamento della portata: golena sinistra (indicata con pedice lob), canale principale (pedice ch), golena destra (pedice rob), ritenendo che in ciascuno dei tre settori la distribuzione di velocità sia uniforme (in caso contrario si procederà ad ulteriori suddivisioni, come riferito in seguito).

La perdita di energia tra due sezioni, espressa dal termine h_e , comprende le perdite dovute alla resistenza distribuita (in funzione della scabrezza) e le perdite localizzate per espansione o restringimento delle sezioni, secondo la relazione:

$$h_e = L \cdot S_f + C \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

L = lunghezza del tronco (in metri), ponderata in funzione della media delle portate defluenti nelle tre porzioni in cui può essere suddivisa divisa ciascuna sezione, secondo quanto detto sopra. La relazione per la ponderazione citata è:

$$L = \frac{L_{lob} \bar{Q}_{lob} + L_{ch} \bar{Q}_{ch} + L_{rob} \bar{Q}_{rob}}{\bar{Q}_{lob} + \bar{Q}_{ch} + \bar{Q}_{rob}}$$

dove i simboli L , ciascuno con il proprio pedice, indicano le distanze dei rispettivi settori in cui è stata divisa ciascuna sezione e i simboli Q le portate defluenti in ciascuna porzione delle due sezioni (in m^3/s);

S_f = pendenza media della linea dell'energia tra le due sezioni;

C = coefficiente di contrazione o di espansione. Si osservi che per espansione o contrazione non si intende aumento o diminuzione dell'area bagnata tra la sezione di monte e quella di valle, ma diminuzione o aumento del termine cinetico tra monte e valle.

La determinazione della capacità di convogliamento totale della sezione richiede che la sezione trasversale sia suddivisa in settori ove la corrente defluisca con velocità uniformemente distribuita. La portata in ciascun settore è calcolata dalla formula espressa in m³/s:

$$Q = K S_f^{0.5}$$

secondo la scrittura tradizionale nella letteratura idraulica anglosassone per cui:

K = capacità di convogliamento di ciascun settore (m³/s)

espressa come:

$$K = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot A$$

con

n coefficiente di scabrezza [m^{-1/3} s] secondo Manning

A area bagnata del settore di area [m²]

R raggio idraulico del settore [m]

	<i>Contrazione</i>	<i>Espansione</i>
<i>Nessuna variazione</i>	0.0	0.0
<i>Variazione graduale</i>	0.1	0.3
<i>Tipica situazione in corrispondenza di un ponte</i>	0.3	0.5
<i>Brusca variazione</i>	0.6	0.8

Tabella 1: Coefficienti di contrazione ed espansione tra sezioni

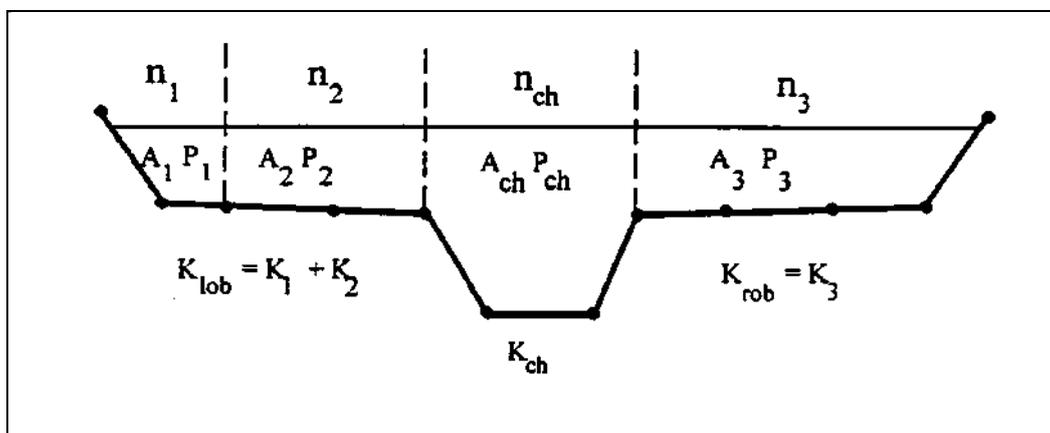


Figura 9: Suddivisione di una sezione trasversale in settori con scabrezza uniforme (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

Il programma provvede a sommare le portate parziali per ciascun settore e determina la portata dell'area golenale sinistra e destra di ciascuna sezione. La portata totale della sezione è data dalla somma di queste due portate e della portata relativa al canale principale, di norma considerato come unico settore. Qualora si desideri prendere in esame eventuali differenze di scabrezza nel canale principale, il programma ne deriva la scabrezza equivalente quale unico valore, se la pendenza delle scarpate è maggiore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale) con la formula:

$$n_c = \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i n_i^{1/5})}{P} \right]^{2/3}$$

con:

n_c	coefficiente di scabrezza equivalente
P	contorno bagnato dell'intero canale principale
P_i	contorno bagnato della i-esima suddivisione
n_i	scabrezza della i-esima suddivisione

In caso contrario, ossia pendenza delle scarpate minore di 1 (verticale) su 5 (orizzontale), l'alveo principale viene trattato come un'area suddivisa in diversi settori analogamente a quanto avviene per le golene.

Con tali premesse, in caso di variazione della scabrezza nella sezione, viene calcolato il coefficiente di Coriolis secondo la formula generale:

$$\alpha = \frac{Q_1 V_1^2 + Q_2 V_2^2 + \dots + Q_N V_N^2}{Q \bar{V}^2}$$

che può essere espressa in termini delle capacità di convogliamento di ciascuno dei tre settori della sezione. La relazione allora diventa:

$$\alpha = \frac{(A_{tot})^2 \left[\frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right]}{(K_{tot})^3}$$

con il significato dei simboli precisato sopra.

Infine, la pendenza della linea dell'energia media fra due sezioni viene determinata nel codice di calcolo, salvo diversa richiesta, con la relazione:

$$\bar{S}_f = \left(\frac{Q_1 + Q_2}{K_1 + K_2} \right)^2$$

essendo le due sezioni indicate con il relativo pedice numerico.

Il programma consente la simulazione del deflusso attraverso ponti e tombinature mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.) valutando la corrente a pelo libero e il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato oltre alla combinazione della corrente in pressione con quella determinata dallo scavalco dell'impalcato stesso.

Il programma, infine, permette di simulare lunghi tratti tombinati a sezione variabile mediante l'opzione denominata *lid*, che computa le sezioni munite di *lid* come se fossero sezioni a cielo aperto utilizzando l'equazione dell'energia per il bilanciamento del profilo del pelo libero con l'unica differenza di sottrarre area e aggiungere perimetro bagnato quando il pelo libero viene a contatto con la copertura.

<i>Typical drag coefficients for various pier shapes</i>	
<i>Pier Shape</i>	<i>Drag Coefficient Cd</i>
<i>Circular pier</i>	1.200
<i>Elongated piers with semi-circular ends</i>	1.330
<i>Elliptical piers with 2:1 length to width</i>	0.600
<i>Elliptical piers with 4:1 length to width</i>	0.320
<i>Elliptical piers with 8:1 length to width</i>	0.029
<i>Square nose piers</i>	2.000
<i>Triangular nose with 30 degree angle</i>	1.000

Tabella 2: Coefficienti di resistenza consigliati dal manuale Hec-ras (da Manuale d'uso Hec-ras, 2001)

7 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IN MOTO PERMANENTE

L'alveo nel tratto di interesse è stato schematizzato con l'inserimento di 10 sezioni trasversali rappresentative dello stato di progetto.

La portata di progetto assunta, conformemente alle assunzioni del PAI, risulta pari a 310 mc/s.

I risultati ottenuti in termini di caratteristiche del moto per la piena di progetto sono riportati nello specchio seguente:

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl
			(m3/s)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m/m)	(m/s)	(m2)	(m)	
brione	10	PF 1	310	359.35	361.21	361.72	362.85	0.019019	5.81	57.72	48.02	1.45
brione	9	PF 1	310	359.27	362	361.48	362.41	0.00285	3	114.21	56.86	0.6
brione	8	PF 1	310	359.06	361.98	361.46	362.39	0.002884	2.97	115.1	58.57	0.6
brione	7.5		Bridge									
brione	7	PF 1	310	358.81	361.08	361.31	362.2	0.003661	4.73	70.06	55.37	1.17
brione	6	PF 1	310	358.79	361	361.3	362.19	0.013655	4.86	66.62	54.23	1.22
brione	5	PF 1	310	358.67	360.91	361.2	362.15	0.006269	4.97	64.99	47.29	1.24
brione	4	PF 1	310	358.51	360.13	360.7	362.07	0.012638	6.22	51.29	40.19	1.71
brione	3	PF 1	310	358.27	359.86	360.5	361.99	0.013946	6.5	48.96	38.86	1.8
brione	2	PF 1	310	357.89	359.39	360.13	361.82	0.039588	7.06	46.72	45.25	2
brione	1	PF 1	310	357.2	359.65	360.23	361.37	0.011982	5.93	57.7	39.02	1.22
brione	0.5	PF 1	310	353.36	355.1	356.26	359.9	0.024953	9.92	35.34	37.44	2.48

Con riferimento alla portata con tempo di ritorno duecentennale, la corrente nel tratto di intervento è di tipo veloce (numero di Froude maggiore di 1 e profilo idrico minore dell'altezza critica della corrente) e le portate defluiscono con velocità media della corrente di 6-7 m/s e altezze variabili da 1,5 a 1,6 m.

8 VERIFICA STABILITA' DEL RIVESTIMENTO SPONDALE

In letteratura sono disponibili varie formule per la valutazione della stabilità dei materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente.

Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici della velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze. Seguendo il criterio che si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalle corrente sul materiale costituente il letto fluviale, la condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_0 \geq \tau_{cr}$, ovvero quando la tensione tangenziale critica è minore o uguale a quella esercitata dalla corrente

Al fine di impostare in modo corretto la progettazione della corazzatura del fondo nel tratto in esame, occorre valutare in termini numerici, partendo dai valori delle portate e dei livelli di massima piena h definiti in precedenza, l'azione di erosione esercitata dalla corrente sul materiale costituente il rivestimento in progetto.

Lo sforzo tangenziale massimo τ_0 è ricavabile mediante grafici simili a quelli di figura segunete, dove sono riportati i valori ξ dello sforzo tangenziale massimo adimensionalizzato sul fondo e sulle sponde, in funzione del tipo di sezione e del rapporto b/h con b larghezza del fondo.

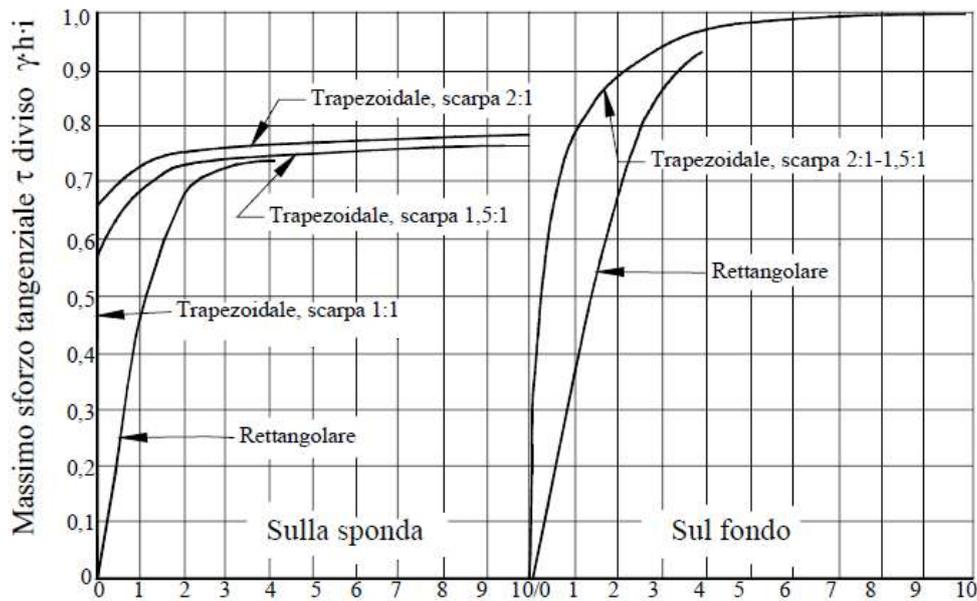


Figura 10- Sforzi tangenziali sul fondo e sulle sponde di alvei a sezione trapezia (Lane e Carlson, 1953), (Maione U., Brath A., Moderni criteri di sistemazione degli alvei fluviali, Editoriale Bios, 1994)

Lo sforzo tangenziale è adimensionalizzato rispetto alla quantità $\gamma \cdot h \cdot i$, con i pendenza locale della linea dell'energia e γ peso specifico dell'acqua, e quindi può essere espresso dalla relazione:

$$\tau_0 = \xi * \gamma * h * i$$

da cui si ricava la velocità di attrito locale:

$$u^* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = (\xi * g * h * i)^{1/2}$$

e il numero di Reynolds della singola particella:

$$Re^* = u^* \cdot d / \nu$$

dove ν è la viscosità cinematica dell'acqua pari a 10^6 e d il diametro;

Noto tale parametro si calcola il parametro di mobilità critica di Shields θ_c che nel caso di alveo orizzontale, per $Re^* \geq 400$, si assume pari al valore 0,06:

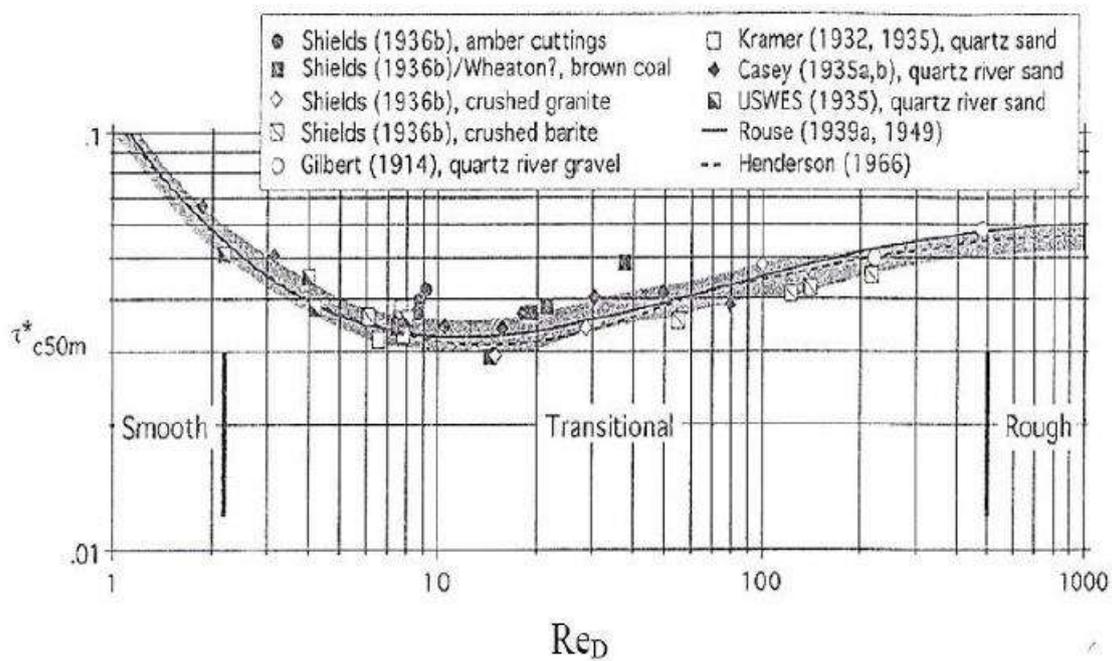


Figura 11- Abaco di Shields (1936)

Risulta:

$$\theta_c = \frac{u^2}{g d \Delta} \quad \text{dove } \Delta = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\gamma_w}$$

tale valore critico può essere va corretto per tenere in conto:

- la pendenza del fondo qualora non trascurabile,
- la bassa sommergenza relativa in caso di protezioni di sponde, cioè dimensione dei massi dello stesso ordine del tirante idrico
- dell'inclinazione delle protezioni spondali nel caso di mantellate di sponda.

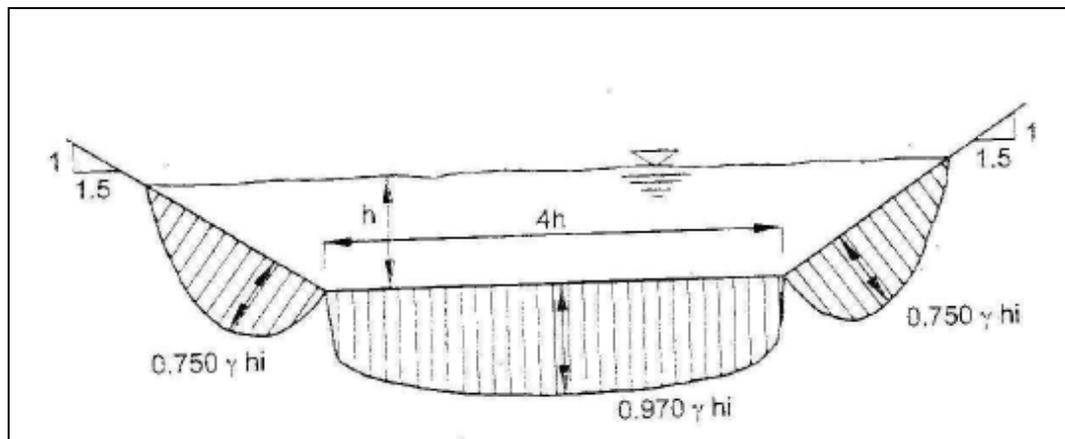


Figura 12- Andamento sforzo tangenziale per alveo trapezio

I fattori di correzione possono esprimersi nel seguente modo:

- $k_1 = (\cos\alpha - \sin\alpha/\text{tg}\varphi)$, nel caso di pendenza del fondo non trascurabile, dove α è la pendenza del fondo alveo e φ l'angolo di attrito del materiale lapideo del fondo alveo;
- $k_2 = (1 + 0,67 (d/h)^{1/2})$ nel caso occorra computare gli effetti della sommergenza relativa (Armanini A., 1990);
- $k_3 = \cos\beta * (1 - \text{tg}^2\beta / \text{tg}^2\varphi_s)^{1/2}$ nel caso si debba considerare la pendenza delle sponde (Lane E.W., 1953), con β pendenza delle sponde e φ_s angolo di attrito del materiale lapideo di rivestimento della sponda.

I coefficienti appena illustrati possono essere applicati anche insieme se si presentano contemporaneamente alcune delle situazioni descritte.

Noto il parametro di mobilità critica si determina il valore del diametro dei massi attraverso la formula:

$$d = u^2 / g * \Delta * \theta_c$$

Per sponde in curva tale espressione andrà corretta con un fattore compreso tra 1 e 2 in funzione del raggio di curvatura e dell'ampiezza del pelo libero secondo l'abaco delle figura seguente

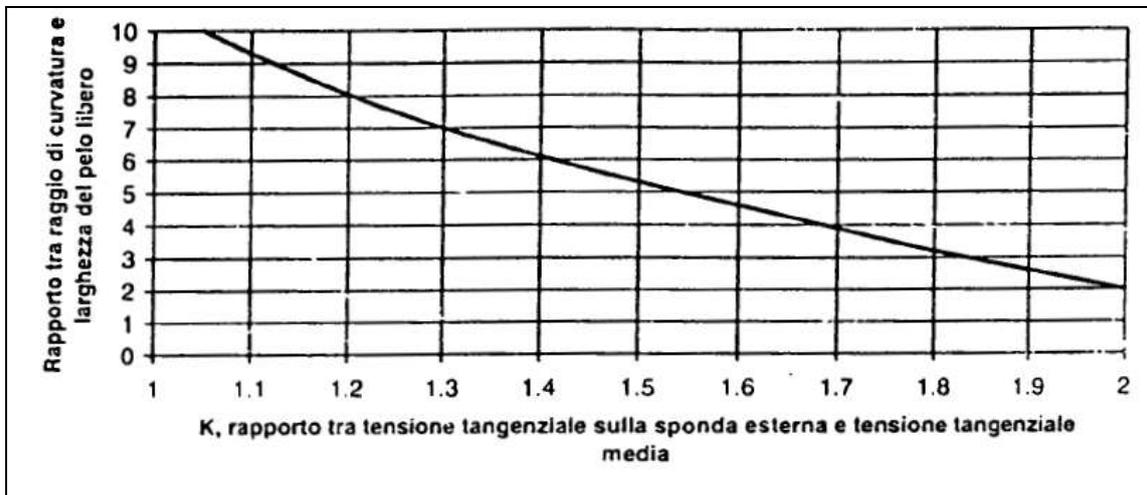


Figura 13- Fattore di correzione per alvei non rettilinei

Nel caso di specie si prevede l'utilizzo di massi con volume non inferiore a 0,30 mc da cui un diametro equivalente teorico di circa 0,80 m.

Nel caso di specie l'alveo del Casternone a valle del ponte di Via Givoletto presenta una ampiezza variabile da 40 a 20 m, si assume mediamente B peri a 30 m con pendenza media del 5%. Le verifiche idrauliche in morto permanente, riportate nella

relazione idraulica di progetto, evidenziano un battente medio $h = 1,60$ m da cui un rapporto $b/h > 10$. Si ricava dalla Fig. 10:

$$\xi = 1,00$$

Da cui

$$u^* = (\tau_0 / \rho)^{1/2} = (\xi * g * h * i)^{1/2} = (1,00 * 9,81 * 1,6 * 0,05)^{1/2} = 0,886$$

risulta $Re^* = 0,886 * 0,8 * 10^6 > 400$ per cui $\theta_c = 0,06$

avendo assunto, come detto, un diametro della particella di 0,80 m, pari a un volume di una sfera equivalente di circa 0,3 mc.

Al valore critico $\theta_c = 0,06$ occorre apportare le correzioni descritte in precedenza essendo:

- Angolo di attrito materiale lapideo = in alveo 45°
- Inclinazione del fondo 5% = $2,9^\circ$

$$k_1 = (\cos \alpha - \sin \alpha / \tan \varphi) = 0,95$$

$$k_2 = (1 + 0,67 (d/h)^{1/2}) = 1,47$$

$$\text{Risulta } \theta^* c = 0,06 * 0,95 * 1,47 = 0,084$$

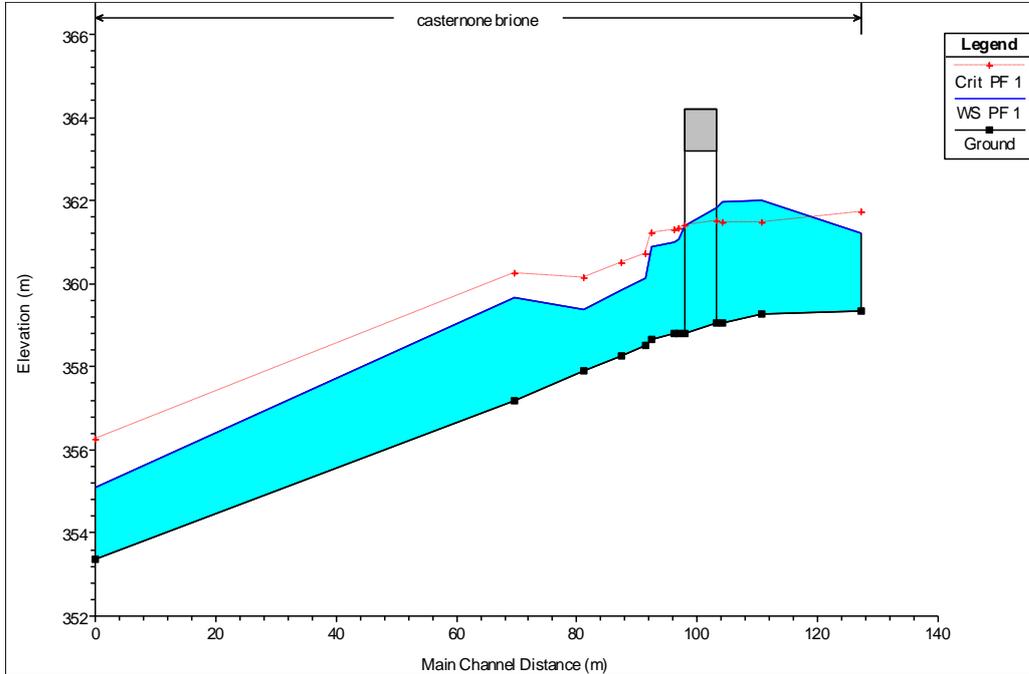
da cui:

$$d = u^2 / g * \Delta * \theta_c = 0,886^2 / 9,81 * 1,7 * 0,084 = 0,56 \text{ m}$$

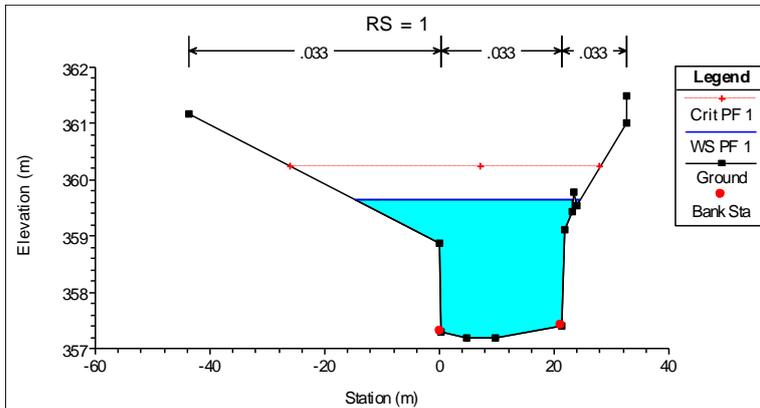
diametro inferiore al valore ipotizzato di 0,80 m rappresentativo di massi con volume minimo di 0,3 mc.

**9 ALLEGATO 1 - RISULTATI SIMULAZIONI IDRAULICHE IN MOTO
PERMAMENTE**

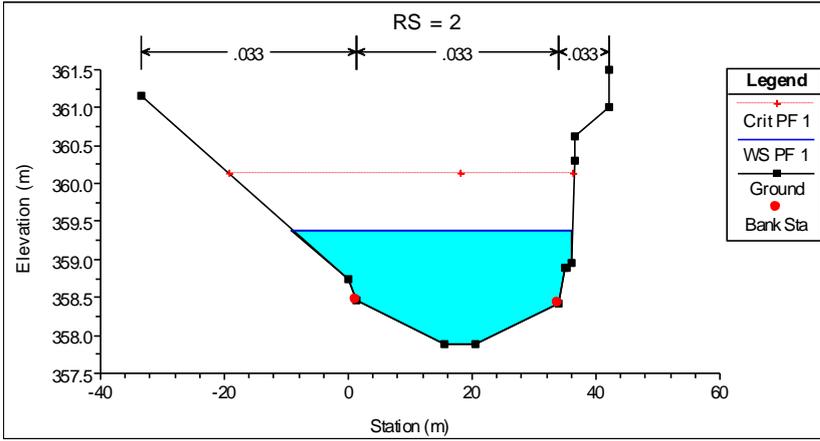
9.1 CASTERNONE SOGLIA



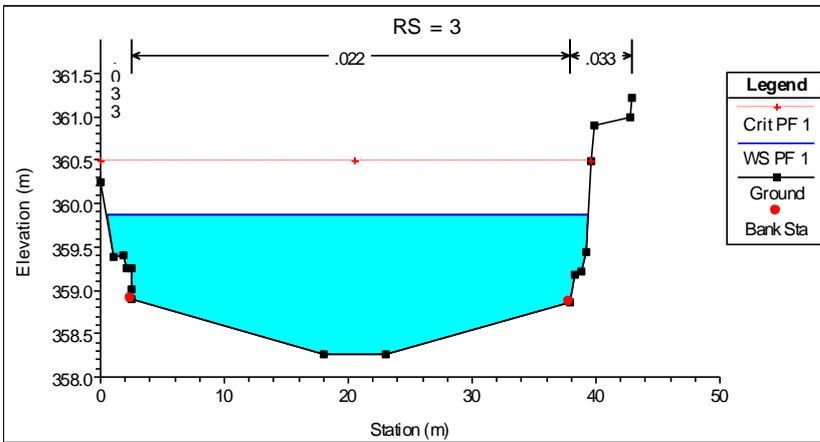
PROFILO



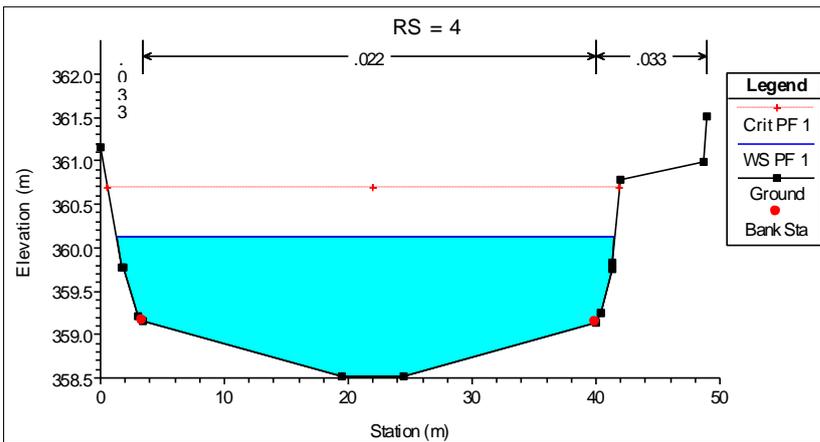
Sezione 1



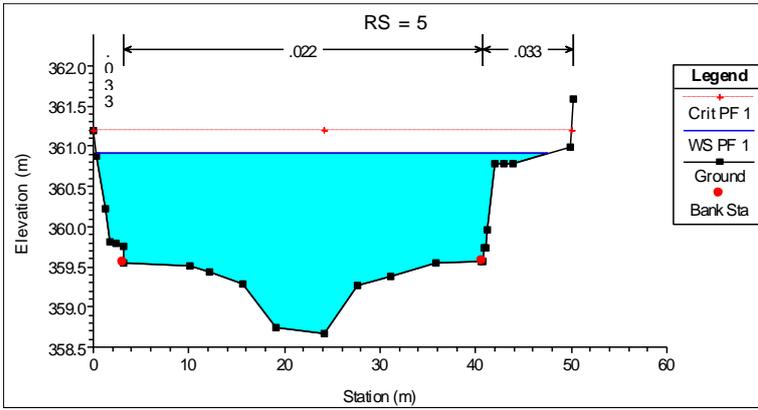
Sezione 2



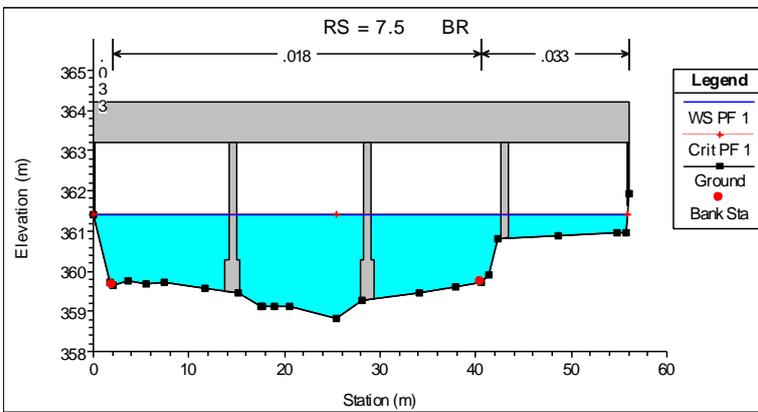
Sezione 3



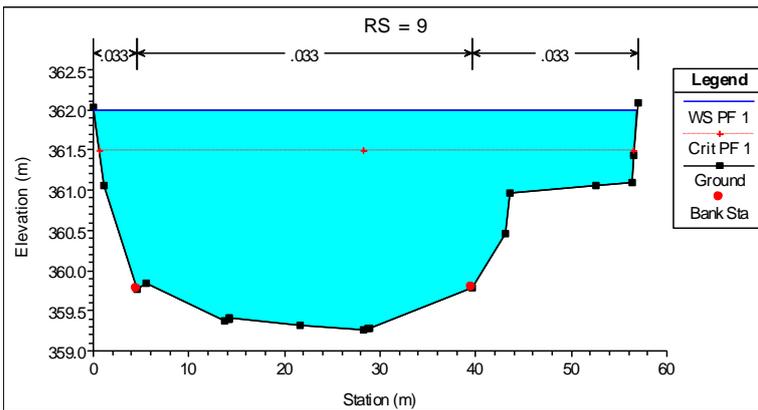
Sezione 4



Sezione 5



Sezione 7.5



Sezione 9