




REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

## COMUNE DI QUARTU SANT'ELENA

### LAVORI DI: "SISTEMAZIONE IDRAULICA RIO FOXI A PROTEZIONE DELL'ABITATO - I STRALCIO FUNZIONALE"

#### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

DATA: <b>ottobre 2022</b>	SCALA:	REV: <b>0</b>	ALLEGATO:
ELABORATO: <b>RELAZIONE IDRAULICA</b>			<b>3</b>
PROGETTISTA: <b>Dott. Ing. Alessia Vargiu</b>		COLLABORATORI: Dott.ssa Nadia Marongiu Dott. Alessandro Santus Geom. Luisa Antonetti	
RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO: <b>Dott. Ing. Luca Baccara</b>			

## INDICE

<b>1</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>IL MODELLO IDRAULICO .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO.....</b>	<b>5</b>
3.1	DETERMINAZIONE DEL PROFILO DELLA CORRENTE .....	5
3.2	IL CODICE DI CALCOLO HEC RAS .....	5
<b>4</b>	<b>SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI.....</b>	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>PARAMETRI DI VERIFICA .....</b>	<b>7</b>
5.1	I CALCOLI IDRAULICI .....	10
5.2	PERDITE DI CARICO .....	11
5.3	PERDITE PER ATTRITO .....	12
5.4	PERDITE PER CONTRAZIONE ED ESPANSIONE .....	13
5.5	SEZIONI INTERPOLATE.....	15
5.6	LE GIUNZIONI .....	15
5.7	PONTI ED ATTRAVERSAMENTI IN SEZIONI CHIUSE.....	15
5.8	DETERMINAZIONE DEL PROFILO DI MOTO PERMANENTE .....	17
<b>6</b>	<b>RISULTATO DELLE ANALISI.....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>
<b>7</b>	<b>CONSIDERAZIONI GENERALI SUI RISULTATI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE .....</b>	<b>ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.</b>

## 1 METODOLOGIA

Lo scopo delle analisi idrauliche è l'individuazione delle aree suscettibili di essere inondate da eventi di piena caratterizzati da assegnato tempo di ritorno, sia per lo stato attuale che per quello di progetto. Le metodiche utilizzate seguono rigorosamente quanto prescritto nelle Linee Guida del PAI.

In generale, tutte le analisi sono state condotte assumendo lo stato stazionario (moto permanente) sebbene i processi di propagazione delle onde di piena siano fenomeni di moto vario.

Questa ipotesi è supportata dal fatto che le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario. Lo studio si è svolto secondo le seguenti fasi:

1. definizione della configurazione del sistema;
2. ricostruzione della geometria dell'alveo mediante rilievo e analisi dei progetti esistenti;
3. individuazione delle condizioni al contorno e implementazione della idrologia del sistema;
4. ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente;
5. tracciamento delle aree di inondazione
6. individuazione degli elementi a rischio;
7. tracciamento delle aree a rischio.

Ogni fase ha comportato l'analisi di studi, progetti e documenti esistenti, nonché indagini presso enti e rilievi di campagna. In particolare, oltre alla documentazione propria del PAI, sono stati esaminati i progetti relativi alle opere realizzate sul territorio.

## 2 IL MODELLO IDRAULICO

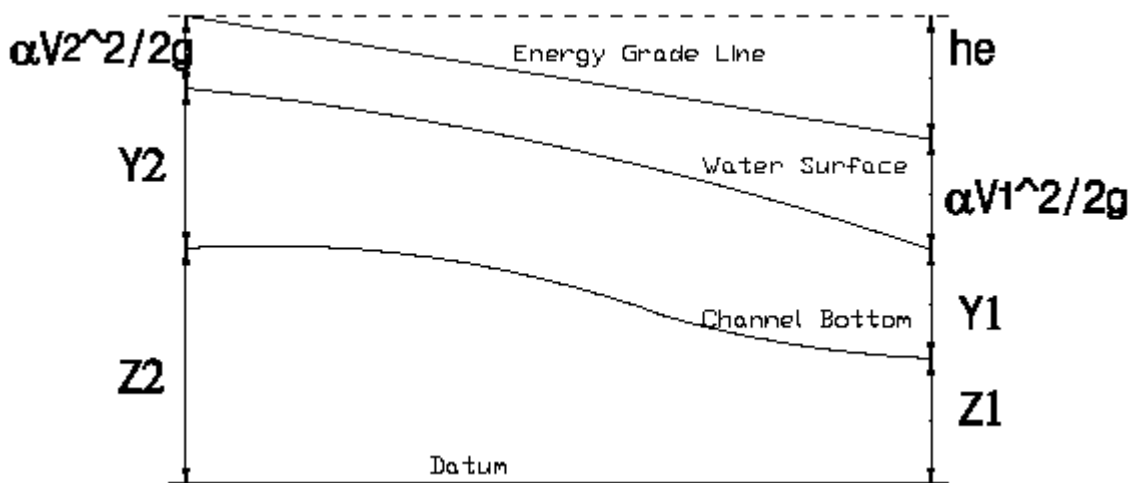
Il modello idraulico utilizzato in questo studio, denominato HEC-RAS, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto permanente e non permanente.

Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza con il PAI che ha individuato e perimetrato le aree a rischio idraulico e utilizzando questo codice di calcolo. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, e in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate. Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite

ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente ecc.

### Moto permanente

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata *standard step*, risolvendo le equazioni del bilancio energetico (vedi Figura 1)



$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \times V_2^2 / 2g = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \times V_1^2 / 2g - h_e \quad (1)$$

$$h_e = L \times S_{(1-2)} + C_i \times [\alpha_2 V_2^2 / 2g - \alpha_1 V_1^2 / 2g] \quad (2)$$

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente  $C$  varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori. L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta e veloce o

viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni. Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

#### *Condizioni al contorno in moto permanente*

Assegnato il valore di portata di moto permanente, nel caso di corrente lenta occorre specificare una condizione al contorno di valle; viceversa, per correnti veloci, è richiesta la definizione di una condizione al contorno di monte. Per un regime misto, invece, si rende necessaria la specifica di entrambe le condizioni, ovvero a monte e a valle. HEC-RAS ammette la definizione delle condizioni al contorno attraverso la specifica di un valore di altezza assegnato, oppure imponendo il passaggio del profilo per l'altezza critica, oppure per l'altezza di moto uniforme.

### **3 DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO**

Le verifiche idrauliche si riferiscono alle portate con tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni. Il profilo della corrente viene determinato ipotizzando, come detto, condizioni di moto permanente in quanto le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario.

#### **3.1 Determinazione del profilo della corrente**

L'inalveamento della corrente consente di considerare la corrente con una schematizzazione monodimensionale, ipotizzando che siano assenti le esondazioni con componenti del moto ortogonali all'asse del corso d'acqua, e potendo così ricorrere a schemi di calcolo sufficientemente semplici e robusti da non destare problemi numerici e necessità di complesse analisi di sensitività per la validazione del modello stesso. Il codice di calcolo HEC RAS e i criteri dell'analisi viene descritto nei paragrafi successivi.

#### **3.2 Il codice di calcolo HEC RAS**

HEC RAS è un codice sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il software è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idraulico di un corso d'acqua in regime di moto permanente e/o in regime di moto vario, nonché le problematiche legate al trasporto solido.

In ciascuna di queste tre tipologie di studio il programma è in grado di utilizzare sia le proprietà intrinseche del terreno (in particolare in termini di coefficiente di scabrezza di Manning), sia le proprietà geometriche della sezione del corso d'acqua. Il sistema può analizzare una rete di canali o un singolo corso d'acqua.

Per l'analisi del moto, HEC RAS richiede la portata nota su ogni ramo (o parte di esso), inoltre è necessario definire le condizioni al contorno a monte (che saranno valide per una corrente veloce) e a valle (che saranno valide per una corrente lenta) dei rami, unitamente alle caratteristiche delle confluenze. Il software permette di imporre una corrente lenta, un regime di corrente veloce ovvero di determinare autonomamente il profilo della corrente in regime misto.

Le condizioni al contorno utilizzabili sono:

- altezza nota del pelo libero;

- passaggio per l'altezza critica;
- altezza di moto uniforme (per una particolare pendenza assegnata);
- scala delle portate.

La procedura di calcolo è basata sulla risoluzione dell'equazione monodimensionale dell'energia, in cui le perdite di carico sono valutate tramite il coefficiente di scabrezza di Manning.

È possibile valutare i fenomeni di contrazione e allargamento della corrente tramite opportuni coefficienti di contrazione/espansione allorquando si abbiano variazioni di sezione in brevi tratti (è il caso ad esempio in cui si hanno restringimenti dovuti al passaggio tra le pile di un ponte ed il conseguente allargamento).

Il punto di partenza è l'input della geometria del sistema, costituito dal corso d'acqua principale e da tutti gli affluenti, le sezioni trasversali, tutte le interferenze (ponti, passaggi all'interno di condotte circolari, a sezione rettangolare e comunque di qualunque forma, chiuse, ma in generale ogni variazione di sezione e/o la sua ostruzione).

Ogni sezione, di un determinato ramo del corso d'acqua, è identificata univocamente da un numero positivo, crescente nel verso opposto a quello di scorrimento della corrente (quindi da valle verso monte).

In generale ognuna di queste sezioni è suddivisa in tre zone che in prima istanza possono essere pensate come la savanella centrale (main channel) e le due aree golenali adiacenti (left overbank e right overbank). Tale suddivisione consente di ripartire la corrente in tre porzioni, considerando, per ognuna, velocità, portata e scabrezza diverse (ad esempio savanella rivestita e aree golenali con una certa copertura vegetale), ma con pari energia totale.

Una volta completato l'input geometrico dei dati, occorre fornire i valori di portata da mettere in conto nelle sezioni. Nei casi di moto permanente il valore della portata  $Q$  è costante nel tempo, e sarà possibile fornire un valore di  $Q$  per ciascuna sezione, o, più semplicemente, si può inserire il valore solo nelle sezioni che hanno un cambiamento di portata. Nei casi di moto vario è possibile fornire un idrogramma con portata variabile col passo temporale desiderato. Nei casi di moto vario è possibile valutare l'efficacia di un'eventuale cassa d'espansione, così come gli effetti di un'idrovora che da tale area di espansione dovesse pompare le acque su un altro corpo idrico etc.

I risultati ottenuti possono essere visualizzati graficamente, quali ad esempio l'andamento del profilo longitudinale con l'indicazione del fondo del corso d'acqua, l'altezza critica, l'altezza di moto uniforme, la quota del pelo libero, l'altezza totale e tutte le altre grandezze che servono a descrivere

compiutamente il moto. Ovviamente le stesse grandezze possono essere ricavate in forma tabellare sezione per sezione.

#### 4 SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI

Il modello di simulazione richiede che vengano definite un certo numero di sezioni di calcolo su cui si andranno a calcolare i livelli idrici nelle diverse condizioni di portata. A tale scopo si è ricostruito lo sviluppo di alcune sezioni trasversali del corso d'acqua utilizzando le informazioni cartografiche e di rilievo disponibili e di cui si è già detto.

Nelle sezioni si è avuto cura di rilevare gli elementi significativi seguenti:

- quote del fondo alveo desunte dai rilievi e dalla consultazione del PAI;
- quote e luci dei manufatti che interferiscono idraulicamente con l'evoluzione della piena: ponti, tratti tombati ecc..
- 

A tal proposito, nella modellazione idraulica sono state inserite le opere d'arte di maggiore importanza, quelle attraverso le quali sia ipotizzabile anche solo un minimo deflusso. Gli attraversamenti minori invece sono stati considerati completamente ostruiti a vantaggio della sicurezza.

#### 5 PARAMETRI DI VERIFICA

Il calcolo così come sopra descritto è stato condotto su numerose sezioni rilevate o ricostruite.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno ci si è posti nell'ipotesi di regime misto e pertanto si è imposta una condizione di valle e una di monte,

Precisamente:

- per le sezioni di monte o di valle idraulicamente disconnesse (salti di fondo, briglie, rilevanti e brusche riduzioni di pendenza) si è assunta l'altezza critica;
- per i tratti interni della rete con segmenti a monte e a valle regolari e poco pendenti (gradienti inferiori all'1%) si è assunta l'altezza di moto uniforme;
- per i segmenti di rete con sezione di valle a mare si è assunta la condizione di moto uniforme a monte e altezza nota a valle, pari al sovrizzo massimo di 1,80 metri:

Condizione al contorno di valle (sbocco a mare) del riu Geremeas

Sovralzo di marea (m)	Storm surge + wind setup (m)	Frangimento (wave-setup) (m)	Totale (m)
0,45	0,35	1,00	1,80



- per i segmenti a pendenza elevata, dell'ordine di alcune unità percentuali, con forti irregolarità altimetriche si è imposta l'altezza critica.

La caratterizzazione delle resistenze idrauliche dell'alveo e delle aree limitrofe è stata effettuata assumendo opportuni valori del coefficiente di Manning o di Strickler secondo quanto riportato in letteratura (Open-Channel Hydraulics, V. T. Chow).

I coefficienti di scabrezza sono stati attribuiti a tratti omogenei d'alveo e di golena riconosciuti attraverso fotografie aeree e ricognizioni sul posto, il tutto a favore di sicurezza. In particolare:

Come input idrologico, si è deciso di assumere le portate indicate nel suddetto studio e precedentemente riportate.

Output - La procedura descritta ha consentito il calcolo, per ogni sezione, della quota dei livelli idrici corrispondenti alle portate assegnate, nonché tutti i parametri idraulici relativi al profilo di corrente, riprodotti in forma tabulare nei Report di analisi che riportano i risultati delle verifiche. In particolare, i dati numerici forniti dal calcolo sono:

1. la quota minima dell'alveo (linea di thalweg) in m s.l.m. indicata come quota fondo;
2. la quota del pelo libero, in m s.l.m.;
3. la velocità media in alveo in m/s;
4. i coefficienti di Manning delle sezioni;
5. il numero di Froude.

Tali livelli, riportati planimetricamente nel transetto esteso delle sezioni significative, hanno consentito di individuare l'involuppo delle superfici bagnate dalla piena.

Il codice HEC, infine, produce un file dati specifico per la rappresentazione planimetrica, contenente tutte le informazioni di quota della corrente nelle sezioni di calcolo nonché le coordinate dei punti estremi del pelo libero nel sistema geografico di riferimento che possono essere utilizzate in ambiente GIS per la mappatura delle aree.

#### Tabella 1 - Coefficienti di Manning

<u>Corsi d'acqua naturali in pianura</u>	Min	Med	Max
<i>Alvei</i>			
a Puliti, dritti, pieni, senza fossi o pozze profonde	0.025	0.03	0.033
b Come in precedenza ma con più ciottoli e erbacce	0.03	0.035	0.04
c Puliti, curvilinei, pozze e banchi radi	0.033	0.04	0.045

d Come in precedenza ma con più ciottoli e erbacce	0.035	0.045	0.05
e Come in precedenza, tiranti più bassi, sezione e pendenza meno efficiente	0.04	0.048	0.055
f Come "d" ma con più ciottoli	0.045	0.05	0.06
g Tratti tranquilli, vegetati e con pozze profonde	0.05	0.07	0.08
h Tratti molto vegetati, pozze profonde, o alvei in piena con superfici ricoperte da fitto bosco o sottobosco	0.07	0.1	0.150
<i>Golene</i>			
a Pascolo			
1. erba corta	0.025	0.03	0.035
2. erba alta	0.03	0.035	0.05
<i>b Aree coltivate</i>			
1. nude	0.02	0.03	0.04
2. raccolto maturo in solchi	0.025	0.035	0.045
3. raccolto maturo diffuso	0.03	0.04	0.05
<i>c Bosco</i>			
1. piante sparse, cespugli di grandi dimensioni	0.035	0.05	0.07
2. bosco rado, in inverno	0.035	0.05	0.06
3. bosco rado, in estate	0.04	0.06	0.08
4 bosco da medio a denso, in inverno	0.045	0.07	0.11
5. bosco da medio a denso, in estate	0.07	0.10	0.16
<i>d Piantagioni</i>			
1. terreno pulito con ceppaie senza germogli	0.03	0.04	0.05
2. Come in precedenza, ma con fitti germogli	0.05	0.06	0.08
3. Bosco fitto d'alto fusto, pochi alberi bassi, poco sottobosco, flusso al di sotto dei rami	0.08	0.10	0.120
4. Come in precedenza, ma con flusso fra i rami	0.10	0.12	0.16
5. Salici densi, in estate, diritti	0.11	0.15	0.20

Corsi d'acqua di montagna, senza vegetazione in alveo, sponde ripide, con alberi e cespugli sommersi in piena

a Fondo: ghiaie, acciottolati, pochi massi sparsi	0.03	0.04	0.05
b Fondo: acciottolati con grossi massi	0.04	0.05	0.07

Alvei con fondo in calcestruzzo e fianchi in:

a Calcestruzzo intonacato	0.016	0.02	0.024
b Calcestruzzo	0.02	0.025	0.03

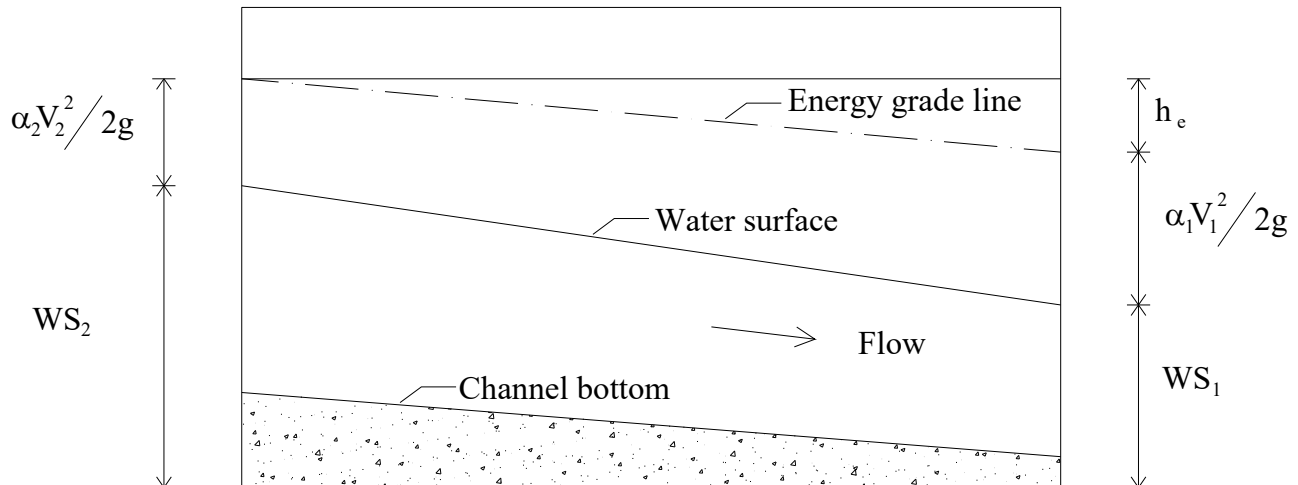
Canali con scarsa manutenzione e vegetazione con:

a Fondo pulito, cespugli alle ripe	0.04	0.05	0.08
b Come sopra, con alti tiranti idrici	0.045	0.07	0.11
c Vegetazione densa, alta come il tirante idrico	0.05	0.08	0.12
d Cespugli densi, alti tiranti idrici	0.08	0.1	0.14

## 5.1 I calcoli idraulici

La metodologia utilizzata per la valutazione delle grandezze idrauliche che regolano il moto della corrente è il Metodo II descritto in "Backwater Curves in River Channels" EM 1110-2-1409 (USACE 1959).

Le grandezze idrauliche fondamentali, che intervengono nei processi che determinano il profilo della corrente ed i fenomeni legati al trasporto solido, sono la velocità della corrente, l'altezza del pelo libero, l'energia totale ed il suo gradiente.



Carichi idraulici in due sezioni di calcolo consecutive

Nella figura sopra sono messe in evidenza le grandezze che compaiono nell'equazione (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) (equazione di bilancio dell'energia).

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

in cui si hanno:

- $g$ : accelerazione di gravità;
- $h_e$ : perdita di energia;
- $V_1, V_2$ : velocità media, riferita all'area della sezione bagnata, e relativa alla portata data;
- $WS_1, WS_2$ : quota del pelo libero della corrente (per il dato valore di portata) rispetto uno zero convenzionale;
- $\alpha_1, \alpha_2$ : coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche (o coeff. di Coriolis);

## 5.2 Perdite di carico

L'input della geometria del sistema svolge un ruolo determinante proprio perché tramite la definizione di questa avviene il calcolo del profilo di corrente. Occorre quindi fornire al programma le sezioni trasversali del fiume e le distanze relative tra queste.

Come già scritto le perdite per attrito sono calcolate tramite il Metodo II descritto in "Backwater Curves in River Channels" EM 1110-2-1409 (USACE 1959).

Come riportato nell'equazione 2), la perdita di carico "he" è data dalla somma di due componenti:

- $h_f$ : perdita di energia per attrito
- $h_o$ : perdita di energia legata alla forma della sezione

$$h_e = h_f + h_o \quad (2)$$

Le perdite dovute alla contrazione o all'allargamento della sezione sono valutate nel termine  $h_o$ .

### 5.3 Perdite per attrito

Come già scritto la sezione trasversale è suddivisa in porzioni aventi analoghe proprietà idrauliche nella direzione del flusso, ciascuna di queste è suddivisa in sub-sezioni ed in ciascuna di esse le perdite per attrito sono calcolate tramite la relazione:

$$h_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2 \quad (3)$$

in cui:

$$K = \sum_{j=1}^{NSS} \frac{1}{n_j} \frac{\frac{A_{2j} + A_{1j}}{2} \left( \frac{R_{2j} + R_{1j}}{2} \right)^{2/3}}{\sqrt{L_j}} \quad (4)$$

- $A_{1j}, A_{2j}$ : aree delle sezioni, normali al flusso, rispettivamente di valle e di monte;
- NSS: numero totale di *sub-sezioni* in cui è suddivisa una sezione;
- K: total conveyance del tratto compreso tra le due sezioni
- $L_j$ : distanza tra le  $j$  esime *sub-sezioni*;
- $n_j$ : coeff. di scabrezza di Manning tra le  $j$  esime *sub-sezioni*;
- Q: portata;
- $R_{1j}, R_{2j}$ : raggi idraulici delle corrispondenti sezioni.

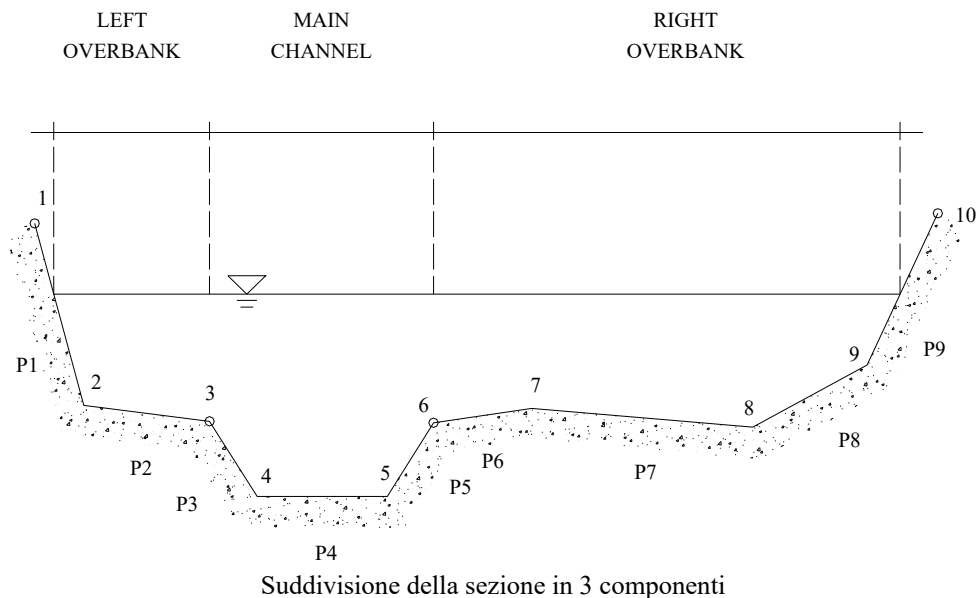
## 5.4 Perdite per contrazione ed espansione

Le perdite per contrazione ed espansione della corrente sono valutate tramite l'equazione (5) riportata di seguito:

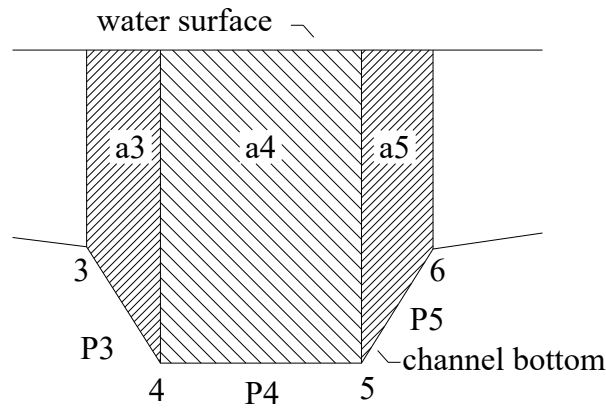
$$h_o = C_L \left( \frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (5)$$

in cui  $C_L$  è il coefficiente di contrazione (positivo) o espansione (negativo).

Ogni sezione descritta da un numero N di punti è suddivisa, come già detto in precedenza in tre "porzioni" (*left overbank, main channel, right overbank*), come illustrato in figura successiva.



Ogni porzione è ulteriormente suddivisa in *sub-section*, come illustrato di seguito.



Scomposizione di una componente della sezione in sub-sezioni

Ad esempio l'area corrispondente al *main channel* è data dalla sommatoria delle aree delle sub-section che la compongono secondo quanto riportato nella figura precedente:

$$A_j = a_3 + a_4 + a_5 \quad (6)$$

così come

$$P_j = p_3 + p_4 + p_5 \quad (7)$$

in cui P è il contorno bagnato della sezione.

Il raggio idraulico del *main channel* è calcolato come rapporto tra le somme delle aree  $A_k$  e la somma dei contorni bagnati  $P_k$  delle singole sub-section tramite la relazione:

$$R_j = \frac{A_j}{P_j} = \frac{\sum A_k}{\sum P_k} \quad (8)$$

dove  $A_j$ ,  $P_j$  ed  $R_j$  sono rispettivamente l'area, il contorno bagnato ed il raggio idraulico della j-esima sub-section.

Il coefficiente di Coriolis  $\alpha$ , che tiene conto della distribuzione della distribuzione della velocità all'interno della sezione trasversale, viene calcolato tramite la relazione:

$$\alpha = \frac{\sum_{j=1}^{NSS} \left( \frac{K_j^3}{A_j^2} \right)}{\frac{K^3}{A^2}} \quad (9)$$

### 5.5 Sezioni interpolate

Talvolta è necessario interpolare le sezioni per un tratto in cui la definizione della geometria non sia stata sufficientemente dettagliata. Questo accade soprattutto per evitare che venga valutata ad esempio una forte perdita di energia per un allargamento e/o restringimento che nella realtà è graduale e non istantaneo come può accadere tra due sezioni non interpolate. Nello studio in esame non è stato necessario utilizzare sezioni interpolate in quanto già considerato un numero di sezioni particolarmente fitto.

### 5.6 Le giunzioni

Le connessioni tra due o più rami di un canale è denominata "giunzione" nella quale un ramo di valle viene connesso con altri che ovviamente stanno a monte. Questa particolare situazione può essere risolta in due modi, ovvero mediante:

- EQUAZIONE DELL'ENERGIA TOTALE. Equilibrio delle energie totali delle correnti nelle sezioni immediatamente a monte della confluenza ed immediatamente a valle (può accadere che una delle correnti di monte risulti avere una energia inferiore alla corrente di valle). Questa metodologia da preferire nei casi in cui non si hanno particolari dissipazioni di energia tra le sezioni di monte e di valle;
- EQUAZIONE DEL MOMENTO. Equilibrio dei momenti delle quantità di moto tra le stesse sezioni di cui sopra (situazione questa da preferire quando l'angolo di incidenza del canale di monte è tale da provocare considerevoli perdite di energia).

### 5.7 Ponti ed attraversamenti in sezioni chiuse

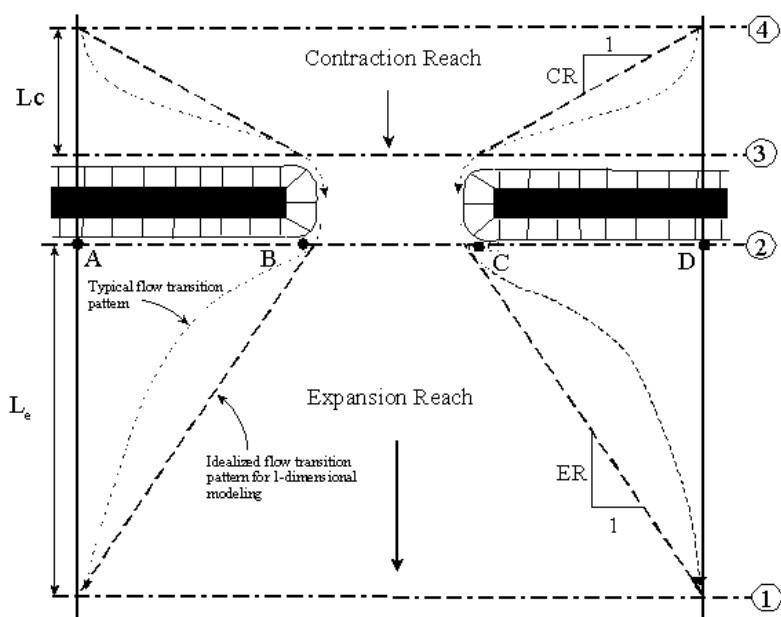
Particolare attenzione merita la presenza di eventuali ponti e/o attraversamenti all'interno di sezioni chiuse (scatolari, circolari, ovoidali etc.).



Per ciò che riguarda la perdita di energia, questa viene suddivisa in tre componenti:

- nella sezione di valle si ha perdita di energia per " Brusco allargamento " della corrente fluida;
- nella sezione intermedia, la quale può essere modellata in maniera da ridurre i fenomeni turbolenti;
- nella sezione di monte in cui viene ad aversi una contrazione della corrente e la conseguente formazione di moti vorticosi.

Per rendere definito il problema occorre fornire 4 sezioni, due delle quali rispettivamente a monte e a valle dell'interferenza in cui siano trascurabili i fenomeni dovuti alla contrazione della corrente (sezioni 4 e 1 in figura successiva), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3 in figura successiva); in queste è necessario imporre un'area inefficace.



Geometria di un passaggio ristretto

Le metodologie utilizzate per attribuire i valori ad  $L_c$  ed  $L_e$  sono diffusamente dibattute in "Flow Transitions in Bridge Backwater Analysis" (RD-42 HEC, 1995).

HEC RAS offre diverse possibilità di risolvere il problema richiamate di volta in volta dall'utente, per i casi più frequenti nella pratica sono da preferirsi l'equazione di bilancio dell'energia, l'equazione di bilancio del momento della quantità di moto e talvolta l'equazione di Yarnell.

## 5.8 Determinazione del profilo di moto permanente

Il calcolo idraulico è stato effettuato sulla base dei seguenti elementi:

- il profilo della corrente è stato valutato considerando un moto permanente per tronchi omogenei chiusi alle sezioni di interesse. Rispetto alle reali condizioni del moto, che in generale presenta variazioni di portata nel tempo, si avranno delle differenze, tuttavia, l'inviluppo dei massimi livelli idrici riscontrabili in un transitorio di portata variabile non sono, in generale, superiori dei livelli idrici riscontrabili in moto permanente, ovviamente per la data portata assunta;
- la portata considerata è stata considerata costante lungo i diversi tratti omogenei degli alvei studiati, con incrementi in corrispondenza delle confluenze;
- le perdite di carico sono state valutate con la consueta espressione di Chezy e valutazione del coefficiente  $\chi$  mediante la formula di Manning, ponendo cautelativamente il coefficiente  $n=0.030$  (corrispondente ad un coefficiente di Strickler pari a  $S=33.33$ ) corrispondente ad un canale in terra con grado di irregolarità dell'alveo, variazione della sezione ed effetto relativo delle ostruzioni trascurabile.

Per la stima del coefficiente di scabrezza  $n$  si è adottato un metodo utilizzato dal U.S. Soil Conservation Service. Secondo questo metodo, ad ogni elemento che influenza la scabrezza di un alveo viene associato un contributo di scabrezza, e la scabrezza complessiva viene calcolata tramite l'espressione:

$$n = (n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + n_5) n_6 \quad (10)$$

dove  $n$  è il coefficiente di Manning complessivo, mentre gli  $n_i$  sono i contributi dovuti a vari parametri descrittivi delle condizioni dell'alveo.

I valori adottati sono i seguenti:

- tratti canale in terra: 0.100 - 0.035