



# COMUNE DI VILLAPUTZU

## Provincia di Cagliari

# PIANO URBANISTICO COMUNALE

## RELAZIONE IDRAULICA

**Coordinatore:** Ing. Italo Meloni, Ing. Ginevra Balletto

**Assetto ambientale:** Dott. Geol. P. Valera, Dott. M. Casti, Dott. Agr. P. Mulè

**Assetto insediativo:** Ing. G. Balletto, Ing. A. Milesi, Ing. G. Mei, Arch. G. Figus

**Assetto storico culturale:** Dott.ssa F. Collu, Ing. A. Milesi, Arch. G. Figus

**PUL:** Ing. G. Balletto, Ing. A. Milesi, Arch. G. Figus, N. Castangia

**Assetto idraulico:** Ing. Andrea Saba

**Sistema informativo territoriale e Gis:** Ing. A. Putzu, Ing. A. Garau

**Comitato scientifico:** prof. R. Ciccu, prof. M. Ghiani, prof. G. Massacci, ing. M. Figus

## **Indice generale**

---

<b>1. - Premessa.....</b>	<b>3</b>
<b>2. - Caratteristiche degli alvei analizzati.....</b>	<b>3</b>
<b>3. - Descrizione dei corsi d'acqua esaminati.....</b>	<b>3</b>
<b>4. - Determinazione delle condizioni di moto.....</b>	<b>3</b>
4.1. - Determinazione del profilo della corrente.....	3
4.2. - Il codice di calcolo HEC RAS.....	4
4.3. - Componenti idrauliche dell'analisi.....	4
4.4. - I calcoli idraulici.....	5
4.5. - Perdite di carico.....	6
4.6. - Perdite per attrito.....	7
Perdite per contrazione ed espansione.....	7
Sezioni interpolate.....	9
Le giunzioni.....	9
Ponti ed attraversamenti in sezioni chiuse.....	9
Determinazione del profilo di moto permanente.....	10
4.7. - Condizioni al contorno.....	10
<b>5. - Risultato numerico delle analisi.....</b>	<b>11</b>
<b>6. - Sezioni idrauliche.....</b>	<b>11</b>

## **1. - Premessa**

Con la presente relazione si intende documentare l'analisi idraulica delle condizioni di deflusso dei corsi d'acqua relativi al reticolo idrografico minore presente nel territorio comunale di Villaputzu.

L'analisi è stata effettuata con riferimento al regime di deflusso per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Nella relazione idrologica sono descritte le valutazioni delle portate con i diversi tempi di ritorno e nelle diverse sezioni di interesse.

## **2. - Caratteristiche degli alvei analizzati**

I corsi d'acqua analizzati sono tutti quelli che interferiscono con infrastrutture antropiche esistenti o previste dal PUC, e sono caratterizzate dalla presenza di manufatti, anche con finalità idrauliche.

Poiché lo scopo dell'analisi è quello di determinare la pericolosità idraulica del territorio, ed essendo questa legata ad eventi con elevati tempi di ritorno, l'analisi è stata effettuata nella ipotesi che:

- i canali tombati, anche qualora presentino oggettive caratteristiche di corretto dimensionamento e di buona funzionalità osservata anche nell'esercizio corrente, in caso di piena eccezionale possano annullare completamente la loro funzionalità per effetto della ostruzione dell'unico imbocco di larghe dimensioni presente a monte;
- gli edifici ed i manufatti che risultassero in grado di offrire protezione idraulica ostacolando l'erosione del corso d'acqua è stato considerato assente;
- si è tenuto conto della geometria attuale dei corsi d'acqua in condizioni di manutenzione ordinaria, ovvero con presenza di vegetazione anche laddove la manutenzione ordinaria ne prevederebbe la periodica rimozione.

## **3. - Rilievi topografici e definizione della geometria dell'alveo**

Per la ricostruzione della geometria dell'alveo è stata utilizzata la base cartografica DTM con risoluzione spaziale di 1 m, messa a disposizione dalla Regione Sardegna per l'area della costa (che ricopre quindi tutti i tratti dei corsi d'acqua studiati, esclusi solo quelli più settentrionali per i quali si è ricorso alla cartografia DTM con risoluzione spaziale di 10 m integrata con misure sul terreno).

La base cartografica viene fornita depurata da manufatti quali muri ed edifici, e rende conto dell'andamento del terreno compresi comunque i movimenti terra artificiali quali rilevati stradali ecc.

La base cartografica è stata importata in ambiente GIS in cui sono stati riportati gli alvei oggetto di studio.

L'ambiente di lavoro è la versione 10.0 del software ArcMap per il quale lo US Army Corps of Engineers ha predisposto e distribuito gratuitamente l'applicazione HEC-GeoRAS con la quale

interfacciare il software di calcolo del profilo idraulico HecRas.

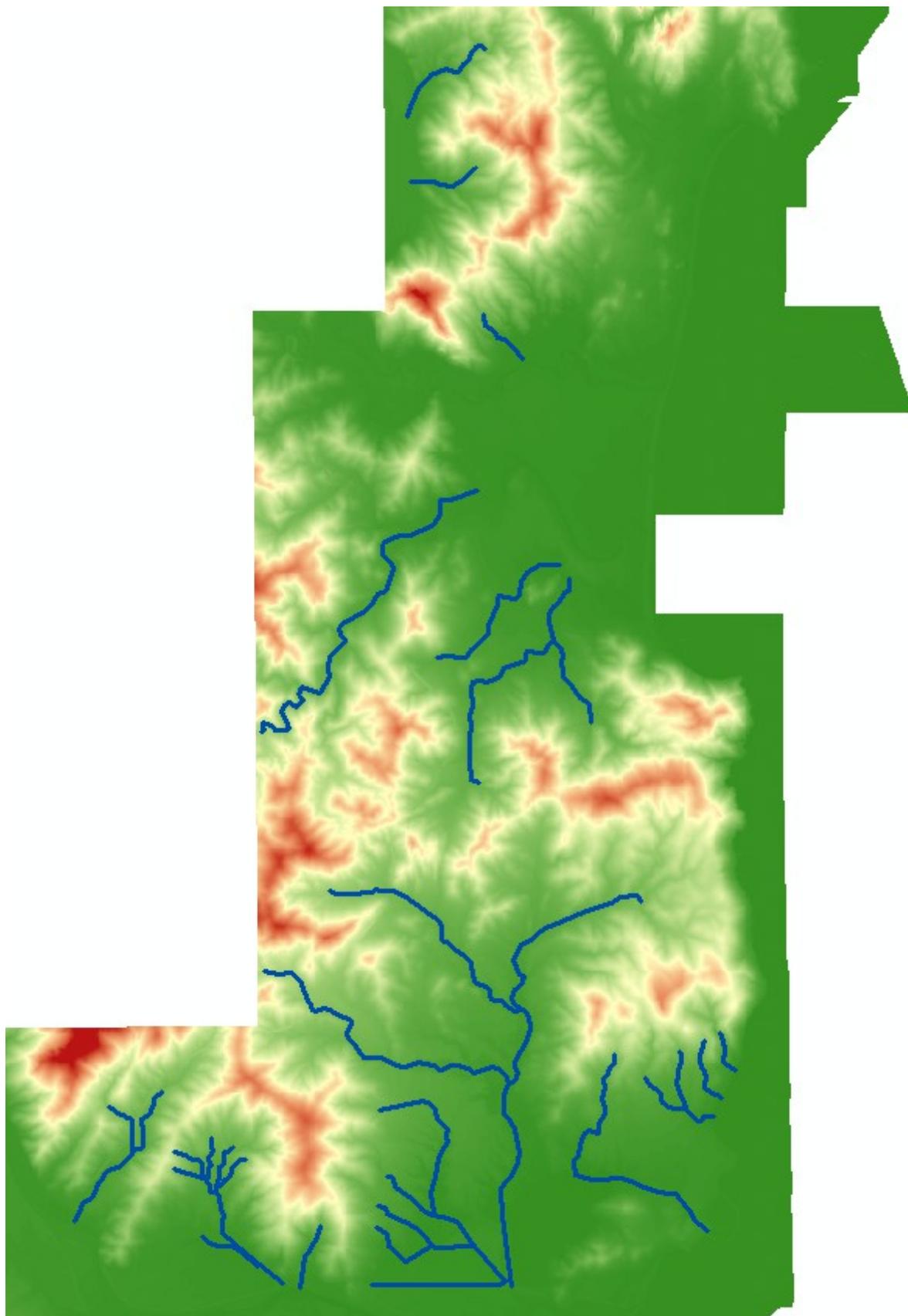


Figura 1 - Tracciamento dell'andamento degli alvei sulla base DTM

Dopo aver tracciato l'andamento degli alvei (Fig. 1), utilizzando una apposita procedura HEC

GeoRAS che li riconosce come tali, sono ricostruite le linee di livello e tracciate le sezioni trasversali (Fig. 2)

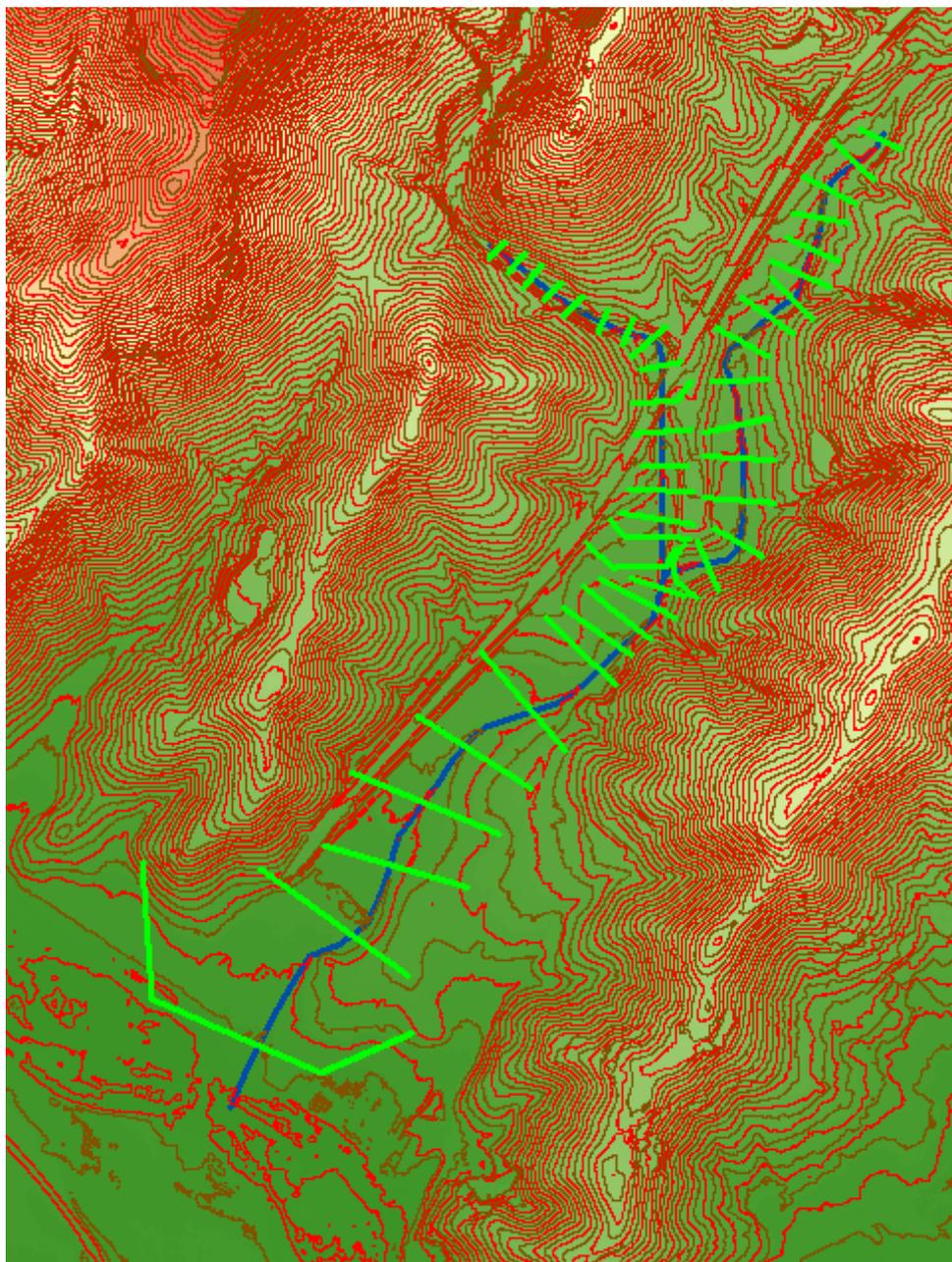


Figura 2 - Tracciamento delle sezioni trasversali per il Rio Cuiuri Gureu con messa in evidenza delle linee di livello con equidistanza 2.50 m desunte dal modello DTM

Il software HEC GeoRas consente, con diversi passaggi, di esportare le informazioni geometriche in un formato leggibile direttamente da HecRas. Le sezioni tracciate vengono automaticamente denominate con notazione numerica con la progressiva dell'alveo nella quale lo intersecano.

Le sezioni così ottenute rappresentano il terreno privo di sovrastrutture, ma con i rilevati artificiali compresi gli argini.

## **4. - Determinazione delle condizioni di moto**

### **4.1. - Determinazione del profilo della corrente**

Il profilo della corrente è stato determinato ipotizzando condizioni di moto permanente, dato 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.

Il buon inalveamento della corrente consente altresì di considerare la corrente con una schematizzazione monodimensionale, essendo assenti 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.

In particolare, è stato utilizzato il codice di calcolo HEC RAS, descritto nel paragrafo successivo.

### **4.2. - 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 idrico 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.

### **4.3. - Componenti idrauliche dell'analisi**

Questa componente del sistema di modellazione è da utilizzare per il calcolo della superficie idrica di correnti gradualmente variate. 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 corti tratti (è il caso ad esempio in cui si hanno restringimenti dovuti al passaggio tra le pile di un ponte ed il conseguente allargamento).

Nei casi in cui la corrente non dovesse essere gradualmente variata viene utilizzata l'equazione del momento della quantità di moto (automaticamente, con l'opzione "regime misto", nei passaggi da corrente veloce a lenta, o su opzione nelle confluenze).

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 porzioni 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 (è il caso, ad esempio, di savanella rivestita ed 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 tramite il calcolo 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.

#### **4.4. - 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.

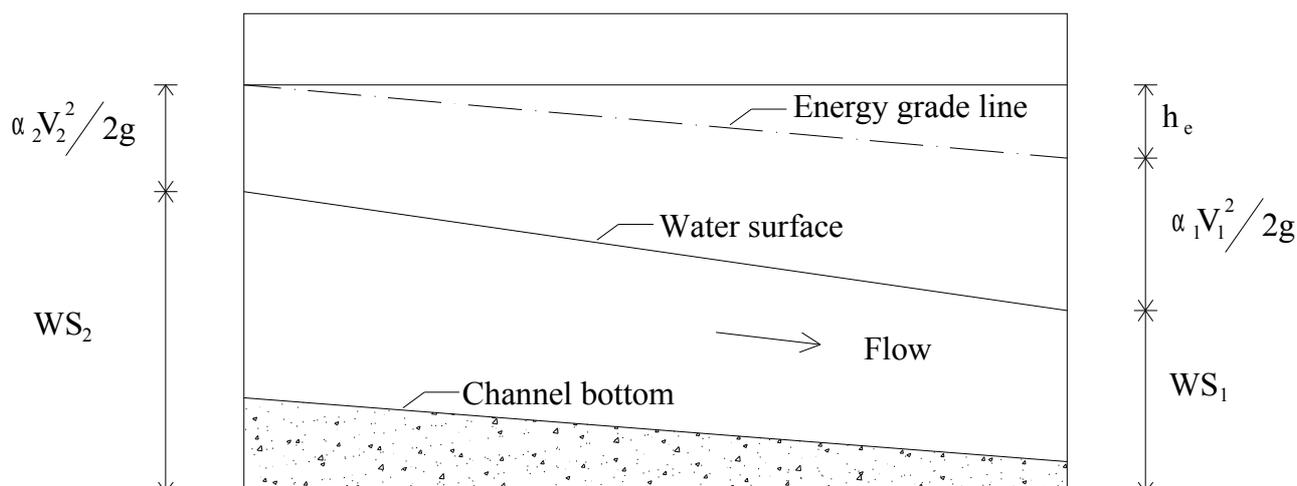


Fig. 3.1 - Carichi idraulici in due sezioni di calcolo consecutive

Nella Fig. 3.1 sono messe in evidenza le grandezze che compaiono nell'equazione (1) (equazione di bilancio dell'energia).

$$WS_2 + \alpha V_2^2 / 2g = WS_1 + \alpha V_1^2 / 2g + h_e \quad (1)$$

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);

#### 4.5. - 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 " $h_e$ " 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  $h_o$ .

#### 4.6. - 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:

$$h_f = (Q/K)^2 \quad (3)$$

in cui:

$$K = \sum_{j=1, \text{NSS}} [(A_{2j} + A_{1j})/2 ((R_{2j} + R_{1j})/2)^{2/3}] / [n_j L_j^{0.5}] \quad (4)$$

- $A_{1j}, A_{2j}$ : 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.

#### Perdite per contrazione ed espansione

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

$$h_o = C_L [A_2 V_2^2 / 2g - A_1 V_1^2 / 2g] \quad (5)$$

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 Fig. 3.2.

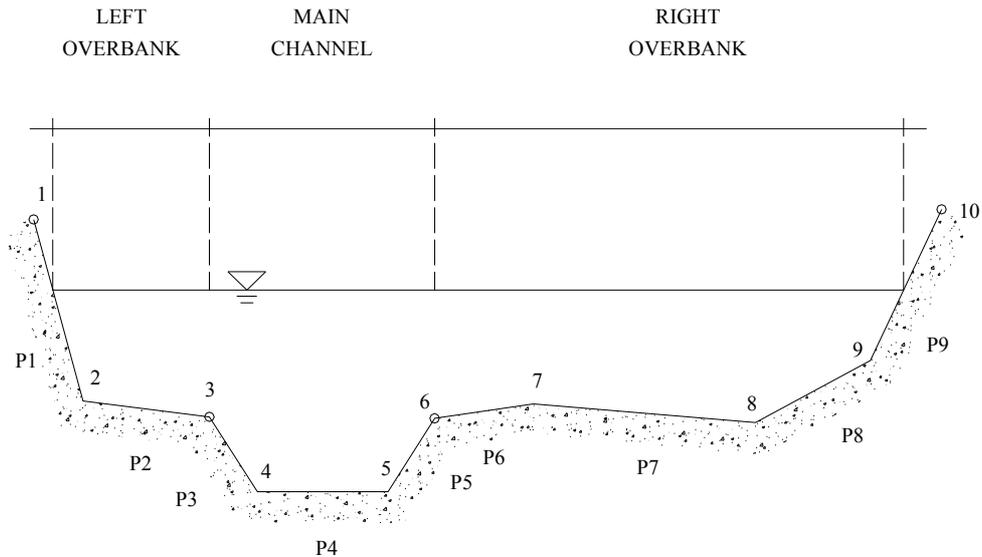


Fig. 3.2 - Suddivisione della sezione in 3 componenti

Ogni porzione è ulteriormente suddivisa in *sub-section*, come illustrato in Fig. 3.3.

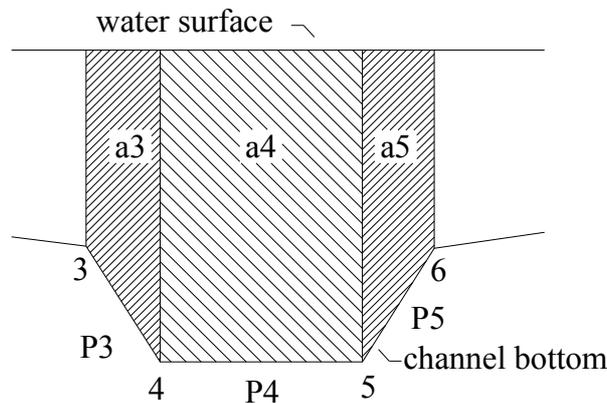


Fig. 3.3 - Scomposizione di una componente della sezione in sub-sezioni

Ad esempio l'area corrispondente al *main channel* è data dalla sommatoria delle aree delle sub-section che la compongono secondo quanto riportato in Fig. 3.3:

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

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:

$$R_j = (A_j/P_j) = (\Sigma A_k / \Sigma P_k) \quad (8)$$

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:

$$\alpha = [\Sigma_{j=1, NSS} (K_j^3/A_j^2)] / (K^3/A^2) \quad (9)$$

## 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.

Nei calcoli sono state aggiunte sezioni interpolate ogni 5 m.

## 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, come già accennato, ovvero mediante:

- EQUAZIONE DELL'ENERGIA TOTALE. Equilibrio delle energie totali delle correnti nelle sezioni immediatamente a monte della confluenza ed immediatamente a valle<sup>1</sup> di 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).

Tutte le intersezioni considerate sono state considerate nella ipotesi di rispetto della equazione dell'energia totale.

## 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 una eventuale 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 avviene una eventuale contrazione della corrente e la conseguente formazione di moti vorticosi.

Per rendere definito il problema, nei casi in cui la sezione sotto il ponte sia contratta rispetto a quelle a monte e a valle, 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 (Fig. 3.4, sezioni 4 e 1), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3), in queste è necessario imporre un'area inefficace.

---

<sup>1</sup> Può accadere che una delle correnti di monte risulti avere una energia inferiore alla corrente di valle.

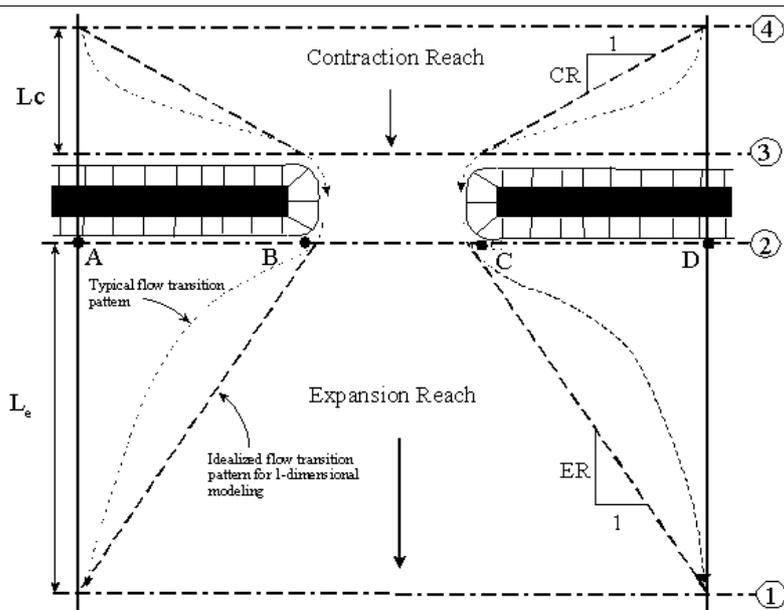


Fig. 3.4 - Geometria di un passaggio ristretto

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.

Quasi tutti gli attraversamenti analizzati però sono caratterizzati dalla continuità della sistemazione idraulica a monte ed a valle, per cui la precauzione non è stata presa.

### Determinazione del profilo di moto permanente

Il calcolo 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'involuppo 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  $n=0.03$  sia nella parte naturale che nei tratti rivestiti.

### 4.7. - Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno sono state poste pari:

- la quota di 1.80 m slm alla foce in mare, per tutti i tempi di ritorno;
- la quota del pelo libero riportata nel PSFF in corrispondenza della sezione di immissione

nel Flumendosa e nel Flumini Durci.