

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessorato dei Lavori Pubblici



Ente acque della Sardegna
Servizio Gestione Sud



Riassetto e risanamento funzionale del canale adduttore principale
alimentato dai laghi del medio Flumendosa - II° Lotto II° stralcio

Finanziamento L.R. 05.03.2008 n°3 - D.G.R. 32/15 del 04.06.2008 e Decr. Ass. LL.PP. n° 68 dle 07.08.2008

PROGETTO DEFINITIVO

Approvato con det. D. S.IN./LL.PP.
Prot. 8336 rep. 236 del 07 MAR. 2014

Relazione idraulica

Allegato :

1.3

scala:

nome file:
1.3 Relazione idraulica

Progettisti:

Ing. Maurizio Meloni
Geom. Bernardino Pitzalis



Collaboratori:

Ing. Marcello Ligas
Ing. Simona Solinas

Il Responsabile del Procedimento

Ing. Sandro Bachis

Il Direttore Generale f.f.

Ing. Franco Ollargiu

Il Direttore del Servizio Gestione Sud

Ing. Felice Soda

CAGLIARI, Settembre 2010 - Agg. Dicembre 2012



INDICE

1. Premessa.....	2
1.1. <i>Descrizione dell'opera da realizzare.</i>	4
2. Determinazione delle condizioni di moto permanente nell'alveo del rio sa mela	6
2.1. <i>Determinazione del profilo della corrente</i>	6
2.2. <i>Il codice di calcolo HEC RAS.</i>	6
2.3. <i>Componenti idrauliche dell'analisi</i>	7
2.4. <i>I calcoli idraulici</i>	9
2.5. <i>Perdite di carico</i>	10
2.6. <i>Perdite per attrito</i>	11
2.6.1. <i>Perdite per contrazione ed espansione</i>	11
2.6.2 <i>Sezioni interpolate</i>	13
2.6.3 <i>Le giunzioni</i>	14
2.6.4 <i>Ponti ed attraversamenti in sezioni chiuse</i>	14
2.6.5 <i>Culvert</i>	15
2.6.6 <i>Determinazione del profilo di moto permanente</i>	16
2.7. <i>Dati di input e risultati delle simulazioni</i>	17



1. **PREMESSA**

Gli interventi in progetto, illustrati diffusamente nella relazione tecnico-descrittiva, alla quale si rimanda per ogni maggior dettaglio, riguardano la realizzazione delle opere di messa in sicurezza delle canne del sifone di Segariu, nel tratto adiacente al manufatto di scarico, e del potenziamento delle opere di attraversamento in sottopasso del Rio Sa Mela.

Le opere di sistemazione risultano prioritarie alla luce degli eventi di piena riscontrati nel mese di Ottobre 2008 che hanno interessato i territori comunali e l'allagamento dei centri di Segariu e Furtei. In quell'occasione si sono riscontrati fenomeni di sifonamento del rilevato di copertura delle canne dei sifoni Ø 3200 in c.a.p., dovuti alle acque di pioggia convogliate dal rio Sa Mela che nel superare lo sbarramento creato dalle canne dei sifoni hanno scalzato il ricoprimento in terra mettendo a nudo parte delle canne dei sifoni, a monte e a valle del manufatto di scarico. Gli eventi registrati hanno messo in evidenza il rilevante mutamento dell'idrologia superficiale della zona e dei relativi parametri idrologici e la necessità di adeguare le infrastrutture esistenti destinate allo smaltimento delle acque meteoriche, realizzate anni orsono, alle mutate esigenze e normative tecniche di settore.

Nell'occasione le acque meteoriche, associate ad eventi di piena di particolare rilevanza, hanno creato un piccolo invaso a monte dei sifoni, le cui acque sono state smaltite in parte attraverso lo scatolare esistente ed in parte hanno superato lo sbarramento privando in alcuni tratti le tubazioni esistenti del materiale di rinterro. Ciò ha messo in risalto la duplice esigenza di:

- adeguare da un lato la potenzialità di smaltimento del sottopasso esistente a valori più consoni alla mutate vicende idrologiche ed in conformità alla circolare sulle nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008;
- mettere in sicurezza le canne del sifone ripristinando il rinterro in forma definitiva non con materiale incoerente erodibile, come risulta allo stato attuale, ma con opere definitive in grado di non essere scalzate dall'azione di



trasporto dell'acqua drenata dal bacino imbrifero.

Nel rispetto delle attuali esigenze e delle conseguenti priorità indicate dall'amministrazione a seguito degli eventi che hanno caratterizzato le fasi di esercizio del canale e delle tecniche di risanamento già utilizzate con successo nelle opere di riassetto già realizzate, gli interventi del II° stralcio in progetto riguardano il tratto di canale realizzato con sifone, presso lo scatolare, sottostante le canne del sifone, che convoglia il rio Sa Mela verso l'abitato di Segariu e riguardano in particolare:

- Lavori di posa di un nuovo rivestimento lapideo delle canne del sifone da realizzare con gabbioni a scatola e materassi tipo Reno, per uno sviluppo di circa 80 m, in prossimità dell'esistente pozzetto di scarico, finalizzati a mettere in sicurezza le due tubazioni del Ø 3200 mm in modo definitivo onde evitare i fenomeni di sifonamento e scalzamento del terreno di copertura dovuto agli eventi meteorologici che potranno interessare la zona ed il possibile danneggiamento delle tubazioni del sifone;
- Opere di potenziamento del sottopasso esistente, di dimensione 3x2 mq, consistenti nella infissione con tecnica spingitubo, in adiacenza allo scatolare, di due condotte del Ø 2200 mm in acciaio, finalizzate a ridurre le situazioni di potenziale pericolo nei casi di accumulo di acqua a monte dei sifoni e conseguente ampliamento delle opere di invito a monte e di sbocco a valle dell'attraversamento.

Con riferimento al D.M. 14.01.2008 già citato, è stato redatto lo studio di compatibilità idraulica, nella stesura richiesta per nuovi manufatti, quali ad esempio i ponti stradali, ai sensi del P.A.I., ed è stata presa come base di riferimento per il dimensionamento delle tubazioni da posare in parallelo allo scatolare, la portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni. E' stata inoltre valutata la portata massima smaltibile dalla nuova opera di attraversamento potenziata ed il corrispondente tempo di ritorno.

Va osservato che gli interventi in progetto non ricadono su aree di pericolosità idrogeologica perimetrate dal PAI e pertanto non si renderebbe necessaria la redazione della relazione di compatibilità idraulica. Tuttavia, in linea con le prescrizioni richiamate dall'articolo 23 delle norme di attuazione del P.A.I., tale strumento di studio e pianificazione, consigliato in tutti i casi che richiedono



un'attenta valutazione della risposta idraulica, idrologica, degli effetti sulla stabilità e l'equilibrio dei versanti e sulla permeabilità delle aree interessate, si rende necessario per valutare gli effetti che induce sul deflusso delle acque meteoriche la realizzazione degli interventi in progetto.

Verrà pertanto di seguito illustrato il funzionamento idraulico del Rio Sa Mela a seguito dell'esecuzione delle opere di cui trattasi.

1.1. ***Descrizione dell'opera da realizzare.***

OPERE DI POTENZIAMENTO DEL SOTTOPASSO DEL RIO SA MELA

Per consentire il passaggio in sicurezza al di sotto dei sifoni per eventi associabili ai tempi di ritorno indicati dalla normativa di settore è prevista la posa in sottopasso, in affiancamento allo scatolare esistente, di due tubazioni in acciaio del Ø 2200 dello spessore di 30 mm, posate con la tecnica dello spingitubo e la realizzazione di un nuovo manufatto in c.a. di imbocco e di sbocco delle portate convogliate dal rio sa Mela. Con riferimento alla circolare già citata ed in particolare al punto C 5.1 riguardante nello specifico lo studio di compatibilità idraulica richiesto per manufatti quali i ponti stradali, è stata presa come riferimento di base per il dimensionamento la portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 200 anni, indicata per le nuove opere anche dal P.A.I. e valutata nel contempo la portata massima smaltibile dalla nuova opera di attraversamento in sottopasso, potenziata dalle nuove tubazioni ed il corrispondente tempo di ritorno.

Nel seguito sono riportati i calcoli idrologici e la simulazione idraulica eseguita con Hec-Ras del funzionamento in moto permanente del Rio Sa Mela, con l'indicazione dei livelli di riempimento delle sezioni fluviali a monte, all'ingresso ed all'uscita del manufatto ed a valle dello stesso, nella fase di trasporto della portata corrispondente ai 200 anni e della portata massima drenabile al di sotto dei sifoni per il tramite del manufatto potenziato. La realizzazione delle due canne del Ø 2200 mm che affiancheranno lo scatolare esistente 3 x 2 mq, sarà eseguita mediante perforazione orizzontale con la tecnica dello spingitubo, senza interrompere la fase di esercizio del canale adduttore principale e senza necessità di particolari opere provvisorie di



sostegno. La macchina spingitubo oleodinamica contrastata da una parete di spinta in lamiera d'acciaio, posata entro la camera di spinta, determina l'infissione di un tubo camicia dello spessore di 30 mm, realizzato in barre da 3 m e saldato in opera. Lo scavo entro il tubo camicia avviene con mezzi meccanici che operano protetti dalla parete della stessa tubazione e offrono immediato contrasto ai carichi trasmessi dal terreno sovrastante.

OPERE DI MESSA IN SICUREZZA DELLE CANNE DEL SIFONE

L'opera di adeguamento descritta è stata accompagnata alla messa in sicurezza delle canne del sifone secondo le modalità descritte negli allegati di progetto. In particolare, con l'obiettivo di evitare lo scalzamento del materiale di ricoprimento delle canne, in concomitanza degli eventi di piena di maggiore intensità, è prevista in progetto la posa di un nuovo rivestimento in pietra delle canne del sifone da realizzare con gabbioni a scatola e materassi Reno, resi solidali tra loro, per uno sviluppo di circa 80 m, e valle e a monte dell'esistente pozzetto di scarico, finalizzato a proteggere le tubazioni del sifone in modo definitivo onde evitare che il materiale di rinterro possa essere scalzato e garantire nel contempo la stabilità delle condotte in occasione di eventi di piena associabili a tempi di ritorno maggiori a quelli richiesti dalle normative vigenti. Il tratto sistemato con gabbionate e materassi si estende fino a ricomprendere con un congruo franco di sicurezza le superfici che nel recente passato sono state superate dal battente idrico generato dalla piena a monte del sifone. Le intercapedini tra le tubazioni e le gabbionate laterali, a monte e a valle, nonché tra le canne del sifone, saranno riempite con calcestruzzo magro Rck 100 N/mm², con l'obiettivo di sbarrare il passaggio d'acqua entro i muri in pietrame che si potrebbe creare a causa del differente battente idrico a monte e valle dell'opera ed il conseguente fenomeno di sifonamento. Il riempimento contribuisce inoltre alla stabilità del sistema in quanto rende solidali le canne dei sifoni ai muri in pietrame oltre che consentire un appoggio idoneo ai materassi Reno posati sul coronamento e solidarizzati tra loro e con le gabbionate laterali. Il nuovo rivestimento da realizzare con tubazione in esercizio, dovrà essere eseguito, a garanzia della stabilità e conservazione dell'opera, per tratte non superiori ai 20 m. Queste saranno liberate dal rivestimento esistente in terra e rivestite per tratte con le gabbionate, il calcestruzzo magro ed i materassi.



Gabbionate e materassi saranno conformi alla linee guida per l'impiego di dispositivi e manufatti realizzati con rete metallica a doppia torsione, emanate dalla Presidenza del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, nel rispetto delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 Settembre 2005 ed in coerenza le altre normative europee riguardanti l'utilizzo di questi materiali.

2. DETERMINAZIONE DELLE CONDIZIONI DI MOTO PERMANENTE NELL'ALVEO DEL RIO SA MELA

2.1. *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 inasamento 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 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.

2.2. *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.

2.3. ***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.

É 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.

2.4. ***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.

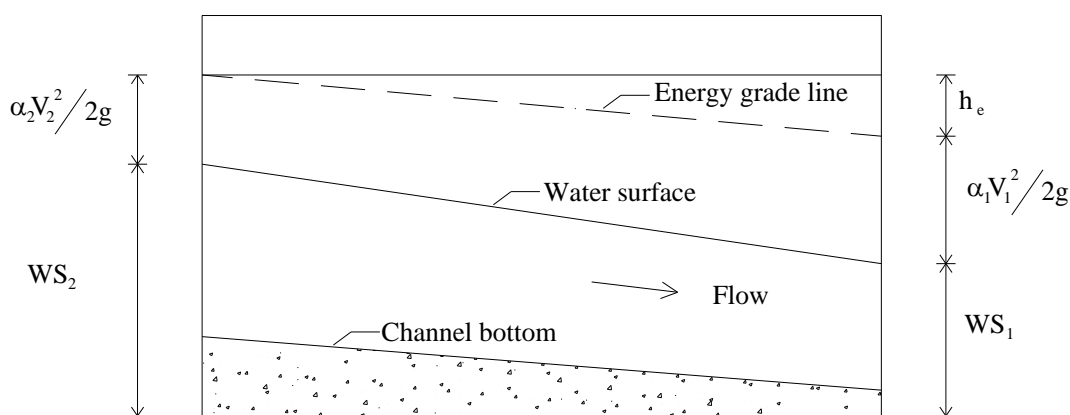


Fig. 2.1 - Carichi idraulici in due sezioni di calcolo consecutive

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



$$Ws_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Ws_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

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;
- α_1, α_2 : coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche (o coeff. di Coriolis);

2.5. **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 .



2.6. ***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:

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

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.

2.6.1. *Perdite per contrazione ed espansione*

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

$$h_0 = c_L \left(\frac{a_2 V_2^2}{2g} - \frac{a_1 V_1^2}{2g} \right) \quad (5)$$



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 Fig. 2.2.

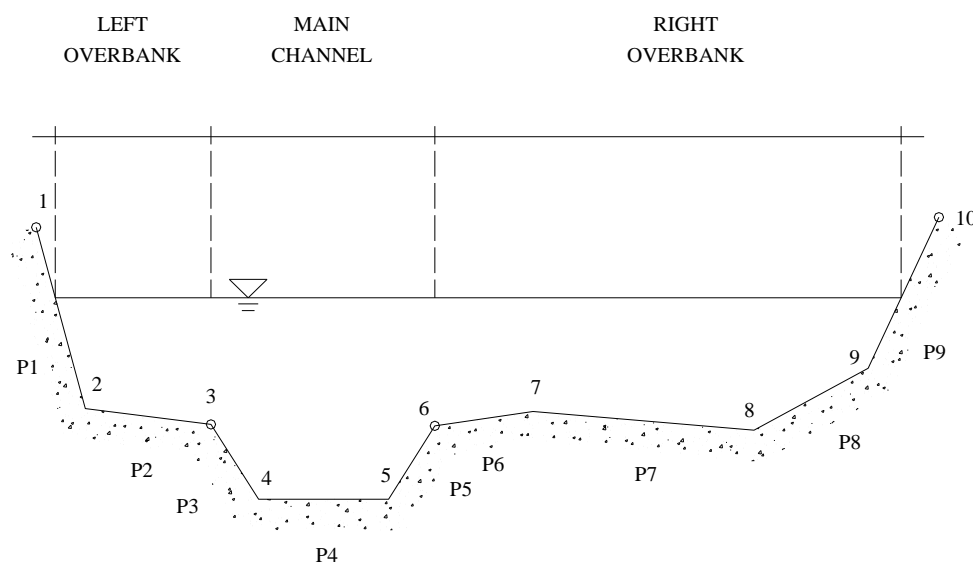


Fig. 2.2 - Suddivisione della sezione in 3 componenti

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

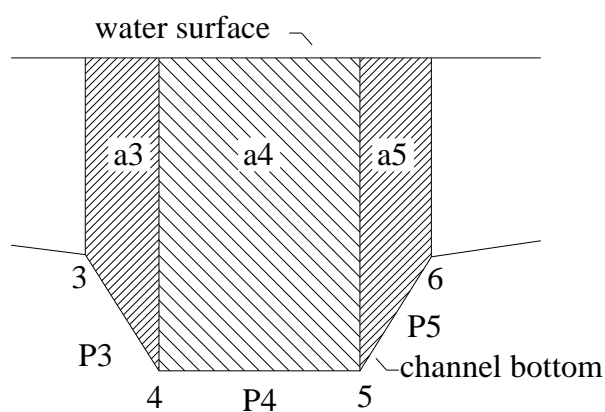


Fig. 2.3 - Scomposizione di una componente della sezione in sub-sezioni

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:

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

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 α che tiene conto della distribuzione della distribuzione della velocità all'interno della sezione trasversale, viene calcolato tramite la relazione:

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

2.6.2. *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.



2.6.3. *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 valle¹ 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).

2.6.4. *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.

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



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 (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.

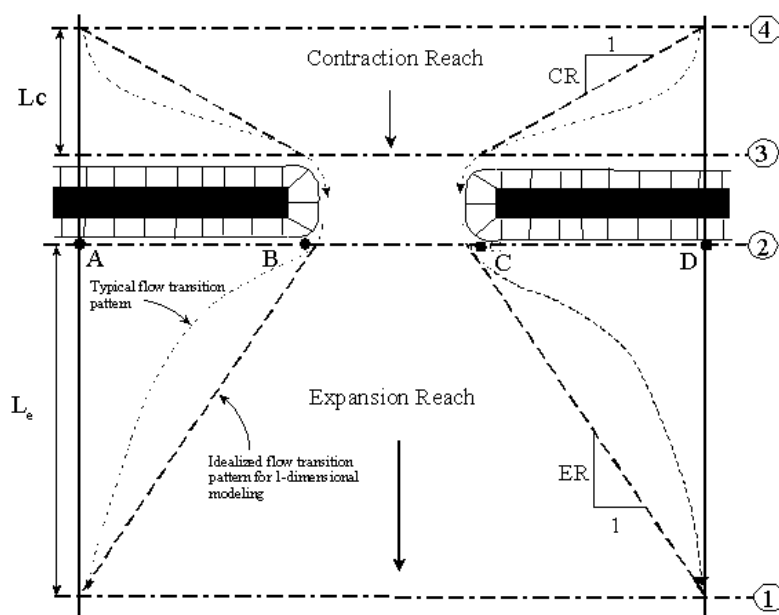


Fig. 2.4 - Geometria di un passaggio ristretto

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.

2.6.5. Culvert

Il *culvert* è una condotta di lunghezza limitata che connette due tratti di canale a cielo aperto o due corpi idrici. L'analisi del flusso attraverso un culvert è abbastanza complicata. Hec Ras analizza le condizioni di deflusso nei culvert in base alle linee guida della Federal Highway Administration, basandosi sul



posizionamento della cosiddetta "sezione di controllo" all'interno del culvert. Si tratta di un punto nel quale siano note profondità e portata e nel quale esista una relazione univoca tra la portata stessa ed il livello idrico di monte. Il programma calcola l'energia necessaria a monte per avere una determinata portata attraverso il culvert, sia nei casi in cui la sezione di controllo si trovi all'ingresso (inlet control), sia quando detta sezione è posta all'uscita (outlet control).

Il caso di "inlet control" si presenta quando la capacità all'ingresso è minore della capacità all'interno della condotta (barrel). La sezione di controllo in questo caso è situata all'ingresso del culvert e l'energia in tale punto viene computata assumendo che "the culvert inlet" agisca come una paratoia o uno sbarramento in generale; di conseguenza la capacità all'ingresso dipende principalmente dalla geometria.

Il caso di "outlet control" si presenta quando la capacità di flusso del culvert è limitata dalle condizioni di valle o dalle capacità di trasporto della condotta. Hec Ras computa in tal caso l'energia di monte necessaria per produrre una certa portata attraverso il culvert, date le condizioni di monte e di valle. In questo secondo caso l'energia di monte viene computata utilizzando l'equazione del bilancio di energia dalla sezione di valle a quella di monte.

Tra queste due condizioni è in generale quella che possiede il carico di monte più alto, che determina il tipo di moto all'interno del culvert per una data portata e livello di valle.

2.6.6. *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;

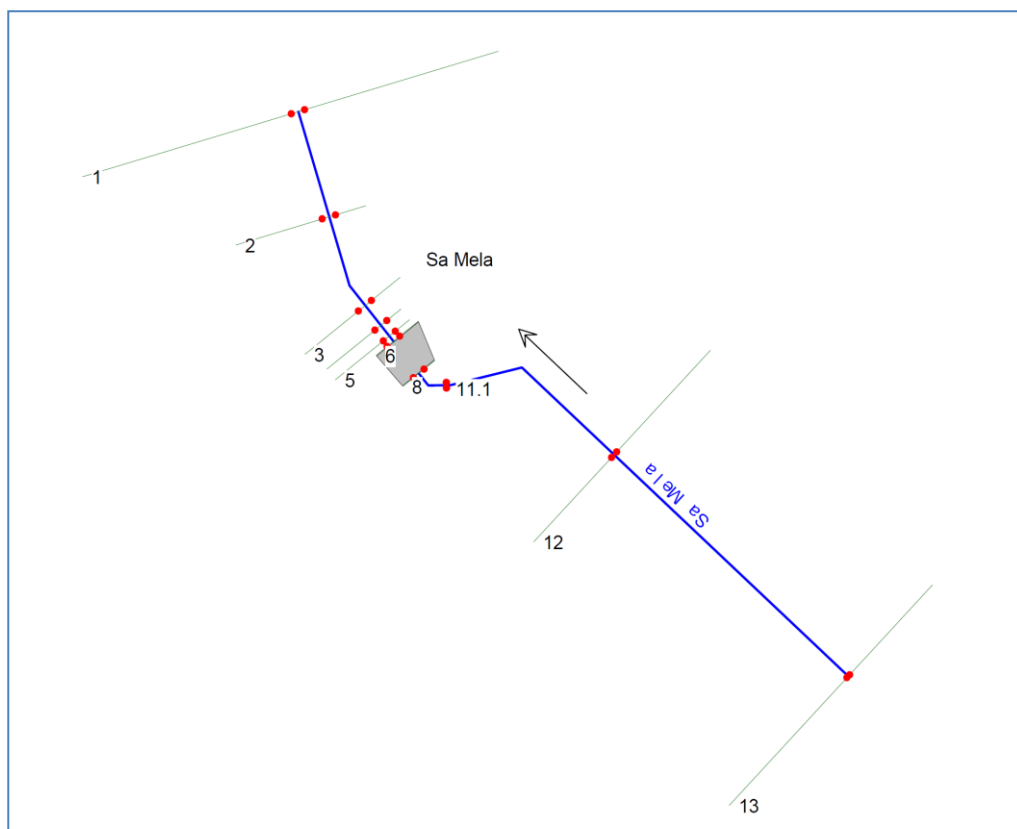
- la portata considerata è stata considerata costante lungo i diversi tratti omogenei degli alvei studiati, con incrementi in corrispondenza delle confluenze;
- le perdite di carico sono state valutate con la consueta espressione di Chezy e valutazione del coefficiente n mediante la formula di Manning, ponendo cautelativamente il coefficiente $n=0.028$ corrispondente ad un canale in terra con grado di irregolarità dell'alveo, variazione della sezione ed effetto relativo delle ostruzioni trascurabile. Nei casi in cui la sezione di progetto fosse rivestita in cls, è stato introdotto, come coefficiente di scabrezza, il valore Manning $n=0.013$
- 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:

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

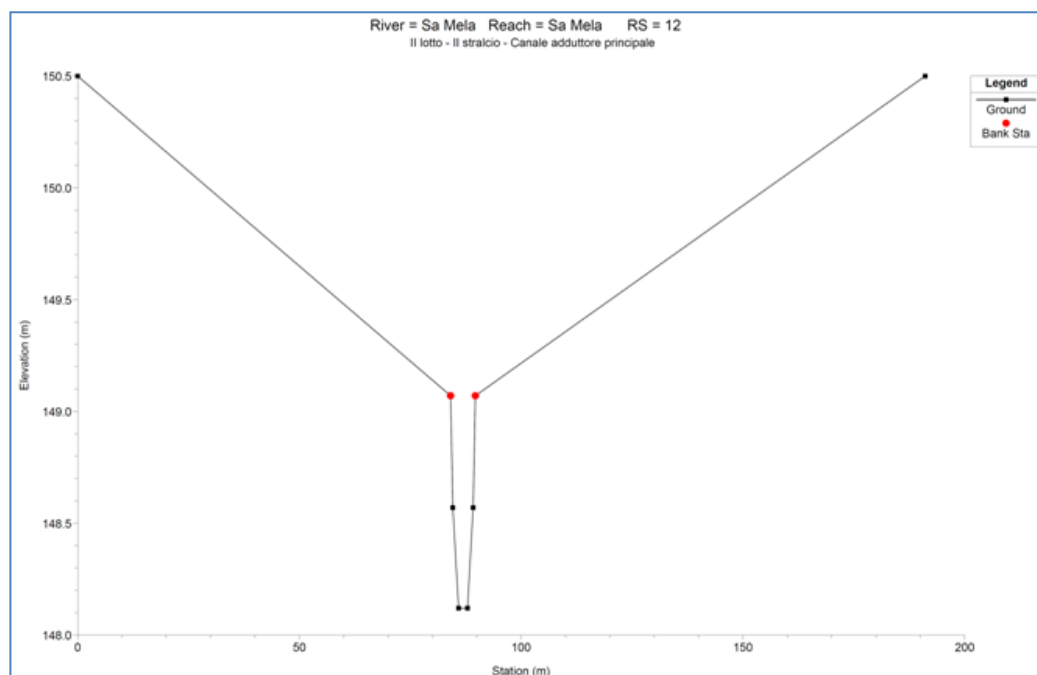
dove n è il coefficiente di Manning complessivo, mentre gli n_i sono i contributi dovuti a vari parametri descrittivi delle condizioni dell'alveo.

2.7. ***Dati di input e risultati delle simulazioni***

Il tracciato schematico dell'alveo inserito in Hec Ras è il seguente:



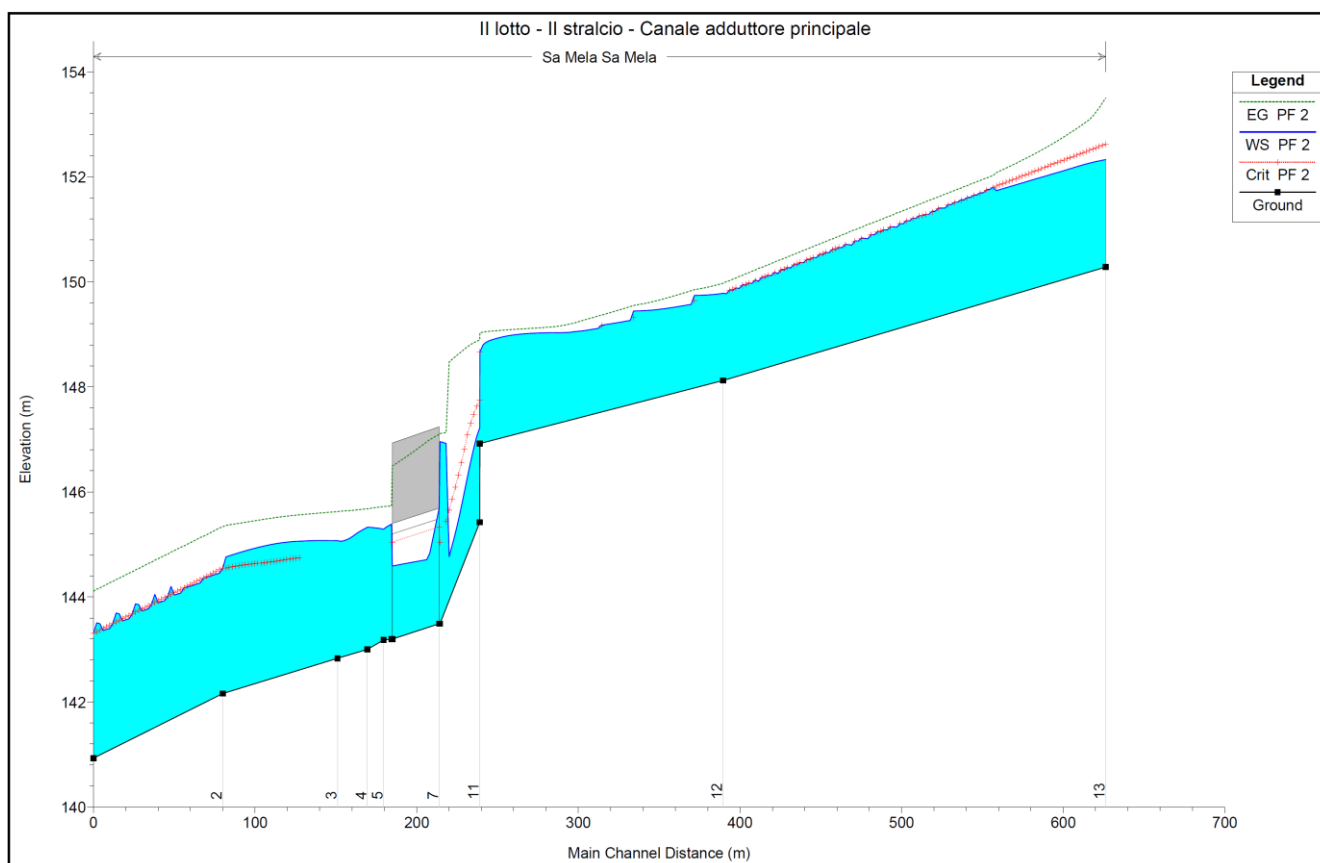
Dalla sezione 13 alla sezione 11.1 non sono previsti lavori di sistemazione per cui il canale mantiene la sua attuale configurazione con la seguente sezione tipo:





I lavori in progetto interessano il tratto di corso d'acqua compreso tra la sezione 11.1 e la sezione 5; in particolare, le due condotte del Ø 2200 mm in acciaio saranno posizionate in parallelo allo scatolare esistente, tra la sezione 8 e la sezione 6. Nella sezione 11 inoltre, è ubicato un salto di altezza pari a 1,5 m.

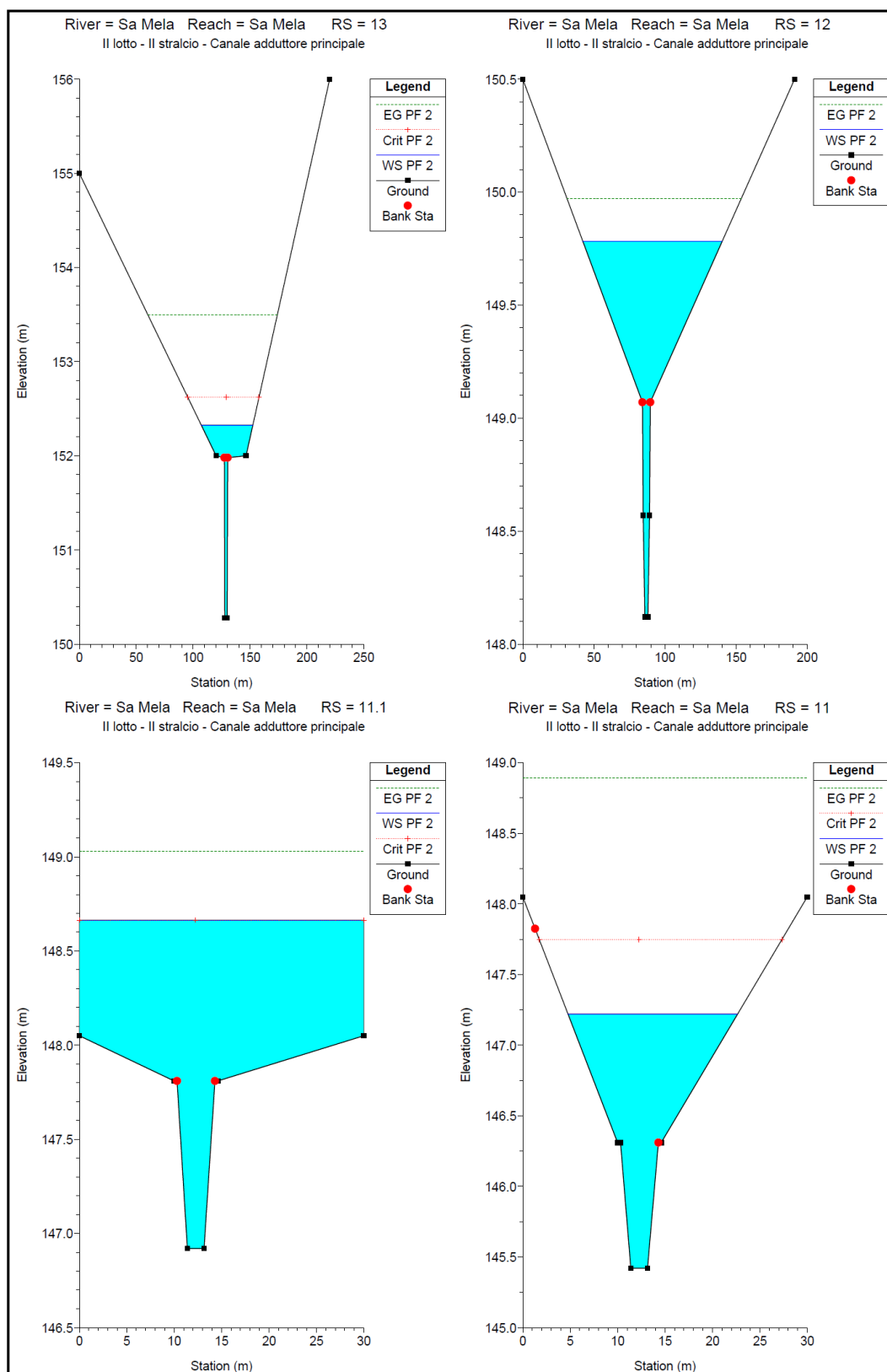
La simulazione in moto permanente è stata condotta utilizzando il valore di portata $Q=61.17 \text{ m}^3/\text{s}$ corrispondente, come desumibile dalla lettura dell'allegato 1.2, ad un tempo di ritorno pari a 200 anni. Il profilo idraulico risultante, nel quale è indicato il blu il profilo della corrente idrica, in rosso l'altezza critica ed in grigio il cielo del manufatto ed il sovrastante muro in cls armato, è il seguente:

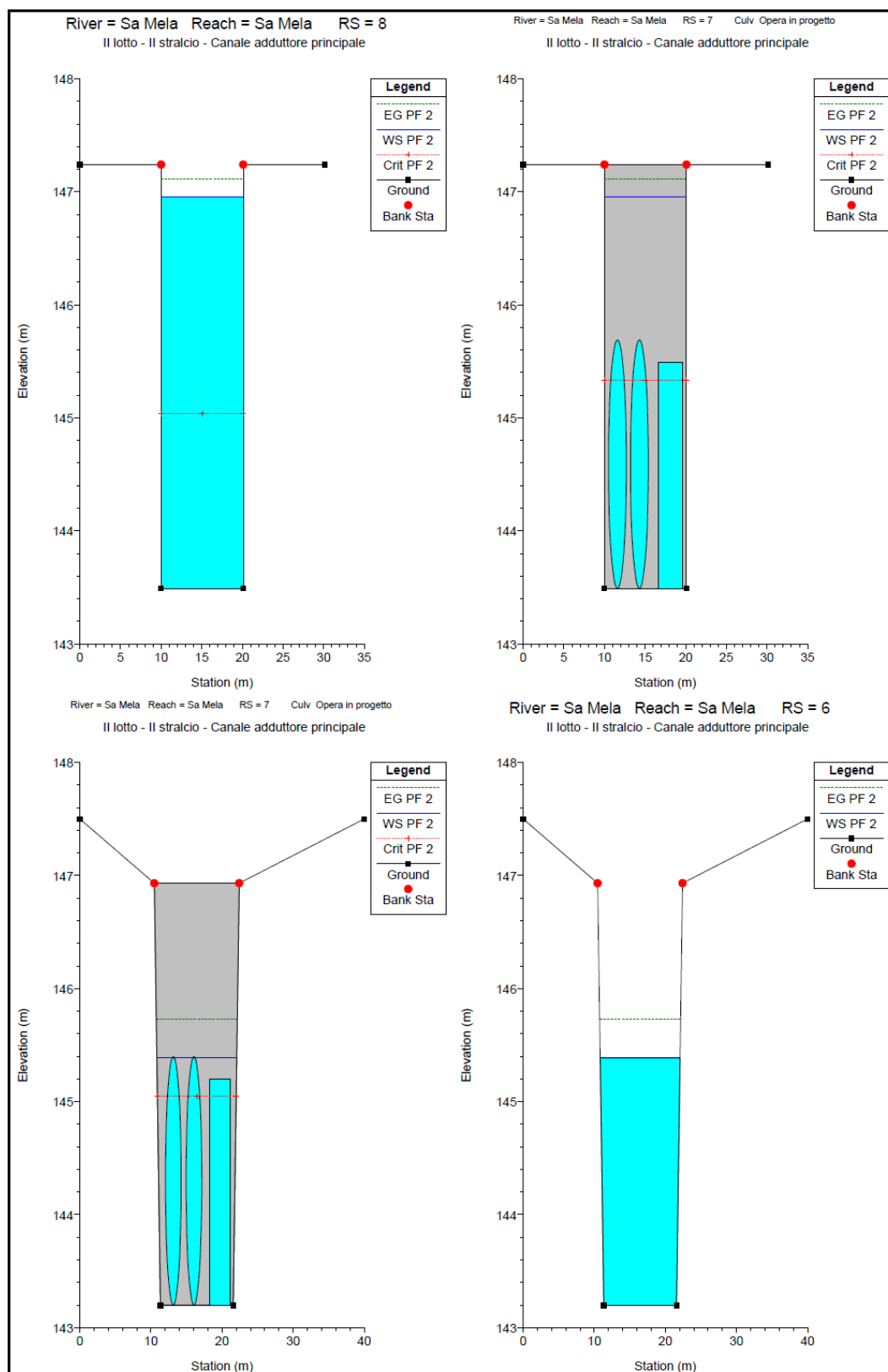


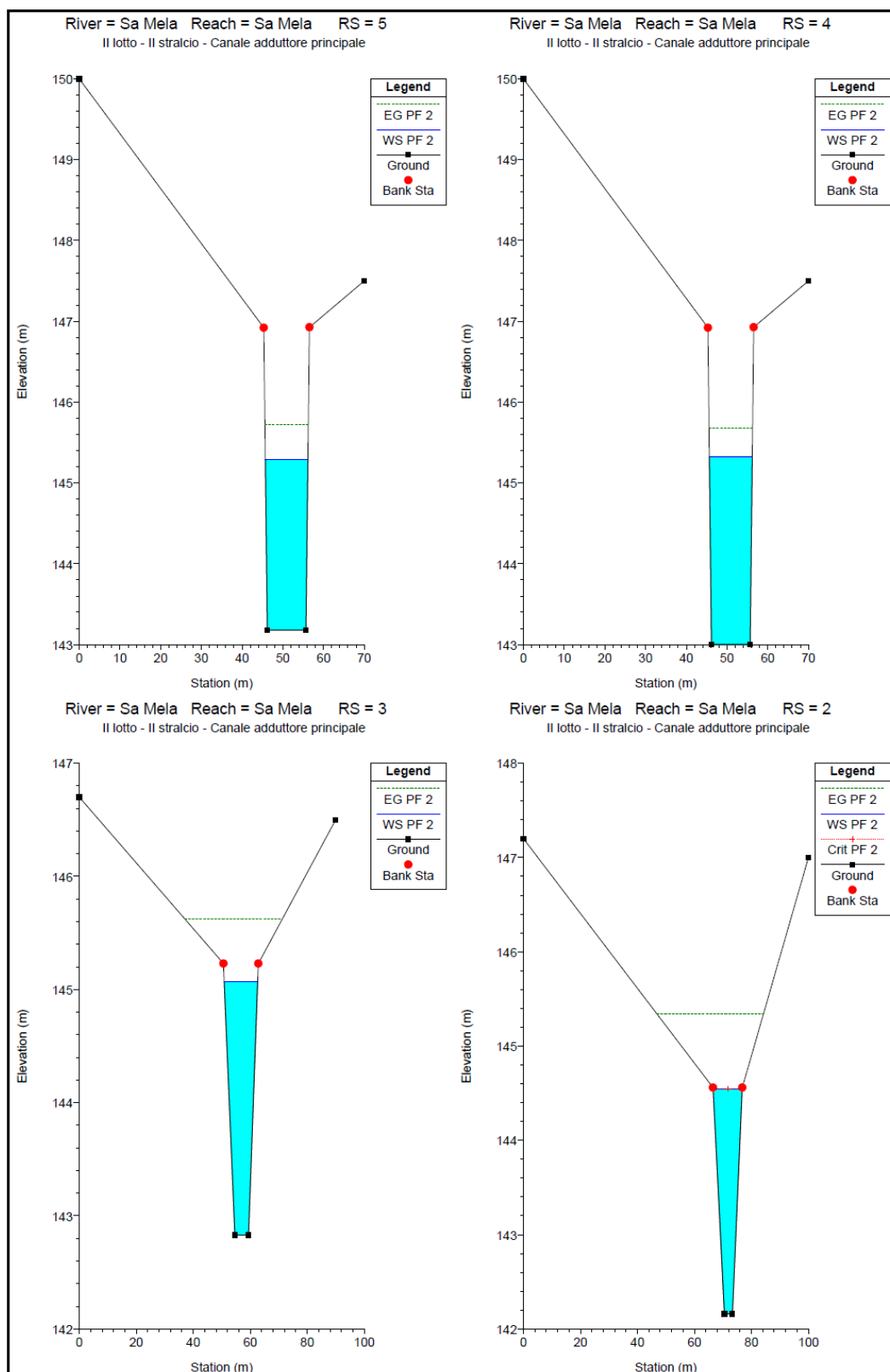


Dalla lettura del profilo appare evidente come la corrente, veloce a valle del salto, subisca un rallentamento all'imbocco dell'opera di presa, per poi ritornare ad essere veloce all'interno dello scatolare nonché delle due condotte. Il fenomeno riscontrato si giustifica dal punto di vista idraulico con il restringimento della sezione creato dall'ingresso dei tubi e dello scatolare per cui l'energia disponibile nella corrente in arrivo non appare sufficiente a superare l'ostacolo presentato dal manufatto. L'effetto del fenomeno descritto è la formazione di un rigurgito che consente l'incremento di carico necessario per oltrepassare l'ostacolo.

Una ulteriore rappresentazione grafica del risultato è riprodotta dalle singole sezioni di calcolo con le stesse grandezze indicate nel profilo.









Una ulteriore analisi condotta è relativa alla determinazione del livello raggiunto dalla corrente idrica in occasione del transito entro l'opera di imbocco della massima portata trasportabile ovvero quella che genera una quota del profilo idrico corrispondente alla sommità dei muri di contenimento dell'opera di imbocco pari a 147.09 m. s.l.m. La simulazione condotta ha evidenziato che il valore di portata cercato è pari a circa 68.5 m³/s, corrispondente ad un tempo di ritorno pari a circa 350 anni.

Il profilo corrispondente è risultato il seguente:

