



**STUDIO MACRI'
TECNICI ASSOCIATI**

Progetti integrati
d' Ingegneria
ed Architettura

RECAPITI e - mail:
studiomacriz@outlook.com
studiomacriassociati@hotmail.it
[pec: domenico.macri1@ingpec.eu](mailto:pec:domenico.macri1@ingpec.eu)

SEDE OPERATIVA ED
AMM.VA
Centro Lucrezia della Valle
Via Lucrezia della Valle n.19/40

88100 CATANZARO (CZ)

Tel. e Fax 0961 753475

COMUNE DI CARDINALE

(PROVINCIA DI CATANZARO)

PERIZIA DI VARIANTE E SUPPLETIVA

DATA:		
FEBBRAIO 2026	PROGETTISTA :	DIRETTORE DEI LAVORI:
	ING. DOMENICO MACRI'	ING. DOMENICO MACRI'

	TITOLO DEL PROGETTO:
	INTERVENTI DI SISTEMAZIONE DELLE PENDICI SOVRASTANTI IL CENTRO STORICO DEL COMUNE DI CARDINALE – CODICE CZ042A/10.

Prot. Dis.	Modifiche:	1
	Sostituisce il N.	2
	Sostituito dal N.	3
ALL. N.	Oggetto del Disegno:	
A1.3.	RELAZIONE IDRAULICA	
V		

SCALA:	ENTE APPALTANTE:
	COMMISSARIO DEL GOVERNO per il contrasto dissesto R. Calabria- info@pec.dissestocalabria.it
	RESPONSABILE U.P. – Geom. A. FALVO- e-mail: a.falvo@dissestocalabria.it

A TERMINI DI LEGGE – ART. 2578 DEL C.C. CI RISERVIAMO L'ESCLUSIVA PROPRIETA' DI QUESTO ELABORATO TECNICO, CON DIVIETO DI COPIARLO O RIPRODURLO SENZA IL NOSTRO CONSENSO SCRITTO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DELLE ACQUE	2
2.1 FOSSO MARCHESE	2
2.2 FOSSO GIACCO.....	3
3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE IN PROGETTO	4
3.1 FOSSO MARCHESE E GIACCO	4
5. VERIFICHE IDRAULICHE	5
5.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI HEC RAS	5
6. COMMENTO DEI RISULTATI	14
7. CONCLUSIONI.....	18
ALLEGATO A: DESCRIZIONE CODICE DI CALCOLO	22
HEC RAS.....	22
A.1. PREMESSA	23
A.2. DATI DI INPUT	24
Geometria della rete idrografica	25
Dati di portata e condizioni al contorno	26
A.3 Metodo di calcolo	26
Coefficiente di velocità.....	27
Perdite di carico dovute a contrazione/espansione della corrente	28
Procedura di calcolo	28
Equazione di conservazione della quantità di moto	30
Effetti indotti sulla corrente dalla presenza di un ponte	31

1. PREMESSA

La presente relazione contiene le verifiche ed i dimensionamenti idraulici delle opere previste nell'ambito del progetto "interventi di sistemazione delle pendici sovrastanti il centro storico del Comune di Cardinale (Cz)".

Nel seguito viene condotta la verifica della fontana Marchese e Giacco con i canali a pelo libero presenti ed in progetto a monte del centro abitato simulando lo stato di progetto (briglie, organi di regolazione, ecc.) utilizzando il codice di calcolo HEC RAS.

Per le verifiche dello stato di fatto e quelle relative alle fontane Donnelerio e Cavaliere si rimandano agli elaborati già prodotti nelle precedenti revisioni progettuali.

2. DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI DRENAGGIO DELLE ACQUE

Il versante che insiste sull'abitato di cardinale è fondamentalmente drenato da 4 impluvi principali che lo attraversano in direzione est-ovest; si individuano da nord verso sud l'impluvio Donnelerio, il fosso Cavaliere, il fosso Marchese ed il fosso Giacco.

In corrispondenza dell'abitato i fossi sono intubati e parzialmente inglobati nella rete di raccolta delle acque bianche con tracciati e sezioni di deflusso variabili.

Di seguito si riporta una breve analisi della dinamica di smaltimento delle acque di versante relative alla fontana Marche e Giacco.

2.1 FOSSO MARCHESE

Il fosso Marchese drena la maggior porzione di collina rispetto agli altri impluvi presenti; anch'esso risulta intubato a valle della vasca di raccolta del materiale di dilavamento del versante precedentemente realizzata.

Il tratto intubato attualmente ha mediamente dimensioni pari a 0.90x070 mq tranne in una porzione ridotta del tracciato posta al di sotto di un'abitazione esistente (nella porzione superiore del paese) dove la sezione è rettangolare con volta in mattoni, larga 0.58 m ed alta 0.96 m.

Il tratto intubato di monte scarica all'interno di un collettore fognario bianco con dimensioni pari a 1.70x1.00 mq che recapita le acque in Ancinale.

2.2 *FOSSO GIACCO*

Il fosso Giacco drena la porzione sud del versante, e attraversa l'abitato con sezione a cielo aperto larga circa 3.50 m e alta mediamente 1.50 m.

Oltre alle acque del Giacco, in detto canale confluiscono anche quelle provenienti da un canale esistente in pietrame cementato, a sezione trapezia profondo 1.20 m e largo 1.00 alla base e 1.50 m in testa, che raccoglie parte delle acque di versante comprese tra Marchese e Giacco

3. DESCRIZIONE DELLE OPERE IDRAULICHE IN PROGETTO

3.1 FOSSO MARCHESE E GIACCO

Nella presente revisione progettuale il Canale Marchese sarà completamente deviato a monte del paese verso la fontana Giacco grazie alla realizzazione di un nuovo canale a pelo libero della sezione rettangolare di 1.50x2.50 m. Questa opera nasce a valle della vasca di sedimentazione esistente e sarà alimentata tramite una bocca ad efflusso libero della sezione analoga a quella del canale. Nel tratto iniziale il nuovo canale attraverserà la pista di cantiere esistente per affiancarla sul lato di valle per un tratto della lunghezza di circa 130 m, successivamente interesserà per una lunghezza di circa 45 m la viabilità di cantiere per poi spostarsi nuovamente a valle della stessa per una lunghezza di circa 120 m. Nel tratto intermedio il nuovo canale intercetterà il fosso di drenaggio della collina presente a monte dei muri di sostegno esistenti denominato “canale del Genio Civile”, mentre gli ultimi dieci metri sono caratterizzati da un dislivello di circa 8.00 m che sarà superato con quattro salti di fondo in modo da dissipare l'energia della corrente.

Il canale presenta quattro livellette così suddivise:

1. Livelletta 1: lunghezza 176.27 m, pendenza 2.50 %;
2. Livelletta 2: lunghezza 33.06 m, pendenza 8.13 %;
3. Livelletta 3: lunghezza 73.97 m, pendenza 3.10 %;
4. Livelletta 4: lunghezza 10.70 m, dislivello di 7.98 m superato con 4 salti dell'altezza di circa 2.00 m ciascuno.

Nel tratto di pendio afferente al fosso Marchese addicente la vasca di sedimentazione, nel tratto compreso tra questa e l'inizio del “Canale del Genio Civile” viene realizzato un fosso di guardia a monte dei muri esistenti ed in progetto della lunghezza di circa 50 m con sezione trapezoidale avente base inferiore di 1.00 m, base superiore di 1.20 m ed altezza costante di 1.30 m. La portata raccolta da questo tratto di fosso è di 0.48 m³/sec.

5. VERIFICHE IDRAULICHE

Sulla base delle considerazioni sopra esposte, del rilievo topografico specificamente predisposto per l'intervento in oggetto e con le portate di piena calcolate nella relazione idrologica si schematizza la dinamica di smaltimento delle portate di piena provenienti dal versante utilizzando due distinti codici di calcolo:

- Le verifiche di compatibilità idraulica degli interventi a monte del centro abitato realizzati sui corsi d'acqua naturali (fossi Giacco, Marchese) e sui canali artificiali a cielo aperto esistenti ed in progetto sono state effettuate mediante l'utilizzo del codice di calcolo "HEC RAS River Analysis System" del "US Army Corps of Engineers", ricostruendo i profili di piena in condizioni di moto stazionario permanente per i tratti di corso d'acqua analizzati.

In sintesi, la verifica idraulica consiste nel determinare, una volta individuate le condizioni al contorno e le condizioni fisiche di riferimento, il profilo del pelo libero ed il rigurgito provocato dalle eventuali opere presenti in alveo, potendo così definire il franco libero per gli attraversamenti stradali e per le opere arginali presenti. A tale proposito la luce dei ponti e l'altezza degli argini devono essere tali da garantire, per la piena di progetto, un franco così definito:

- $f > 1/2v^2/2g$
- comunque non inferiore a 1 m.

dove v è la velocità media della corrente nella sezione di verifica.

5.1 DESCRIZIONE DEL MODELLO DI HEC RAS

Obiettivo della verifica idraulica è quello di quantificare le grandezze del moto della corrente nei tratti d'asta indagati al fine di definire gli scenari di piena probabili per le portate con tempo di ritorno duecentennale; in dettaglio verrà quantificato il franco idraulico delle opere d'arte esistenti (distanza tra il livello del pelo libero dell'acqua nel torrente e l'intradosso delle opere d'arte in progetto), e delle difese arginali esistenti.

Per procedere alla verifica è necessario definire prima la geometria dei corsi d'acqua permettendo una descrizione dettagliata dei tratti d'alveo in analisi definendo le singolarità e le variazioni delle dimensioni.

L'analisi qui presentata è finalizzata alla quantificazione delle caratteristiche idrauliche del moto della corrente in condizioni di piena, rappresentate dai valori dei livelli idrici e delle velocità di corrente all'interno dell'alveo inciso e delle eventuali aree golenali o inondate.

L'esecuzione dei calcoli idraulici per la determinazione delle modalità di deflusso comporta la definizione dei seguenti punti principali:

- Metodo di calcolo;
- Condizioni al contorno;
- Condizioni di riferimento.

Per quanto riguarda il metodo di calcolo seguito per l'analisi idraulica si è fatto riferimento alle condizioni di moto stazionario monodimensionale permanente che considera portata costante e geometria dell'alveo variabile (questo tipo di moto rappresenta una buona approssimazione di quello che si manifesta negli alvei naturali dei corsi d'acqua durante gli eventi di piena).

Tale metodologia permette, pertanto, una valutazione dei livelli di piena nelle sezioni del torrente più raffinata di quanto non lo consenta la schematizzazione del moto uniforme nelle singole sezioni dell'alveo. Con essa, infatti, è possibile calcolare i livelli idrici considerando l'influenza della variazione della geometria e le singolarità idrauliche presenti nel tratto d'asta del corso d'acqua analizzato come la presenza di attraversamenti stradali, l'influenza delle immissioni o la divisione in altri corsi d'acqua.

Il problema del tracciamento del profilo di superficie libera di un corso d'acqua naturale in moto permanente con una data portata Q si risolve con procedimenti di calcolo numerico.

L'operazione richiede la suddivisione del corso d'acqua in tronchi di lunghezza Δs , tali da poter confondere i valori medi della sezione e della velocità in ciascun tronco con i valori ad un estremo. La natura dell'alveo deve conservarsi, entro certi limiti, in ciascun tronco.

Siano i e $i + 1$ due sezioni consecutive, distanti Δx in asse, nella prima delle quali siano note tutte le grandezze idrauliche.

La variazione di carico idraulico ΔH tra le due sezioni si può calcolare mediante la seguente relazione alle differenze finite:

$$\Delta H = -[j]_i \cdot \Delta x$$

Si può ottenere così il carico H_{i+1} della sezione $i + 1$ e conseguentemente il carico piezometrico h_{i+1} , che rappresenta la quota del pelo libero rispetto ad un piano di riferimento orizzontale, risolvendo l'equazione:

$$H_{i+1} = h_{i+1} + \frac{Q^2}{2g \cdot \Omega_{i+1}^2}$$

È possibile in questo modo ricavare il carico piezometrico della corrente nelle sezioni di rilievo e da questo calcolare le caratteristiche idrauliche che il torrente ha nel tratto in esame.

In particolare, per il calcolo dei livelli e delle principali caratteristiche del moto si è utilizzato il codice di calcolo "Hec Ras" del U.S. Army Corps of Engineers.

Per quanto riguarda le condizioni al contorno, i valori da assegnare sono:

- Il valore della portata al colmo di riferimento;
- L'altezza del livello del pelo libero dell'acqua ad una delle estremità o ad entrambe, in funzione del tipo di corrente (lenta o veloce) che si viene ad instaurare sull'asta analizzata.

Per definire l'altezza del livello del pelo libero dell'acqua ad una delle estremità si deve prima verificare il tipo di corrente che si instaura sul tratto di corso d'acqua in esame conducendo un'analisi in moto uniforme. Stabilita la natura della corrente, si assume come condizione al contorno, nel caso essa sia lenta, l'altezza d'acqua di moto uniforme nella sezione di valle, mentre nel caso di corrente veloce si assume l'altezza d'acqua nella sezione di monte.

Questa approssimazione non pregiudica i risultati che si ottengono in quanto gli errori derivanti dalla scelta di un livello idrico inesatto si riduce con sufficiente rapidità procedendo con il calcolo verso monte o verso valle fino ad annullarsi completamente a distanza non eccessivamente grande. Si deve ancora ricordare che

le approssimazioni che derivano da tali posizioni si possono ritenere di entità non superiore a quella con cui si riescono a valutare le altre grandezze (coefficiente di scabrezza ecc.).

Le opere in progetto prevedono una variazione del deflusso superficiale deviando le portate tra i diversi elementi di drenaggio presenti mediante la costruzione di nuovi tratti di canale. Per le simulazioni dello stato di fatto, che differisce nella geometria e nella definizione delle portate da quello in progetto, si rimanda agli studi allegati ai precedenti progetti sviluppati per il consolidamento della collina di Cardinale.

A seguito degli interventi in progetto tutta la porta del fosso Marchese viene deviata nel Giacco mediante il nuovo canale a sezione rettangolare di 1.50x2.50 m.

Nel seguito sono riportati gli schemi idraulici della simulazione dello stato di progetto.

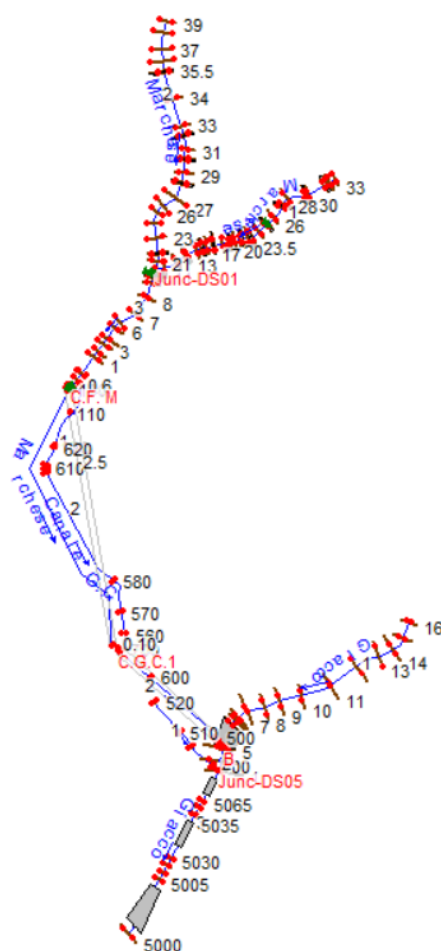


Fig. n. 1: rete idraulica stato di progetto

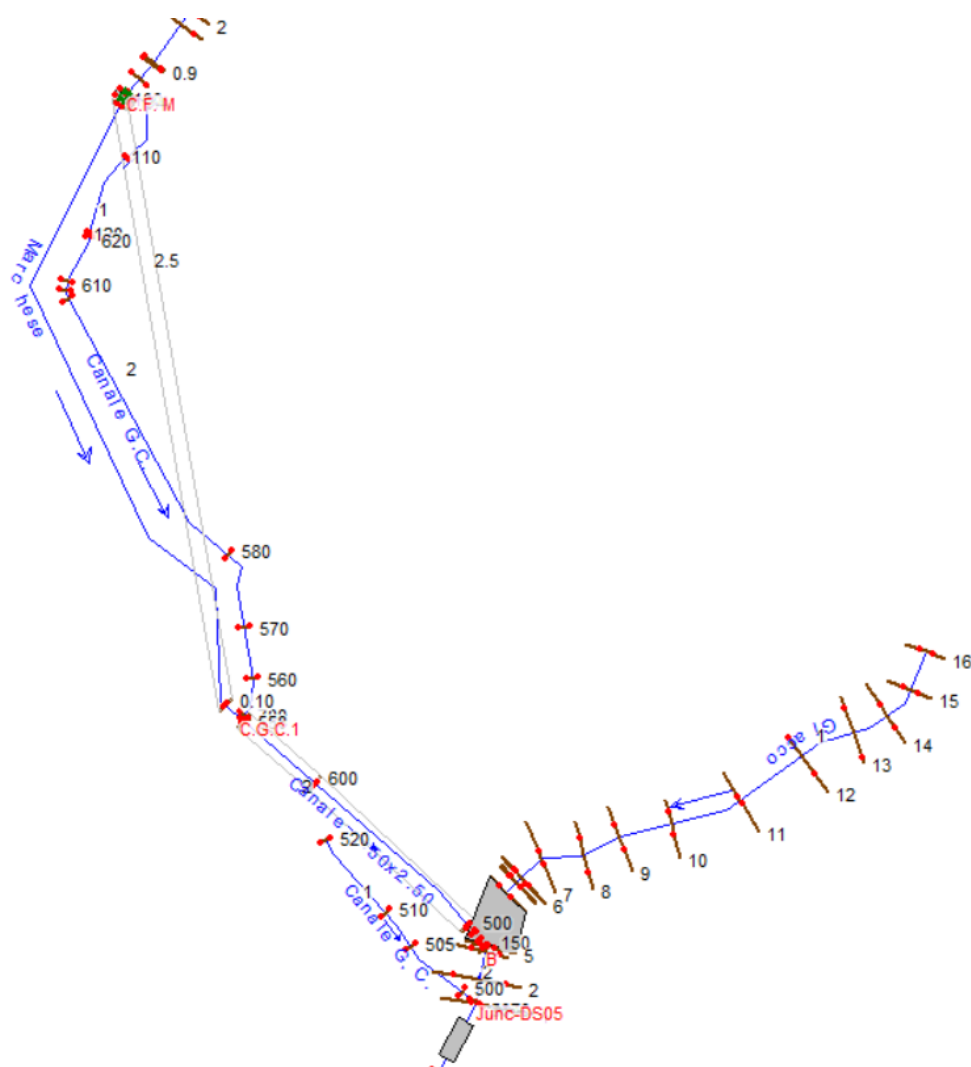


Fig. n. 2: rete idraulica stato di progetto tratto terminale fosso Marchese e Giacco

Presupponendo che la corrente nei vari tratti analizzati possa attraversare lo stato critico, il codice di calcolo impiegato consente di eseguire un'analisi in corrente mista la quale richiede come condizioni al contorno le altezze d'acqua nelle sezioni di valle e di monte. I valori dei livelli idrici nelle sezioni di estremità sono determinati direttamente dal programma di calcolo introducendo le pendenze dell'alveo nei punti estremi; nelle seguenti tabelle si riassumono le condizioni al contorno imposte per lo stato di fatto e di progetto e le relative portate.

Tabella 1: condizioni al contorno modello di progetto

Tratto	Sezione valle	Sezione monte
Canale G. C.	5.20 [%]	Junction canale G.C.
Canale G.C. valle confluenza con scatolare 1.50x2.50 m	2.00 [%]	Junction Giacco
Fosso di guardia Marchese	3.00 [%]	Junction marchese
Giacco monte pista di cantiere	19.00 [%]	Junction canale 1.50x2.50
Giacco tra canale 1.5x2.50 e canale G.C.	Junction canale 1.50x2.50	Junction canale G.C.
Giacco interno centro abitato	Junction canale G.C.	2.10 [%]
Marchese ramo 1	100.00 [%]	Junction
Marchese ramo 2	32.40 [%]	Junction
Marchese ramo3	Junction	Junction Canale 1.50x2.50
Canale 1.50x2.50 ramo 1	Junction Canale 1.50x2.50	Junction canale G.C.
Canale 1.50x2.50 ramo 2	Junction canale G.C.	Junction canale Giacco

Tabella 2: Portate di progetto

Flow Change Location			Profile Names and Flow Rates	
	River	Reach	RS	PF 1
1	C.F. Marchese	1	120	0.48
2	Canale 1.50x2.50	2	700	8.45
3	Canale G.C.	2	620	1.13
4	Canale G.C.	1	520	0.47
5	Giacco	1	16	9.64
6	Giacco	2	3	18.09
7	Giacco	3	5070	18.56
8	Marchese	2	39	2.34
9	Marchese	1	33	2.55
10	Marchese	3	10	6.84
11	Marchese	2.5	0.4	7.32

La condizione al contorno “Junction” sta ad indicare che il livello idrico in quella sezione viene determinato direttamente dal codice di calcolo risolvendo numericamente l’equazione di equilibrio dell’energia in funzione della portata in arrivo o in uscita.

Nelle condizioni di progetto in alveo sono presenti le seguenti opere:

- Attraversamento pista di cantiere sul fosso Giacco costituito da un tombino con sezione policentrica della larghezza di 1.85 m ed altezza di 1.39 m;
- Attraversamento stradale sul fosso Giacco strada comunale con impalcato della larghezza di 4.00 m, con unica campata della luce di circa 3.23 m;
- Attraversamento stradale sul fosso Giacco Via Dante Alighieri con impalcato della larghezza di 6.00 m, con unica campata della luce di circa 4.60 m;
- Attraversamento stradale sul fosso Giacco Via Ancinale con impalcato della larghezza di 10.00 m, con unica campata della luce di circa 63.15 m;
- Fosso di guardia tra il canale del Genio Civile ed il fosso Marchese con sezione trapezoidale;
- Luce di efflusso in corrispondenza della parete della vasca esistente del fosso Marchese con forma rettangolare della sezione di 1.50x2.50 m;
- Canale di collegamento tra il fosso Marchese ed il fosso Giacco della sezione di 1.50x2.50 m;
- Briglie nel fosso Cavaliere e Marchese in grado di introdurre salti di fondo e schematizzate modificando la geometria del corso d'acqua.

La simulazione eseguita con RAS nella presente relazione fa riferimento a:

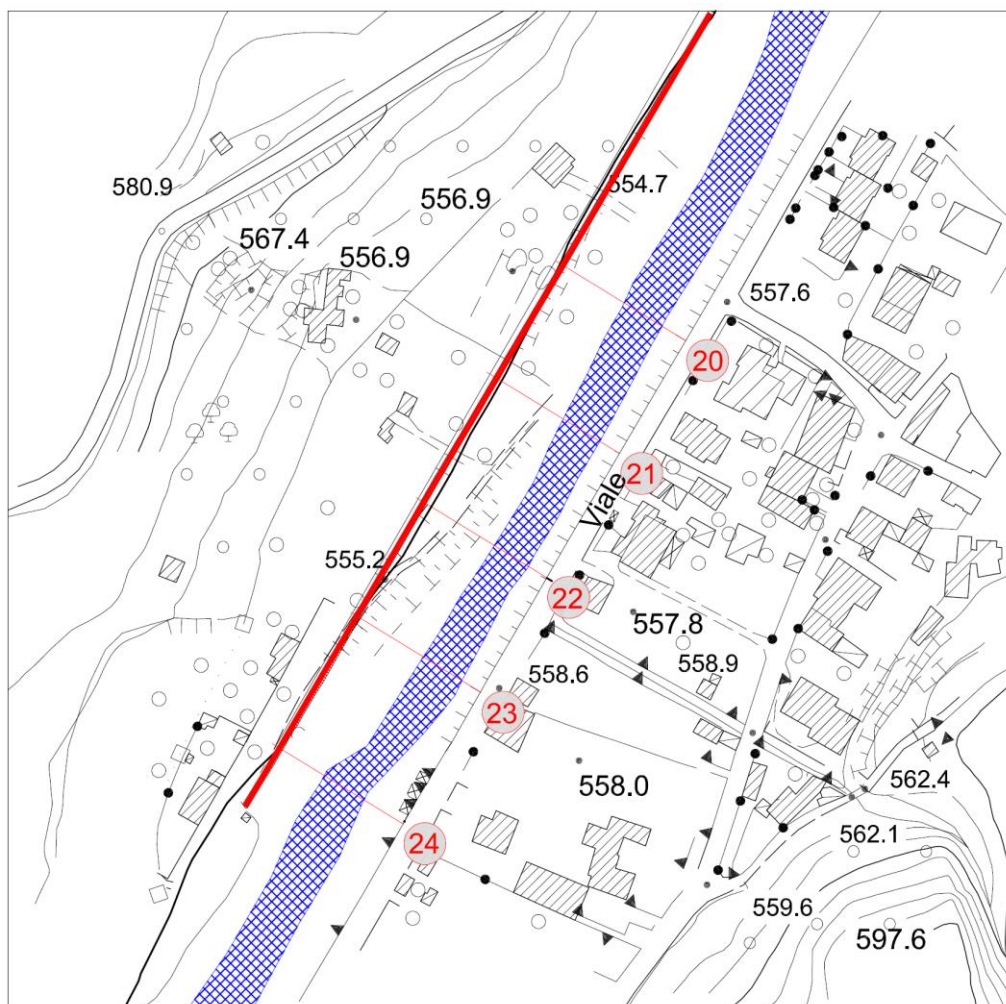
- Situazione in progetto con la presenza degli attraversamenti esistenti, bocche di efflusso in progetto ed alvei ricalibrati dalle briglie per una portata avente tempo di ritorno di 200 anni con efflusso libero del fosso Giacco;
- Situazione in progetto con la presenza degli attraversamenti esistenti, bocche di efflusso in progetto ed alvei ricalibrati dalle briglie per una portata avente tempo di ritorno di 200 anni con efflusso rigurgitato del fosso Giacco.

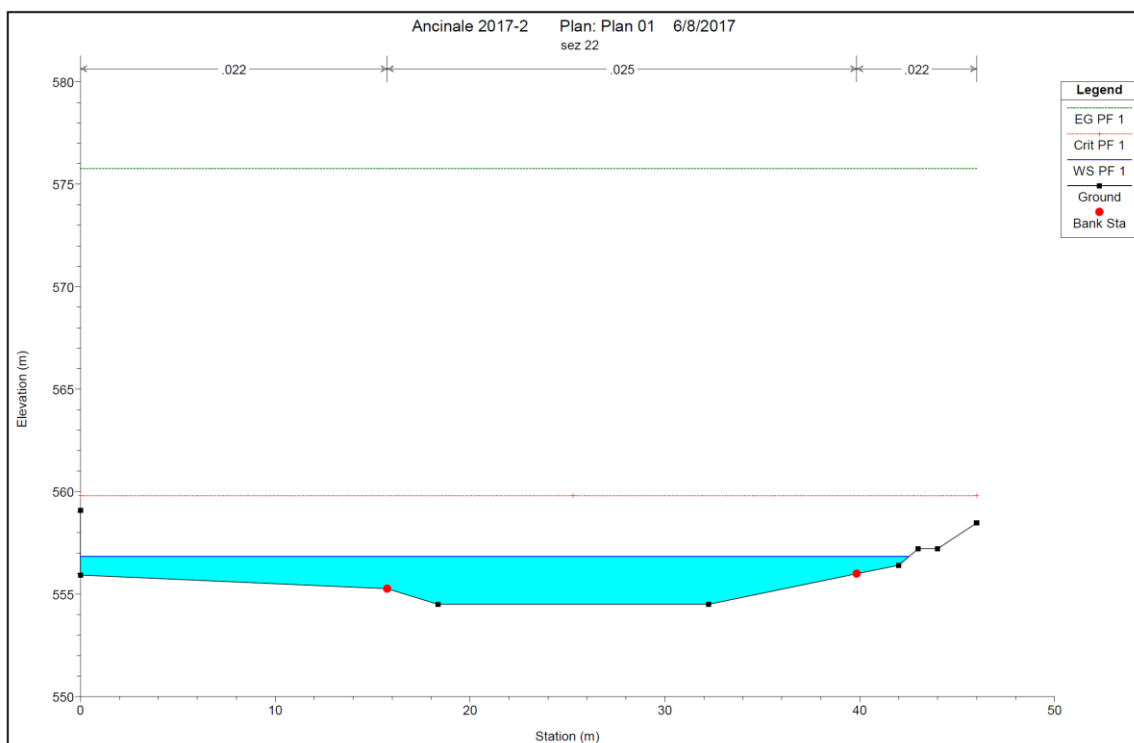
Per la definizione del livello idraulico nella fiumara Ancinale si è fatto riferimento allo studio idraulico condotto nella perizia di variante dall'amministrazione provinciale di Catanzaro nell'ambito degli "Interventi di sistemazione idraulica lungo il fiume Ancinale – cod. opera CZ027A/10". Nella pagina successiva viene riportato un estratto della planimetria di variante con l'individuazione delle sezioni d'alveo e

l'output grafico del codice di calcolo HEC RAS riferito alla sola sezione 22 posta immediatamente a valle dell'immissione del Rio Giacco nella Fiumara Ancinale.

Dall'output si può osservare che la quota di fondo alveo è di circa 554.60 m s.l.m. mentre il livello idraulico è di 556.90 m s.l.m. a cui corrisponde un battente di 2.40 m.

Nel modello idraulico in analisi si è pertanto assunto un livello in corrispondenza dell'immissione del rio Giacco nell'Ancinale di 557.17 m s.l.m. essendo la quota di fondo alveo nella sezione di valle pari a 554.87 m s.l.m..





Le scabrezze dell'alveo che sono state adottate per il calcolo sono dedotte dall'analisi del terreno e dalla letteratura con particolare riferimento a "Hec Ras Hydraulic reference manual":

Per l'alveo naturale escluse le sponde:

$C = 25 \text{ m/s}^{1/3}$ secondo Gauckler Strickler;

$n = 1/C = 0.04$ secondo Manning.

Per l'alveo del fosso Giacco nel centro abitato:

$C = 31.25 \text{ m/s}^{1/3}$ secondo Gauckler Strickler;

$n = 1/C = 0.032$ secondo Manning.

Per le sponde e le aree golenali:

$C = 22.22 \text{ m/s}^{1/3}$ secondo Gauckler Strickler;

$n = 1/C = 0.045$ secondo Manning.

Per il canale rivestito in pietra:

$C = 40 \text{ m/s}^{1/3}$ secondo Gauckler Strickler;

$n = 1/C = 0.025$ secondo Manning.

Per i canali e manufatti in calcestruzzo:

$C = 62.5 \text{ m/s}^{1/3}$ secondo Gauckler Strickler;

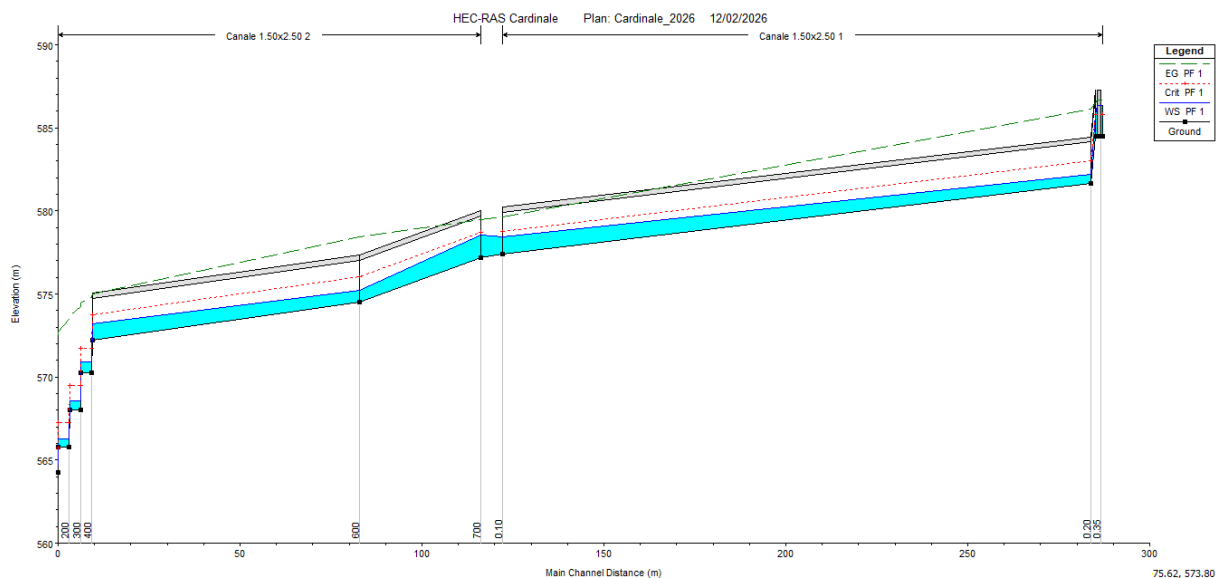
$n = 1/C = 0.016$ secondo Manning.

6. COMMENTO DEI RISULTATI

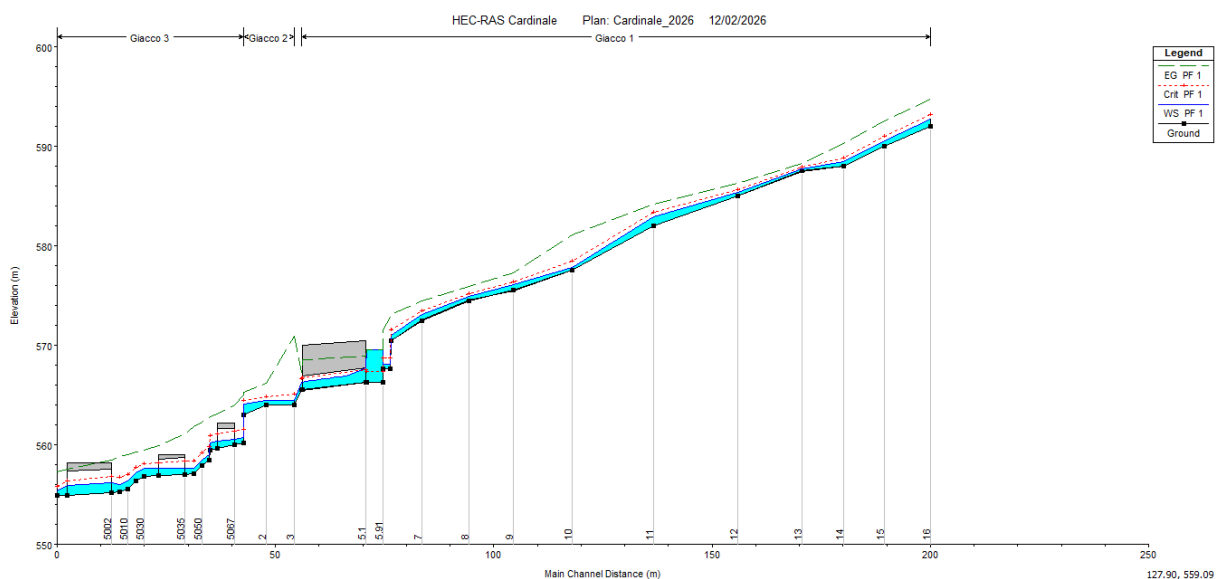
Nel seguito si descrivono i risultati della simulazione idraulica dello stato di progetto condotta con particolare riferimento alle caratteristiche della corrente nei tratti di canale a pelo libero posti a monte dell'abitato di Cardinale nei bacini dei fossi Marchese e Giacco. Nel dettaglio verranno analizzati i franchi idraulici del nuovo canale in progetto e del fosso Giacco nel tratto in cui viene variato il regime idraulico rispetto a quello attuale (tratto a valle della confluenza con il canale in progetto).

La simulazione con la situazione di progetto è stata condotta considerando la geometria degli alvei derivante dal rilievo eseguito sul campo. Si può osservare:

- Il fosso Marchese presenta, nel tratto a monte della vasca di dissipazione, corrente di tipo veloce; questa diventa lenta all'interno del secondo salto della vasca di sedimentazione a monte della bocca di efflusso della sezione di 1.50x2.50 m che immette la portata nel canale in progetto. La portata in ingresso al canale risulta di 8.45 m³/sec e la quota massima raggiunta sulla luce di efflusso è di 586.35 m s.l.m. che garantisce un franco idraulico rispetto all'estradosso della stessa di 0.63 m. Il canale in uscita dalla vasca è in grado di smaltire la portata in arrivo, stimata in 7.32 m³/sec con franco idraulico sempre superiore ad 1.00 m.
- La corrente lungo il canale in progetto si mantiene sempre veloce anche in corrispondenza della confluenza con il canale esistente realizzato dal Genio Civile. Il franco idraulico è sempre soddisfatto lungo tutto il percorso. Le velocità lungo il canale sono comprese tra 3.64 m/sec e 8.78 m/sec aumentano fino a 12.40 m/sec in corrispondenza dei salti di fondo introdotti prima della confluenza nel fosso Giacco. Nella seguente immagine viene riportato il profilo idraulico del canale in progetto



- La corrente nel tratto a monte della pista di cantiere del fosso Giacco si mantiene sempre veloce; in corrispondenza dell'imbocco dell'attraversamento policentrico il funzionamento è in pressione mentre nel tratto a valle ritorna veloce fino all'immissione nella fiumara Ancinale. La portata complessiva del fosso Giacco, a seguito della deviazione della portata di 7.32 m³/sec del fosso Marchese, è di 18.56 m³/sec. Questo comporta un incremento dei livelli idrici il cui franco idraulico minimo rispetto alle sponde esistenti è di 0.98 m mentre le velocità sono comprese tra 4 m/sec e 7 m/sec con punte più alte in corrispondenza dei salti di fondo esistenti.



Il franco idraulico degli attraversamenti stradali viene riportato nella seguente tabella.

Sezione	Quota intradosso [m]	Quota pelo libero [m]	Franco [m]
Fosso Giacco attraversamento via Dante Alighieri			
Monte	558.70	557.61	1.09
Valle	558.58	557.60	0.98
Fosso Giacco attraversamento via Ancinale			
Monte	557.59	556.04	1.55
Valle	557.33	555.35	1.98

Nelle seguenti tabelle si riportano i franchi idraulici lungo il canale in progetto e lungo il fosso Giacco dalle quali si evince che il franco idraulico nel canale in progetto è sempre rispettato mentre lungo il tratto di fosso Giacco interessato dalla variazione del regime idraulico il franco risulta inferiore ad 1.00 m solamente in corrispondenza del ponticello su Via Dante Alighieri.

CANALE 1.50X2.50 IN PROGETTO							
N. sezione stato attuale	Descrizione	Quota fondo alveo	Quota sponda sinistra	Quota sponda destra	Stato di progetto		
					Portata	Quota idraulica	Franco idraulico
		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[mc/sec]	[m s.l.m.]	[m]
0.3	Canale in c.a.	584.48	586.98	586.98	7.32	585.82	1.16
0.2	Canale in c.a.	581.65	584.15	584.15	7.32	582.21	1.94
0.1	Canale in c.a.	577.41	579.91	579.91	7.32	578.43	1.48
700	Canale in c.a.	577.20	579.70	579.70	8.45	578.57	1.13
600	Canale in c.a.	574.52	577.02	577.02	8.45	575.24	1.78
500	Canale in c.a.	572.23	574.73	574.73	8.45	573.18	1.55
400	Canale in c.a.	570.24	572.74	572.74	8.45	570.89	1.85
350	Canale in c.a.	570.24	572.74	572.74	8.45	570.92	1.82
300	Canale in c.a.	568.01	570.51	570.51	8.45	568.55	1.96
250	Canale in c.a.	568.01	570.51	570.51	8.45	568.58	1.93
200	Canale in c.a.	565.79	568.29	568.29	8.45	566.27	2.02
150	Canale in c.a.	565.79	568.29	568.29	8.45	566.30	1.99
100	Canale in c.a.	564.25	566.75	566.75	8.45	564.71	2.04

RIO GIACCO							
N. sezione stato	Descrizione	Quota fondo alveo	Quota sponda sinistra	Quota sponda destra	Stato di progetto		
					Portata	Quota idraulica	Franco idraulico
		[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[mc/sec]	[m s.l.m.]	[m]
16	Alveo naturale	592.00	593.50	593.50	9.64	592.71	0.79
15	Alveo naturale	590.00	591.50	591.50	9.64	590.55	0.95
14	Alveo naturale	588.00	589.50	589.50	9.64	588.41	1.09
13	Alveo naturale	587.50	589.00	589.00	9.64	587.76	1.24
12	Alveo naturale	585.00	586.50	586.50	9.64	585.37	1.13
11	Alveo naturale	582.00	583.50	583.50	9.64	582.90	0.60
10	Alveo naturale	577.50	579.00	579.00	9.64	577.86	1.14
9	Alveo naturale	575.50	577.00	577.00	9.64	576.05	0.95
8	Alveo naturale	574.50	576.00	576.00	9.64	574.92	1.08
7	Alveo naturale	572.50	575.00	575.00	9.64	573.09	1.91
6	Alveo naturale	570.49	572.49	572.49	9.64	571.02	1.47
5.96	Pozzetto di salto	567.65	569.15	569.15	9.64	568.05	1.10
5.95	Pozzetto di salto	567.65	569.15	569.15	9.64	568.12	1.03
5.91	Pozzetto di salto	566.30	571.80	569.80	9.64	569.56	0.24
5.9	Pozzetto di salto	566.30	571.80	569.80	9.64	569.56	0.24
	Tombino stradale				Culvert		
5	Alveo naturale	565.50	568.00	568.00	9.64	566.30	1.70
3	Alveo naturale	564.00	565.50	565.50	18.09	564.43	1.07
2	Alveo naturale	564.00	565.50	565.50	18.09	564.46	1.04
1	Alveo naturale	563.00	565.50	565.50	18.09	564.09	1.41
5070	Alveo naturale	560.15	562.73	563.51	18.56	560.69	2.04
	Ponte stradale				Bridge		
5065	Alveo naturale	559.45	561.59	561.37	18.56	560.21	1.16
5060	Alveo naturale	558.46	561.14	561.14	18.56	559.04	2.10
5050	Alveo naturale	557.94	559.53	559.53	18.56	558.44	1.09
5040	Alveo naturale	557.08	558.99	558.70	18.56	557.61	1.09
	Ponte stradale				Bridge		
5030	Alveo naturale	556.83	558.77	558.58	18.56	557.60	0.98
5020	Alveo naturale	556.36	558.26	558.26	18.56	557.16	1.10
5010	Alveo naturale	555.54	557.78	557.78	18.56	556.33	1.45
5005	Alveo naturale	555.24	557.67	557.67	18.56	556.04	1.63
	Ponte stradale				Bridge		
5000	Alveo naturale	554.87	556.87	556.97	18.56	555.35	1.52

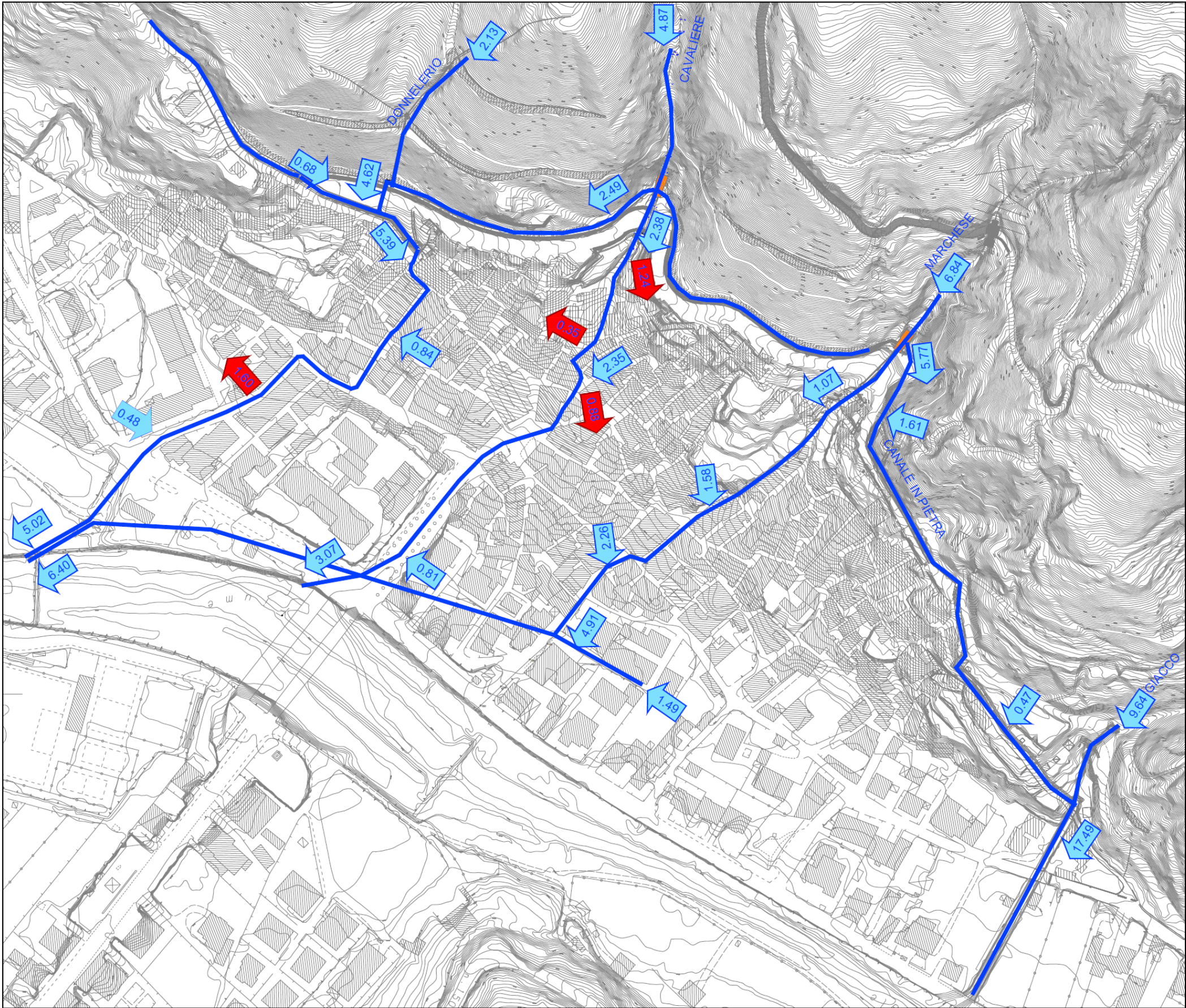
L'attraversamento in corrispondenza della via Ancinale, in caso di deflusso rigurgitato, risulta funzionare sempre a pelo libero con franco ridotto nella sezione di valle a 0.16 m rispetto alla condizione di efflusso libero. Il risalto idraulico dovuto al passaggio di stato si verifica in corrispondenza dell'immissione nella fiumara mantenendo quindi inalterati i franchi idraulici nelle sezioni di monte.

Sezione	Quota intradosso [m]	Quota pelo libero [m]	Franco [m]
Fosso Giacco attraversamento via Ancinale			
Monte	557.59	556.04	1.55
Valle	557.33	557.17	0.16

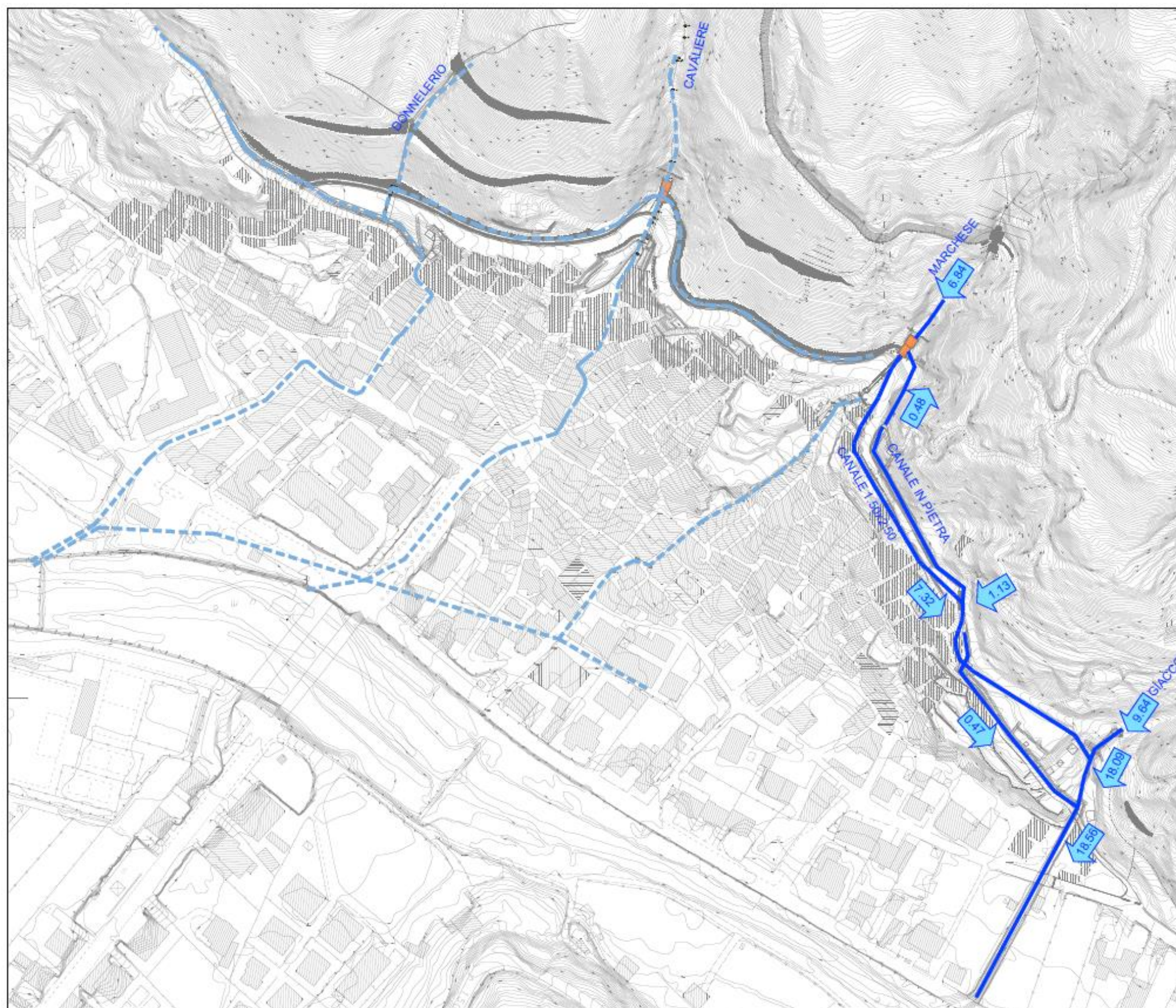
Negli schemi riportati di seguito viene confrontato quanto accade in caso di piena sul reticolo di fossi e canali che drenano le acque meteoriche provenienti dai bacini dei fossi Marchese e Giacco posti a monte dell'abitato storico di Cardinale nella previsione del vecchio progetto con l'aggiornamento presentato in questo studio idraulico.

Si osserva che il nuovo canale in c.a., della sezione di 1.50x2.50 m, consente di deviare l'intera portata proveniente dal fosso Marchese verso il fosso Giacco con adeguato franco di sicurezza migliorando le condizioni di deflusso dei collettori esistenti che attraversano il paese. La variazione del regime idraulico del fosso Giacco dovuta all'incremento delle portate da smaltire non crea un aggravio del rischio idrogeologico attuale in quanto il franco idraulico è rispettato nella maggior parte delle sezioni. Fa eccezione il franco in corrispondenza dell'attraversamento su via Dante Alighieri che risulta pari a 0.98 m.

SCHEMA PORTATE RETICOLO IDRAULICO DI PROGETTO



SCHEMA PORTATE RETICO IDRAULICO DI PERIZIA DI VARIANTE FOSSO MARCHESE E GIACCO



7. CONCLUSIONI

Sulla base delle modellazioni eseguite e con il conforto delle verifiche puntuali il presente progetto ha evidenziato che la completa deviazione delle portate del fosso Marchese verso il fosso Giacco consente la riduzione del rischio idrogeologico legato al transito delle portate solide e liquide di piena all'interno del paese senza aggravare le condizioni di deflusso del fosso Giacco.

Da quanto sopra si può concludere che la definitiva messa in sicurezza dell'abitato di Cardinale può essere raggiunta unicamente evitando che le portate di piena in arrivo dagli impluvi presenti nella collina che sovrasta il paese lo attraversino. Rimane quindi fondamentale il completamento del canale fagatore posto in testa alle opere di sostegno del piede della collina previsto nel progetto definitivo generale.

Si sottolinea che gli interventi previsti in questo progetto risultano funzionali alle opere strutturali e comunque compatibili con il progetto generale di sistemazione della collina approvato in passato.

**ALLEGATO A: DESCRIZIONE CODICE DI CALCOLO
HEC RAS**

A.1. PREMESSA

Il programma HEC-RAS, realizzato dall'Hydrologic Engineering Center di Davis, California (US Army Corps of Engineering), rappresenta l'ultima evoluzione del codice di calcolo HEC-2 per la simulazione di correnti in moto stazionario.

HEC-RAS consente di calcolare il profilo idraulico di moto stazionario, in alveo non prismatico a fondo fisso, per una qualsiasi rete idrografica a pelo libero (asta fluviale, reti di irrigazione, sistemi idrografici ramificati), nell'ipotesi di flusso omogeneo e monodimensionale. Il programma è in grado di simulare condizioni di corrente lenta, veloce nonché regimi misti. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- nodi idraulici (confluenze, biforcazioni);
- alvei e aree golenali con diverso sviluppo longitudinale;
- casse di espansione;
- ponti;
- pile di ponti con geometria variabile;
- tombini;
- traverse fluviali;
- soglie di fondo;
- arginature;
- perdite di carico concentrate.

L'algoritmo di calcolo è basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico tra sezioni contigue. Le perdite di carico vengono valutate in base alla scabrezza (coefficiente di Manning) e ad un fattore di contrazione/espansione che tiene conto delle variazioni della sezione di deflusso.

Gli effetti localizzati che determinano rapide variazioni del profilo idraulico quali fenomeni di risalto idraulico, confluenze di corsi d'acqua, ponti, etc., vengono invece simulati mediante applicazione dell'equazione di conservazione della quantità di moto.

I risultati delle simulazioni possono essere restituiti sia sotto forma di grafici che

di tabulati, permettendo un confronto semplice ed immediato di soluzioni progettuali alternative o dei risultati ottenuti per differenti ipotesi di calcolo (es. portate con tempi di ritorno diversi). Per ogni sezione di calcolo il programma determina il valore di numerose grandezze tra cui le principali sono:

- | | |
|--|----------------------|
| - livello idrico | [m s.m.]; |
| - livello idrico in condizioni di corrente critica | [m s.m.]; |
| - velocità della corrente in alveo | [m/s]; |
| - velocità della corrente nelle golene (dx/sx) | [m/s]; |
| - carico cinetico | [m]; |
| - carico totale | [m s.m.]; |
| - area della sezione di deflusso | [m ²]; |
| - larghezza pelo libero | [m]; |
| - profondità media della corrente | [m]; |
| - velocità media della corrente | [m/s]; |
| - sviluppo del contorno bagnato | [m]; |
| - conveyance | [m ³ /s]; |
| - gradiente idraulico | [m/m]; |
| - numero di Froude; | |
| - distribuzione della portata tra alveo e golene. | |

Il codice di calcolo HEC-RAS può essere utilizzato esprimendo i dati sia in unità del sistema internazionale (metrico), che secondo il sistema anglosassone.

A.2. DATI DI INPUT

Per semplificare l'utilizzo del programma l'input dei dati è organizzato secondo una struttura a moduli:

- geometria della rete idrografica;
- dati di portata e condizioni al contorno;
- metodo di calcolo.

Geometria della rete idrografica

La geometria del sistema idrografico viene definita mediante:

- schema planimetrico della rete;
- sezioni trasversali;
- strutture (es. ponti, tombini, etc.).

Ciascuno dei tronchi in cui è schematizzata la rete idrografica viene caratterizzato mediante una serie di sezioni trasversali definite per punti.

Per ogni sezione sono introdotti i dati riguardanti la geometria delle sezioni e del corso d'acqua in generale (geometria delle sezioni trasversali, distanze tra le sezioni in alveo, goleni destra e goleni sinistra, quote), le scabrezze espresse tramite il coefficiente di Manning's. I dati relativi alla geometria si concludono con l'inserimento di eventuali argini e delle zone non contribuenti al deflusso (si tratta di aree che possono essere allagate ma che non contribuiscono al deflusso delle portate: es. casse di espansione).

Nel caso di confluenza tra due corsi d'acqua il programma consente di scegliere, per il calcolo, tra l'equazione di bilancio energetico oppure l'impiego dell'equazione di conservazione della quantità di moto (in tal caso è possibile tenere conto dell'angolo di confluenza formato dai due corsi d'acqua).

La geometria della rete idrografica è completata con la definizione delle eventuali strutture presenti rappresentate da ponti o tombini.

Per poter definire l'influenza di una struttura di attraversamento del corso d'acqua sui livelli idrici e sulla distribuzione delle velocità è necessario, per ogni struttura, inserire due sezioni trasversali localizzate: la prima immediatamente a monte e la seconda subito a valle dell'opera. Il programma permette di definire l'ingombro dell'impalcato, delle spalle e delle pile, qualunque sia la loro geometria.

L'effetto indotto dalla presenza di un ponte può essere valutato mediante: a) bilancio energetico, b) equazione di conservazione della quantità di moto, c) formula di Yarnell.

Il programma consente un confronto tra i risultati dei tre metodi ed eventualmente l'assunzione del criterio più cautelativo.

Dati di portata e condizioni al contorno

Definiti i valori di portata nella sezione di monte di ciascuno dei rami in cui è stata suddivisa la rete idrografica devono essere indicate le condizioni al contorno che regolano il comportamento del sistema.

Per le sezioni di monte e di valle possono essere imposte le seguenti condizioni:

- livello noto;
- condizione critica di deflusso;
- altezza di moto uniforme;
- curva altezze/portate.

E' inoltre possibile introdurre condizioni al contorno interne al sistema quali variazioni di carico o di livello e dissipazioni di energia localizzate.

A.3 Metodo di calcolo

Per il calcolo del profilo di corrente in moto stazionario il codice HEC-RAS utilizza un procedimento iterativo passo a passo basato sulla soluzione dell'equazione di bilancio energetico tra sezioni successive:

$$WS_2 + \frac{\alpha_1 * V_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_2 * V_1^2}{2g} + h_e$$

essendo:

- WS_1 livello idrico sezione di valle;
- WS_2 livello idrico sezione di monte;
- V_1 velocità media sezione di valle;
- V_2 velocità media sezione di monte;
- α_1, α_2 coefficienti numerici di velocità;
- g accelerazione di gravità;
- h_e perdita di carico.

La perdita di carico tra due sezioni comprende una quota dovuta alla scabrezza del fondo ed una dovuta alla variazione della sezione trasversale di deflusso (contrazione/espansione), l'espressione che ne consente il calcolo risulta:

$$h_e = L\bar{S}_f + C * \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|$$

essendo:

- $\bar{S}_f$ gradiente idraulico tra le sezioni;
 C coefficiente di contrazione/espansione.
 L media pesata della distanza fra le sezioni;

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

dove:

L_{lob} , L_{ch} , L_{rob} distanza tra le due sezioni rispettivamente in golena sinistra, alveo e golena destra;

$\bar{Q}_{lob}$, $\bar{Q}_{ch}$, $\bar{Q}_{rob}$ media aritmetica delle portate defluite nelle due sezioni in golena sinistra, alveo e golena destra.

mentre:

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

con:

- Q_1 , Q_2 portate;
 K_1 , K_2 conveyance totale.

Coefficiente di velocità

Il coefficiente di velocità α viene calcolato, sulla base del valore di conveyance relativo a ciascuna delle componenti di portata in cui è suddivisa una sezione (golena sinistra, alveo, golena destra), mediante la successiva equazione:

$$\alpha = \frac{(A_t)^2 * \left| \frac{(K_{lob})^3}{(A_{lob})^2} + \frac{(K_{ch})^3}{(A_{ch})^2} + \frac{(K_{rob})^3}{(A_{rob})^2} \right|}{(K_t)^3}$$

dove:

A_t area di deflusso totale della sezione;

A_{lob} , A_{ch} , A_{rob} area di deflusso in golena sinistra, alveo e golena destra;

K_t conveyance totale della sezione;

K_{lob} , K_{ch} , K_{rob} componente di conveyance in golena sinistra, alveo e golena destra.

Perdite di carico dovute a contrazione/espansione della corrente

Le perdite di carico dovute alle variazioni di velocità della corrente, conseguenti a restringimenti o allargamenti delle sezioni trasversali lungo l'asta, vengono valutate secondo la formula:

$$h_o = C * \left| \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} \right|$$

dove:

C coefficiente di contrazione/espansione.

Il programma assume come C il coefficiente di contrazione quando il carico cinetico della sezione di valle è superiore a quello della sezione di monte, il coefficiente di espansione in caso opposto.

Il coefficiente C , che rappresenta la quota di carico cinetico dissipata nel passaggio della corrente tra due sezioni, assume i valori indicati nella tabella seguente.

	Contrazione	Espansione
Nessuna variazione si sezione	0.0	0.0
Variazioni gradualì	0.1	0.3
Restringimento dovuto ad un ponte	0.3	0.5
Brusche variazioni di sezione	0.6	0.8

Tabella 1 - Coefficienti di contrazione/espansione.

Procedura di calcolo

Per il calcolo del profilo di piena in moto stazionario il codice HEC-RAS utilizza

un procedimento di tipo iterativo che, nel caso di due generiche sezioni, può essere riassunto secondo i seguenti passi:

1. assunzione di un valore di altezza d'acqua nella sezione a monte o in quella a valle, a secondo che si tratti di un profilo di corrente lenta o veloce,
2. calcolo, sulla base dell'altezza d'acqua assunta, dei corrispondenti valori di carico cinematico e conveyance totale;
3. determinazione del gradiente idraulico $\hat{S}_f$ e delle perdite di carico totali h_e tra le due sezioni;
4. risoluzione dell'equazione di bilancio energetico, calcolo del valore di WS_2 ;
5. confronto del valore WS_2 calcolato con quello assunto al passo 1; ripetizione della sequenza di operazioni sino a quando l'errore rientra nel limite di tolleranza definito (0,003 m).

Il criterio utilizzato per l'assunzione di un valore di altezza d'acqua di tentativo varia nelle successive iterazioni. Nella prima iterazione viene assunto il valore definito per la sezione precedente, nella seconda viene assunto il valore calcolato, corretto in funzione dell'errore riscontrato:

$$WS_{\text{nuovo}} = WS_{\text{assunto}} + 0.70 * (WS_{\text{calcolato}} - WS_{\text{assunto}})$$

Nelle successive iterazioni, viene invece applicato il metodo della secante, espresso secondo l'equazione:

$$WS_I = WS_{I-2} - Err_{I-2} * Err_Assum / Err_Diff$$

dove:

WS_I	nuovo valore del livello idrico;
WS_{I-1}	valore di livello idrico assunto nell'iterazione precedente;
WS_{I-2}	valore di livello idrico assunto nella penultima iterazione;
Err_{I-2}	differenza tra il livello idrico calcolato e quello assunto nell'iterazione I-2;
Err_Assum	differenza tra i livelli idrici assunti nelle due iterazioni precedenti:
$Err_Assum = WS_{I-2} - WS_{I-1}$	
Err_Diff	differenza tra il livello idrico assunto e quello calcolato

nell'iterazione precedente, più l'errore definito nella penultima iterazione:

$$\text{Err_Diff} = \text{WS}_{I-1} - \text{WS_Calc}_{I-1} + \text{Err}_{I-2}$$

Equazione di conservazione della quantità di moto

L'equazione di bilancio energetico vale soltanto quando si hanno variazioni graduali di corrente, in particolare, quando il profilo idraulico presenta una sezione caratterizzata da una profondità di corrente pari all'altezza critica, l'equazione di bilancio energetico non è più applicabile.

La presenza di una sezione con altezza critica d'acqua evidenzia una variazione rapida del moto, con passaggio da corrente lenta a veloce o viceversa. Ciò può verificarsi in numerose situazioni: a seguito di un cambiamento della pendenza di fondo dell'alveo, per la presenza di un restringimento in corrispondenza di un ponte, a causa della presenza di salti di fondo, o ancora in corrispondenza di una confluenza tra due corsi d'acqua.

L'equazione di conservazione della quantità di moto presenta la seguente espressione generale:

$$P_1 - P_2 + W_x - F_f = Q \cdot \rho \cdot \Delta V_x$$

dove:

P forze dovute alla pressione idrostatica nelle sezioni 1 e 2;

W_x forza peso nella direzione x;

F_f forza di attrito tra le sezioni 1 e 2;

Q portata;

ρ densità dell'acqua;

ΔV_x variazione di velocità tra le sezioni 1 e 2, nella direzione x

essendo:

$$P = \gamma A \hat{Y} \cos\theta$$

con:

γ peso specifico dell'acqua;

A area di deflusso;
 $\hat{Y}$ profondità della corrente.

$$W_x = \gamma * \left(\frac{A_1 + A_2}{2} \right) * L * \sin \theta$$

con:

L distanza tra le due sezioni successive;
 z_i quota fondo della sezione i-esima.

$$\sin \theta = \frac{z_1 - z_2}{L}$$

$$F_f = \tau * \bar{P}L$$

con:

τ tensione superficiale d'attrito;
P sviluppo medio del contorno bagnato nelle sezioni 1 e 2;
 $\tau = \gamma * R * S_f$ dove: R = raggio idraulico;
 S_f = gradiente idraulico.

Effetti indotti sulla corrente dalla presenza di un ponte

Per la determinazione delle perdite di carico dovute alla presenza di un ponte, la routine di calcolo necessita della definizione di 4 sezioni di cui due a monte e due a valle, poste in entrambi i casi, una in prossimità dell'opera e l'altra ad una distanza sufficiente affinché la corrente non risenta della presenza del manufatto.

Il programma HEC-RAS consente di simulare il deflusso della piena o in condizione di corrente a pelo libero o in condizioni di corrente in pressione.

Nel caso in cui il deflusso della corrente attraverso il ponte sia a pelo libero, cioè l'acqua non lambisca l'intradosso del ponte, l'effetto indotto dalla presenza della struttura, in particolare pile e spalle, può essere valutato mediante i seguenti metodi:

- a1) bilancio energetico;
- a2) equazione di conservazione della quantità di moto;
- a3) formula di Yarnell.

Il programma consente un confronto tra i risultati ottenuti ed eventualmente

l'assunzione del criterio più cautelativo.

a1) Bilancio energetico

Il ponte viene considerato alla stregua di una qualsiasi sezione trasversale del corso d'acqua: all'area utile di deflusso è sottratta la porzione delle pile e delle spalle che è sommersa; il contorno bagnato è incrementato della lunghezza di contatto tra acqua e struttura.

a2) Equazione di conservazione della quantità di moto

Tale metodo è basato sull'applicazione di un bilancio della quantità di moto tra la sezione immediatamente a monte e quella a valle del ponte (Figure 3-4). Viene definito il bilancio tra la sezione 2 e la sezione BD, all'interno del ponte, secondo l'equazione:

$$A_{BD} * \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} * Q_{BD}^2}{g * A_{BD}} = A_2 * \bar{Y}_2 - A_{p2} * \bar{Y}_{p2} + \frac{\beta_2 * Q_2^2}{g * A_2} + F_f - W_x$$

essendo:

A_2, A_{BD}	area di deflusso rispettivamente nelle sezioni 2 e BD;
A_{p2}	area ostruita dalle pile alla sezione di valle del ponte;
Y_2, Y_{BD}	profondità, rispetto al pelo libero del baricentro dell'area di deflusso A_2, A_{BD} ;
Y_{p2}	profondità rispetto al pelo libero del baricentro dell'area bagnata delle pile alla sezione di valle del ponte;
β_2, β_{BD}	coefficienti di velocità;
Q_2, Q_{BD}	portate;
g	accelerazione di gravità;
F_f	forza d'attrito;
W_x	forza peso nella direzione della corrente;

Si ripete il bilancio tra le sezioni all'interno del ponte:

$$A_{BU} * \bar{Y}_{BU} + \frac{\beta_{BU} * Q_{BU}^2}{g * A_{BU}} = A_{BD} * \bar{Y}_{BD} + \frac{\beta_{BD} * Q_{BD}^2}{G * A_{BD}} + F_f - W_x$$

FORMA DELLE PILE	C_D
------------------	-------

Circolare	1.20
Allungata con estremità semicircolari	1.33
Ellittica (larghezza/lunghezza = 1/2)	0.60
Ellittica (larghezza/lunghezza = 1/4)	0.32
Ellittica (larghezza/lunghezza = 1/8)	0.29
Estremità quadrata	2.00
Estremità triangolare con angolo 30°	1.00
Estremità triangolare con angolo 60°	1.39
Estremità triangolare con angolo 90°	1.60
Estremità triangolare con angolo 120°	1.72

Tabella 2 - Equazione di conservazione della quantità di moto: coefficienti di forma delle pile.

a3) formula di Yarnell

Tale metodo consente di determinare, utilizzando un'equazione di tipo empirico, la differenza tra il livello di monte e quello di valle (sezioni 3 e 2, Figura 4). Viene utilizzata la seguente equazione, messa a punto sulla base di oltre 2600 esperimenti di laboratorio:

$$H_{3-2} = 2 * K * (K + 10\omega - 0.6) * (\alpha + 15 * \alpha^4) * \frac{V_2^2}{2g}$$

dove:

- H_{3-2} differenza di livello tra le sezioni 3 e 2,
- K coefficiente di forma delle pile, variabile da 0,90 per pile arrotondate a 1,25 per pile non arrotondate;
- ω rapporto tra carico cinetico e profondità d'acqua nella sezione 2;
- α rapporto tra area delle pile e area totale della sezione;
- V_2 velocità della corrente nella sezione 2.

Nel caso in cui la corrente interferisca con l'impalcato del ponte, il codice HEC-RAS permette di calcolare il profilo idraulico sia mediante l'equazione di bilancio energetico che tramite un metodo che procede alla suddivisione del deflusso in

pressione e/o a superficie libera (stramazzo).

b1) Bilancio energetico

Il calcolo è analogo a quello condotto nel caso in cui la corrente non lambisca l'impalcato. Il ponte viene considerato alla stregua di una qualsiasi sezione trasversale del corso d'acqua: all'area utile di deflusso è sottratta la porzione delle pile, delle spalle ed eventualmente dell'impalcato che è sommersa; il contorno bagnato è incrementato della lunghezza di contatto tra acqua e struttura.

b2) Suddivisione del deflusso in pressione e/o a superficie libera (stramazzo)

Questa seconda schematizzazione consente di utilizzare due differenti algoritmi per il calcolo del deflusso in pressione e della portata che, eventualmente, tracima al di sopra dell'impalcato.

Per il calcolo in pressione vengono ulteriormente distinte due situazioni differenti:

- I deflusso con solo imbocco del ponte sommerso (Figura 5);
- II deflusso con imbocco e sbocco sommersi (Figura 6).

Nel caso di imbocco sommerso la portata viene definita secondo l'equazione (FHWA, 1978):

$$Q = C_d * A_{BU} * \left[2g * \left(Y_3 - \frac{Z}{2} + \frac{\alpha_3 * V_3^2}{2g} \right) \right]^{\frac{1}{2}}$$

dove:

Q	portata defluita attraverso la luce del ponte;
C _d	coefficiente di deflusso (in pressione), variabile tra 0.35 e 0.5;
A _{BU}	area utile di deflusso nella sezione di monte del ponte (BU);
Y ₃	altezza d'acqua a monte del ponte;
Z	differenza tra quota minima di intradosso e quota media del fondo alveo nella sezione di monte del ponte.

Nell'eventualità l'imbocco e lo sbocco siano sommersi la portata in pressione viene calcolata secondo l'espressione:

$$Q = C * A * \sqrt{2gH}$$

dove:

C coefficiente di deflusso in pressione (assume valori compresi tra 0.7 e 0.9);

H differenza tra carico totale a monte del ponte e pelo libero a valle,

La portata che tracima al di sopra del ponte (Figura 7), viene calcolata con l'espressione:

$$Q = C * L * H^{3/2}$$

dove:

Q portata defluita al di sopra dell'impalcato;

C coefficiente di deflusso (assume valori compresi tra 1.38 e 1.71);

L larghezza di sfioro;

H differenza tra carico totale a monte del ponte e quota di estradosso.

I valori della portata defluita in pressione ovvero sfiorata a pelo libero, al di sopra dell'impalcato, vengono determinati mediante successive iterazioni.

Bibliografia

Hydrologic Engineering Center, *HEC-RAS River Analysis System*, User's Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis CA, (1995).

Hydrologic Engineering Center, *HEC-RAS River Analysis System*, Hydraulic Reference Manual, U.S. Army Corps of Engineers, Davis CA, (1995).