



Autostrada Asti-Cuneo

TRONCO II A21 (ASTI EST) - A6 (MARENE)
LOTTO 6 RODDI-DIGA ENEL

STRALCIO a
TRA IL LOTTO II.7 E LA PK. 5+000

PROGETTO DEFINITIVO

08 - OPERE INTEGRATIVE LOTTO 7

08.01 - Sistemazione rio San Michele
Relazione idraulica

IMPRESA 	PROGETTISTA 	INTEGRATORE ATTIVITA' SPECIALISTICHE Dott. Ing. Salvatore Sguazzo Albo degli Ingegneri provincia di Salerno n. 5031 	COMMITTENTE Autostrada Asti-Cuneo S.p.A. Direzione e Coordinamento: S.A.L.T. p.A. (Gruppo ASTM) Via XX Settembre, 98/E 00187 Roma
--	--	--	---

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	CONTR.	APPROV.	RIESAME	DATA MAGGIO 2021	SCALA -
A	05-2021	EMISSIONE	Ing. Dutto	Ing. Dutto	Ing. Sguazzo	Ing. Sguazzo	N. Progr.	
							08.01.01	

CODIFICA	PROGETTO	LIV	DOCUMENTO	REV	WBS
	P017	D	OPI RH 001	A	A33126A000
					CUP
					G31B20001080005

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO	VISTO DELLA COMMITTENTE

INDICE

1. PREMESSA	2
2. VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO DI PIENA DEL RIO SAN MICHELE.....	2
2.1. DELIMITAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO	3
2.2. ANALISI IDROLOGICA	4
2.2.1. <i>Definizione degli eventi pluviometrici critici</i>	4
2.3. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	7
2.4. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA	8
2.4.1. <i>Metodo razionale</i>	8
3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	11
4. ANALISI IDRAULICA.....	12
4.1. DESCRIZIONE DELL'INTERFERENZA.....	12
4.2. ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO	12
4.3. SIMULAZIONE IDRODINAMICA.....	15
4.3.1. <i>Conclusioni</i>	18

ALLEGATO 1 – DESCRIZIONE DEL CODICE NUMERICO MIKE 11

ALLEGATO 2 - SEZIONI TRASVERSALI CON RAPPRESENTAZIONE DEI LIVELLI IDRICI TR200 ANNI

1. PREMESSA

Il progetto del lotto 2.6 Roddi-Diga Enel del collegamento autostradale A6-A21 (Asti-Cuneo) prende origine dalla spalla lato Cuneo del viadotto Tanaro facente parte del tratto terminale del lotto 2.7, in Comune di Cherasco. A seguito dei lavori di realizzazione del viadotto stesso, il rio San Michele presenta una deviazione rispetto al tracciato originario che si sviluppa in parallelo all'opera di attraversamento.

Pertanto si rende necessario ripristinare il corso d'acqua secondo il tracciato naturale e riattivare il collegamento al relativo recapito in Tanaro nel tratto a cavallo delle opere autostradali.

Le analisi idrologico-idrauliche riguardano nello specifico il rio San Michele e sono funzionali al dimensionamento ed alla verifica della sistemazione di progetto a protezione dell'A33.

I principali riferimenti normativi per le analisi di compatibilità idraulica descritte nel seguito sono costituiti da:

- "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica", emanata dall'Autorità di Bacino del Fiume Po ai sensi dell'art.10 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico;
- Atlante delle piogge intense (disponibile sul GeoPortale ARPA Piemonte) pubblicato nell'ambito del progetto "STRADA - Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei rischi naturali nel territorio transfrontaliero" del 2013, sviluppato nel quadro del programma di cooperazione transfrontaliera europea INTERREG IV A Italia - Svizzera 2007 - 2013
- Deliberazione 11 maggio 1999 n.2 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po – aggiornata con deliberazione n.10 del Comitato Istituzionale del 5 Aprile 2006 "Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B" e degli altri riferimenti normativi in essa citati;
- Direttiva alluvioni 2007/60/CE, D.Lgs. 49/2010;
- Deliberazione 07/12/2016 n. 5 dell'Autorità di Bacino del Fiume Po "Variante alle Norme di Attuazione del PAI e del PAI Delta";
- D.M. 17 gennaio 2018 "Norme tecniche per le costruzioni".

Le analisi sono state svolte utilizzando le basi topografiche disponibili e in particolare il rilievo celerimetrico specificatamente eseguito a supporto del progetto.

Le valutazioni idrauliche sono state supportate da analisi modellistiche (codice MIKE 11 del DHI, descritto nell'Allegato 1) con la finalità di valutare preliminarmente la compatibilità idraulica degli interventi previsti con l'assetto idrodinamico in piena del corso d'acqua e la condizione di sicurezza idraulica infrastruttura autostradale esistente.

2. VALUTAZIONE DEL CONTRIBUTO DI PIENA DEL RIO SAN MICHELE

I calcoli idrologici sono stati svolti in congruenza con la Normativa vigente e più in particolare si sono assunti come riferimento per la progettazione i dati pluviometrici determinati nella "distribuzione regionale delle piogge intense" redatta dalla Regione Piemonte nell'anno 2013 (più recente rispetto a quella

contenuta nella Direttiva sulla piena di progetto a supporto del PAI), e con il D.M. 17 gennaio 2018 “Norme Tecniche per le Costruzioni”.

2.1. DELIMITAZIONE DEL BACINO IDROGRAFICO

La delimitazione del bacino idrografico (Figura 1) è stata eseguita sulla base della Cartografia Regionale CTR in scala 1:10.000.

I parametri morfologici d’interesse (Tabella 1) sono i seguenti:

- l’area della superficie dei bacini (S) espressa in km²;
- la lunghezza (L) delle aste principali espressa in km;
- la pendenza (i) delle aste principali espressa in m/m;
- le quote massima (Hmax), minima (Hmin) e media (Hmed) dei bacini espresse in m s.m.

Denominazione bacino	S (km ²)	Hmax (m s.m.)	Hmed (m s.m.)	Hmin (m s.m.)	L (km)	i (m/m)
San Michele	1.941	444.00	302.20	198.80	2.90	0.09

Tabella 1 - Caratteristiche fisiografiche del bacino idrografico del rio San Michele.

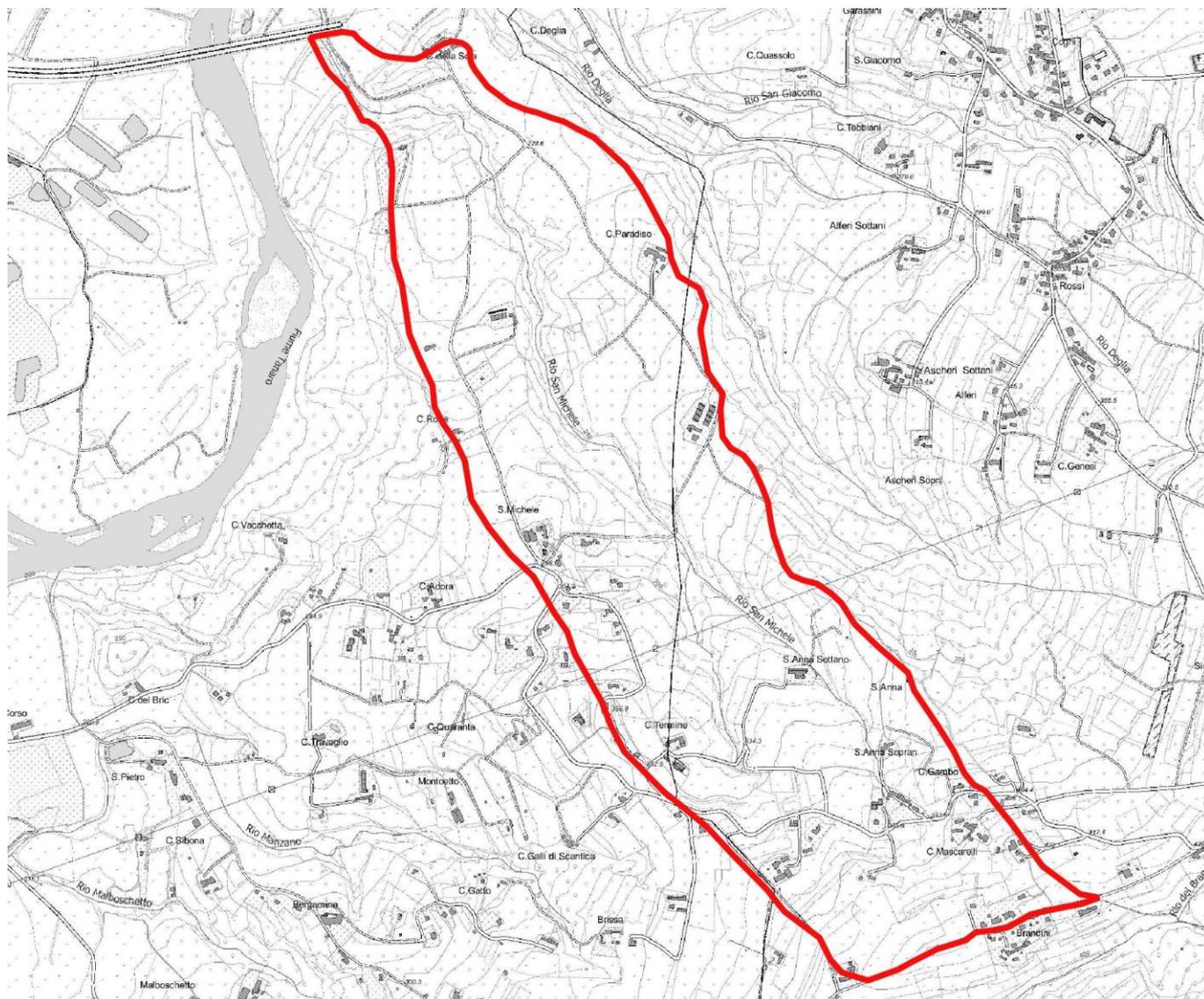


Figura 1 – Delimitazione del bacino idrografico.

2.2. ANALISI IDROLOGICA

2.2.1. Definizione degli eventi pluviometrici critici

Come già anticipato, per le finalità dello studio si è fatto riferimento alle curve di possibilità pluviometrica (o climatica) derivanti dalla regionalizzazione delle precipitazioni intense, con assegnato tempo di ritorno, realizzata da ARPA Piemonte nel “Atlante delle piogge intense - GeoPortale ARPA Piemonte” pubblicati nell’ambito del progetto “STRADA - Strategie di adattamento ai cambiamenti climatici per la gestione dei

rischi naturali nel territorio transfrontaliero” del 2013 sviluppato nel quadro del programma di cooperazione transfrontaliera europea INTERREG IV A Italia - Svizzera 2007 - 2013.

Lo studio raccoglie i dati pluviometrici estremi alle scale temporali di interesse costituiti dai massimi annuali di altezza di pioggia cumulata su intervalli di durata 1, 3, 6, 12, 24 ore di 292 stazioni pluviografiche dal 1928 al 2006 e costituisce ad oggi l'elemento più aggiornato per l'analisi di eventi idrologici intensi sul territorio regionale.

La stima dei parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica (intensità-durata) media nella forma [1] nel campo delle durate orarie avviene a partire dalle serie dei dati pluviometrici estremi calcolando per ogni durata la media del campione ed effettuando la conversione dei valori di altezza di pioggia nei corrispondenti valori di intensità.

In questo modo si ottengono 5 coppie di valori intensità-durata (una per ogni durata) da interpolare con la legge [1], che nel piano bilogaritmico è rappresentata da una retta. La stima dei parametri con il metodo dei minimi quadrati si riduce quindi ad un problema di regressione lineare semplice in cui i valori di a e n sono immediatamente ricavabili rispettivamente dall'intercetta e dal coefficiente angolare.

Le curve di possibilità pluviometrica utilizzate sono espresse nella forma:

$$h = K_T \cdot a \cdot t^n \quad [1],$$

dove h [mm] è l'altezza di pioggia, t [ore] il tempo di pioggia, a [mm/ora ^{n}], n [-] i parametri della curva e K_T il fattore di crescita funzione del tempo di ritorno.

All'interno dell'“Atlante delle piogge intense - GeoPortale ARPA Piemonte” è disponibile un grigliato di maglia quadrata di lato 250 m per l'intero territorio regionale nel quale per ogni cella sono indicati:

- parametri a e n della curva di possibilità pluviometrica;
- fattore di crescita K_T ;
- piogge di assegnato tempo di ritorno per durata da 10 minuti a 24 ore (mm).

Da questi dati è possibile ottenere:

- le intensità medie di precipitazione per durate superiori all'ora determinate utilizzando la relazione [2] con parametri a ed n stimati su una griglia a maglia quadrata di lato 250 m che copre l'intera regione;

$$i(d) = a \cdot d^{n-1} \quad [2]$$

con parametri a e n , i intensità media e d durata;

- le intensità medie per durate inferiori all'ora, determinabili utilizzando la relazione [3] con coefficiente B definito come in relazione [4];

$$i(d) = a \cdot \left(\frac{1 + B \cdot d}{1 + B} \right)^{\frac{(n-1)(1+B)}{B}} \quad [3]$$

$$\hat{B} = 136.5 \cdot h^{-1} \quad [4]$$

- la dipendenza delle precipitazioni dal tempo di ritorno, ricostruita moltiplicando le relazioni (2) per un fattore di crescita K_T :

$$K_T = 1 - CV \left[0.5772 \frac{\sqrt{6}}{\pi} + \frac{\sqrt{6}}{\pi} \ln \left(- \ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right) \right] \quad [5]$$

Per l'analisi nel dettaglio delle relazioni sopra citate si rimanda alla pubblicazione di ARPA Piemonte "Le precipitazioni intense in Piemonte - Distribuzione regionale delle piogge e caratterizzazione statistica dei valori estremi" del 2013.

Le analisi statistiche descritte permettono di definire per ciascuna cella spaziale i valori dei parametri delle linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per i tempi di ritorno di 5, 10, 20, 50, 100 e 200 anni.

Al fine di determinare le caratteristiche di pioggia sul bacino idrografico si è eseguita l'intersezione tra la superficie del bacino e la griglia delle piogge ARPA e successivamente per ottenere valori medi rappresentativi applicabili a scala di bacino, essi sono stati mediati rispetto alla superficie contribuyente, ottenendo i parametri di riferimento riportati in Tabella 2.

a [mm/ora ⁿ]	n [-]
24.64	0.290

Tabella 2 - Parametri regionalizzati delle curve di possibilità pluviometrica sul bacino del San Michele.

Il valore del fattore di crescita K_t al variare del tempo di ritorno risulta:

TR	K_t
5	1.4
10	1.6
20	1.9
50	2.3
100	2.5
200	2.8

Tabella 3 – Fattore di crescita K_t in funzione del tempo di ritorno.

I coefficienti di possibilità pluviometrica intensi regionalizzati che sono stati pertanto utilizzati nel calcolo delle portate mostrano la variazione del parametro "a" in funzione del tempo di ritorno (Tabella 4).

a TR5	a TR10	a TR20	a TR50	a TR100	a TR200	n
[mm/ora ⁿ]	[-]					
34.50	39.42	46.82	56.67	61.60	68.99	0.290

Tabella 4 – - Parametri regionalizzati delle curve di possibilità pluviometrica utilizzati per il calcolo delle portate per tempo di ritorno assegnato.

2.3. DETERMINAZIONE DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO

Il ruolo del tipo di suolo e della copertura vegetale nella formazione del deflusso superficiale per gli stati idrologici di piena, che si identificano con eventi di piovosità intensa, è duplice; riguarda infatti, sia la funzione di trattenuta o intercettazione, sia il controllo del tempo di concentrazione delle portate superficiali.

Per la stima di tali parametri si devono tenere in conto i diversi fattori che influiscono sulla formazione dei deflussi, fra cui la natura dei terreni e la loro copertura vegetale, la capacità di accumulo del bacino l'effetto di laminazione dell'intera rete idrica superficiale, la presenza di zone urbanizzate ecc...

La stima del coefficiente di deflusso "C" è piuttosto difficile e costituisce il maggiore elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media di pioggia; si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica, che spesso sono adattabili con difficoltà alle effettive condizioni del bacino in studio.

Gli studi disponibili, per altro in numero piuttosto limitato, indicano tutti che il valore di "C in un dato bacino varia in misura elevata da evento ad evento, in particolare in funzione delle differenti condizioni climatiche antecedenti.

È possibile comunque ipotizzare che, per gli eventi gravosi che sono di interesse nel campo della progettazione e delle verifiche idrauliche, il parametro assuma valori sufficientemente stabili. In qualche caso si assume che il valore di "C" cresca in funzione del tempo di ritorno dell'evento, supponendo in tal modo una risposta non lineare del bacino.

Il coefficiente di deflusso assunto è stato calcolato sia utilizzando la mappa di uso del suolo "CORINE LAND COVER" (determinandone il valore medio pesato alla superficie) sia la Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000. In Figura 2 si riportano le caratteristiche dell'uso del suolo in corrispondenza del bacino in analisi. Il valore così determinato per il bacino del rio San Michele è risultato pari a 0.5.

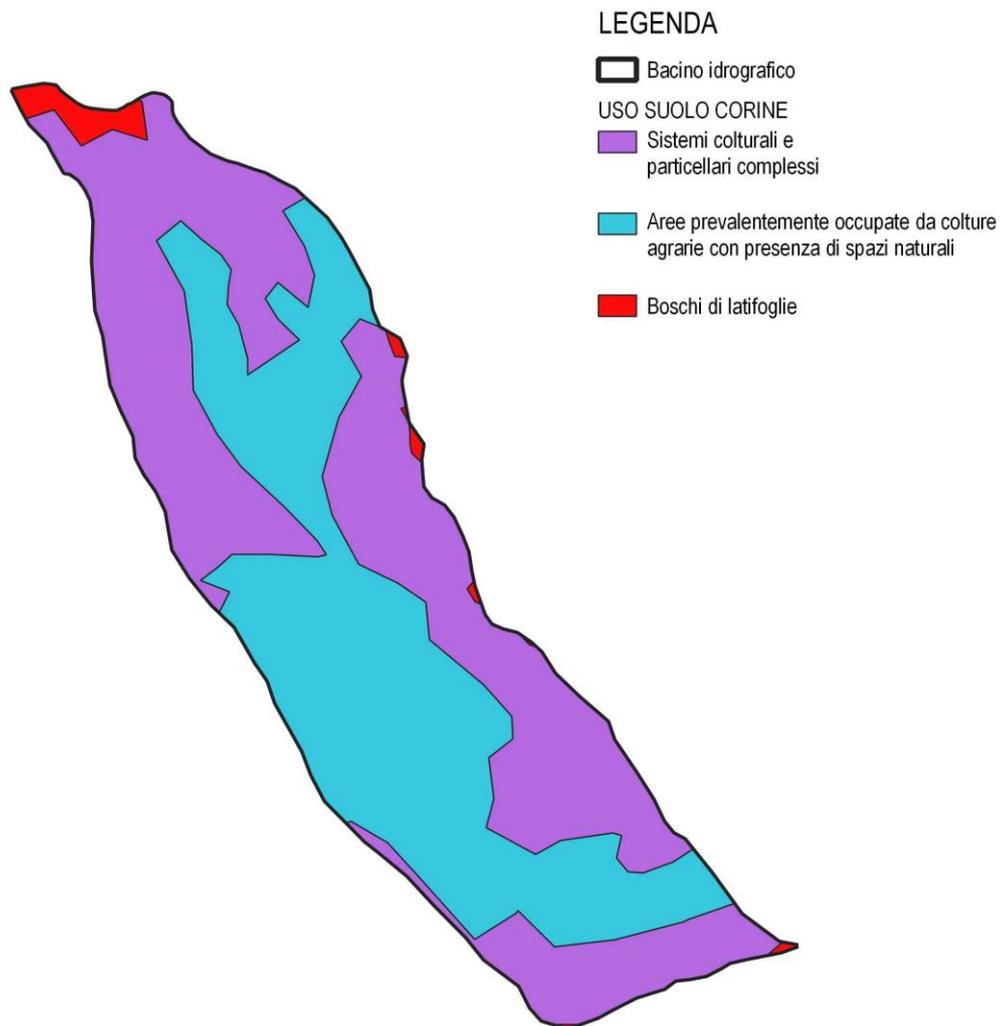


Figura 2 - Mappa di uso del suolo Corine.

2.4. DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA

La determinazione delle portate di piena è avvenuta utilizzando un modello afflussi - deflussi di tipo concettuale, metodo razionale, con cui si è calcolato il tempo di corrivazione secondo le formule classiche basate sulle caratteristiche fisiografiche del bacino.

2.4.1. Metodo razionale

Per la valutazione delle portate per tempo di ritorno assegnato, in considerazione della carenza di osservazioni dirette sui rii minori analizzati, si è fatto riferimento allo schema di calcolo costituito dal metodo razionale, che si basa sulla determinazione indiretta della portata, in funzione delle precipitazioni.

In tal caso, alla portata di piena è stato attribuito lo stesso tempo di ritorno delle precipitazioni da cui trae origine.

Il metodo razionale, di correlazione afflussi – deflussi, è basato sull'ipotesi che la portata massima in un bacino, dovuta a precipitazioni d'intensità costante nel tempo, si abbia per eventi di durata pari al tempo di corrivazione t_c del bacino stesso e si verifica dopo il tempo t_c dall'inizio del fenomeno.

Il calcolo della portata avviene mediante l'applicazione della formula di Turazza:

$$Q = \frac{c * h * S}{3.6 * t_c} \quad \left(\frac{m^3}{s}\right)$$

dove:

S – superficie del bacino (km²);

c – coefficiente di deflusso valutato in base a considerazioni di tipo generale basate sulla litologia, sull'uso del suolo (-);

h – altezza massima di precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (mm);

t_c – valore del tempo di corrivazione del bacino (ore).

2.4.1.1. Determinazione del tempo di corrivazione

La determinazione del valore del tempo di corrivazione è stata eseguita avvalendosi delle formule di Giandotti, Pezzoli, Ventura e Pasini.

Questi metodi necessitano, come dati di input, dei valori delle caratteristiche morfologiche, fisiografiche ed altimetriche dei bacini definiti alla loro rispettiva sezione di chiusura. Le grandezze da considerare sono le seguenti:

- superficie S (km²);
- altitudine media H_{med} (m s.m.);
- quota della sezione di chiusura H_{min} (m s.m.);
- lunghezza dell'asta principale L (km);
- pendenza dell'asta principale i (m/m).

Le grandezze fisiografiche utilizzate in input sono quelle determinate unitamente alla delimitazione dei bacini idrografici, riportate in Tabella 1.

Più nel dettaglio le formule utilizzate per il calcolo del tempo di corrivazione espresso in ore, sono le seguenti.

Formula di Giandotti: $t_c = \frac{4 \cdot S^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{(H_{med} - H_{min})}}$ per bacini di dimensioni superiori a 50 km²;

Formula di Pezzoli: $t_c = 0.055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}}$ per bacini montani di dimensioni inferiori a 20 km²;

Formula di Ventura: $tc = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$ per bacini di dimensioni medie fino a 40 km²;

Formula di Pasini: $tc = 0.108 \cdot \frac{(S \cdot L)^{1/3}}{\sqrt{i}}$ per bacini di dimensioni medie fino a 40 km².

I risultanti valori del tempo di corrivazione ottenuti applicando le formulazioni succitate sono i seguenti:

S (km ²)	T _c Giandotti (ore)	T _c Ventura (ore)	T _c Pasini (ore)	T _c Pezzoli (ore)	T _c assunto (ore)
1.941	1.22	0.61	0.66	0.55	0.60

Tabella 5 - Valori del tempo di corrivazione per il bacino del San Michele.

Data la dimensione areale del bacino, il tempo di corrivazione assunto per la determinazione delle portate per tempo di ritorno assegnato, è stato calcolato eseguendo la media dei valori ottenuti applicando le formulazioni di Ventura, Pasini e Pezzoli.

2.4.1.2. Risultati ottenuti

Sulla base delle precipitazioni intense regionalizzate, del tempo di corrivazione e del coefficiente di deflusso assunti, le portate per tempo di ritorno assegnato sono risultate le seguenti:

Denominazione bacino	S (km ²)	T _c (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q100 (m ³ /s/km ²)
San Michele	1.941	0.60	46.82	0.290	40.46	0.50	18.04	9.29	0.66

Tabella 6 - Portate di piena per tempo di ritorno 20 anni.

Denominazione bacino	S (km ²)	T _c (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q100 (m ³ /s/km ²)
San Michele	1.941	0.60	56.67	0.290	48.98	0.50	21.84	11.25	0.80

Tabella 7 - Portate di piena per tempo di ritorno 50 anni.

Denominazione bacino	S (km ²)	T _c (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q100 (m ³ /s/km ²)
San Michele	1.941	0.60	61.60	0.290	53.24	0.50	23.73	12.23	0.87

Tabella 8 - Portate di piena per tempo di ritorno 100 anni.

Denominazione bacino	S (km ²)	Tc (ore)	a (mm/ora ⁿ)	n (-)	h (mm)	c (-)	Q (m ³ /s)	q (m ³ /s/km ²)	q ₁₀₀ (m ³ /s/km ²)
San Michele	1.941	0.60	68.99	0.290	59.62	0.50	26.58	13.70	0.98

Tabella 9 - Portate di piena per tempo di ritorno 200 anni.

Nelle tabelle sopra esposte sono stati inoltre calcolati i contributi specifici di piena q e q_{100} calcolati secondo le seguenti:

$$q = \frac{Q}{S} \quad (\text{m}^3/\text{s km}^2)$$

$$q_{100} = q \cdot \left(\frac{S}{100}\right)^n \quad (\text{m}^3/\text{s km}^2)$$

dove:

- Q = portata al colmo (m³/s);
- S = superficie del bacino (km²);
- n = secondo la formulazione di Gherardelli-Marchetti è stato assunto pari a 2/3.

3. DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

L'intervento in oggetto è mirato al ripristino del tracciato originario del rio nel tratto tra il viadotto autostradale e la confluenza in Tanaro.

In particolare si prevede la sistemazione idraulica a stabilizzazione e protezione della sezione d'alveo nel tratto a cavallo del viadotto e il rimodellamento dello stesso alveo inciso fino a valle della strada campestre, interferita dal rio prima dell'immissione in Tanaro.

In particolare l'intervento di rimodellamento della sezione del rio a valle del viadotto, garantisce che anche i deflussi meteorici a tempo di ritorno 25 anni generati dalla piattaforma autostradale dell'A33 e dalle porzioni di versante lato Asti che vengono collettati nel rio, defluiscano a valle senza generare erosioni e dissesti generalizzati sul territorio circostante.

Gli interventi di progetto previsti sono costituiti dalla riprofilatura e rivestimento della sezione incisa in modo da:

- consentire un più adeguato smaltimento delle portate di piena rispetto alle attuali condizioni, mediante la realizzazione di una sezione trapezia di larghezza 3.0 m alla base, altezza 1.50 m e larghezza in sommità di 4.00 m;
- stabilizzare l'alveo mediante rivestimento di fondo in gabbioni metallici tipo "Reno" di spessore pari a 0.30 m e difesa delle sponde in gabbioni di spessore 1.00 m, larghezza 1.00÷1.50 m e altezza 1.50 m per una lunghezza totale di 71.90 m circa;
- sottopassare la stradina in rilevato a monte del viadotto mediante la realizzazione di un tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=3.00X2.50 m e lunghezza di 14.00 m, intestato su un muro in gabbioni metallici di altezza 3,00 m;

- creare una nuova inalveazione del rio (ad oggi praticamente inesistente) a valle del viadotto, tramite la creazione di un salto di fondo di altezza di 1.5 e la riprofilatura del terreno ad ottenere una sezione di geometria trapezia larga alla base 3.00 m, di altezza variabile da circa 1.6 a 1.9 m con sponde inclinate 3 su 2 e imponendo una pendenza di fondo pari all' 1.66%. Il rimodellamento della sezione d'alveo termina a valle dell'interferenza con la stradina campestre (attualmente dotata di un tombino circolare di diametro 800 mm) il cui attraversamento viene adeguato tramite la realizzazione di un tombino scatolare in cls di dimensioni BxH=3.00X1.50 m di lunghezza pari a 6 m.

Per ogni dettaglio in merito alla rappresentazione delle sezioni di intervento, delle loro dimensioni, caratteristiche dimensionali ed estensioni si possono consultare i seguenti elaborati:

- 08.01.02_P017_D_OPI_PZ_001 - Planimetria, profilo e sezioni tipo
- 08.01.03_P017_D_OPI_SZ_001 - Sezioni trasversali - Tavola 1
- 08.01.04_P017_D_OPI_SZ_002 - Sezioni trasversali - Tavola 2

4. ANALISI IDRAULICA

4.1. DESCRIZIONE DELL'INTERFERENZA

Il tracciato dell'A33 esistente attraversa il rio San Michele con il viadotto Tanaro realizzato nell'ambito del lotto 2.7.

4.2. ASSETTO GEOMETRICO DELL'ALVEO

La geometria del rio nel tratto di interferenza è stata descritta sulla base del rilievo celerimetrico specificatamente eseguito a supporto del progetto.

Il profilo longitudinale di progetto del rio San Michele introdotto nel modello idrodinamico, è costituito da 19 sezioni trasversali che ne rappresentano in dettaglio la geometria in termini di alveo inciso e ambiti di piano campagna potenzialmente allagabili; nella tabella seguente viene rappresentato il profilo introdotto nel modello in cui vengono indicate il nome della sezione, la progressiva metrica, l'inizio e la fine della sistemazione, la localizzazione degli attraversamenti previsti in progetto e le quote di fondo alveo.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
alveo naturale	1	7.07	195.66
alveo naturale	2	20.00	195.60
alveo naturale	3	40.00	195.42
alveo naturale	4	60.00	195.28
alveo naturale	5	80.00	195.21

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo
-	-	m	m s.m.
inizio sistemazione	6	107.56	195.05
monte scatolare progetto BxH=3.0X2.5 m	7	120.44	194.90
valle armco scatolare progetto BxH=3.0X2.5 m	8	133.44	194.74
sistemazione	9	160.00	194.45
sistemazione monte salto	10	173.83	194.30
sistemazione valle salto	10.5	174.83	192.80
sistemazione	11	200.00	192.37
sistemazione	12	220.00	192.05
sistemazione	13	240.00	191.73
sistemazione	14	260.00	191.38
sistemazione	15	280.00	191.05
monte attraversamento campestre scatolare progetto BxH=3.0X1.5 m	16	296.04	190.78
valle attraversamento campestre scatolare progetto BxH=3.0X1.5 m	17	301.11	190.70
alveo naturale	18	340.00	190.19

Tabella 10 – Profilo longitudinale di progetto del rio San Michele.

In Figura 3 si riporta la planimetria del tratto simulato con indicate le sezioni del modello numerico schematicamente il tracciato dell'autostrada A33.

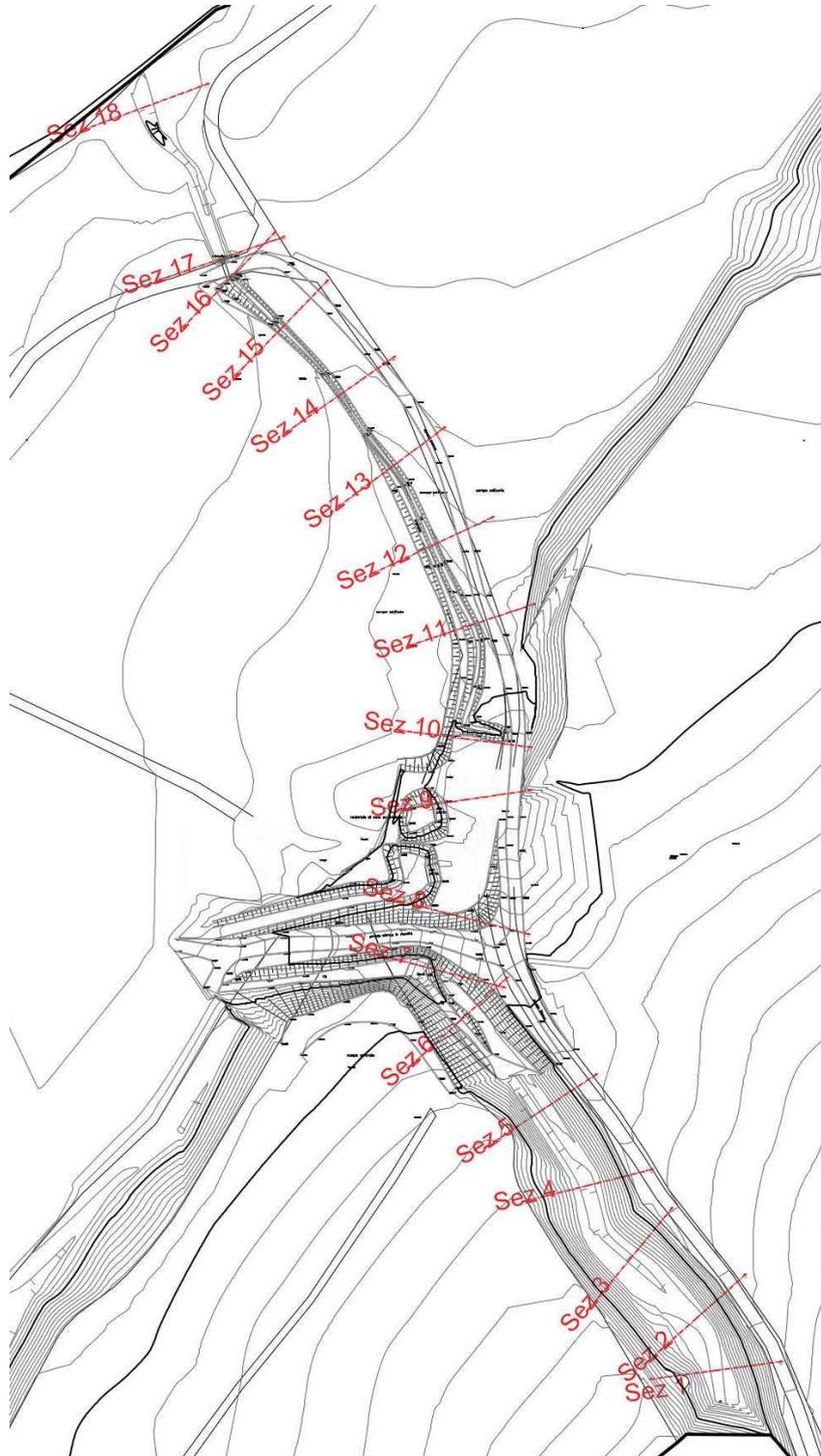


Figura 3 – Planimetria del tratto oggetto di analisi idraulica.

La simulazione eseguita considera come portata di riferimento quella a tempo di ritorno 200 anni; nel calcolo idrodinamico si sono assunte le seguenti condizioni al contorno:

- portata in ingresso costante pari al valore di portata al colmo con tempo di ritorno di 200 anni (26.60 m³/s);
- valle: imposizione del moto uniforme con scala di deflusso.

La valutazione dei coefficienti di scabrezza si è stata basata su dati di letteratura e sulle indicazioni rilevate durante i sopralluoghi sul tratto oggetto dell'analisi.

In particolare, si è assunta:

- nei tratti naturali una scabrezza pari a 25 m^{1/3}/s per la porzione incisa dell'alveo e pari a 15 m^{1/3}/s per gli ambiti di piano campagna adiacenti;
- nei tratti sistemati, a titolo cautelativo, il valore di coefficiente di Gauckler-Strickler è stato fissato pari a 30 m^{1/3}/s.

4.3. SIMULAZIONE IDRODINAMICA

Per la verifica idraulica è stato implementato un modello idraulico monodimensionale basato sul codice MIKE 11 del DHI, descritto nel precedente capitolo e (con maggior dettaglio) in Allegato 1.

L'analisi idraulica consiste nella verifica delle condizioni di deflusso del rio per portata con tempo di ritorno di 200 anni.

In Tabella 11, si riportano i parametri idrodinamici della simulazione mentre in Figura 4 è rappresentato graficamente il profilo longitudinale di corrente. In ALLEGATO 2 si riportano le sezioni trasversali di modello con la rappresentazione dei livelli idrici.

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
alveo naturale	1	7.07	195.66	2.32	197.98	198.13	26.60	1.70	15.61	10.24	0.44
alveo naturale	2	20.00	195.60	2.41	198.01	198.09	26.60	1.27	20.94	13.99	0.33
alveo naturale	3	40.00	195.42	2.59	198.01	198.07	26.60	1.07	24.82	13.60	0.25
alveo naturale	4	60.00	195.28	2.71	197.99	198.06	26.60	1.21	21.94	12.38	0.29
alveo naturale	5	80.00	195.21	2.70	197.91	198.05	26.60	1.64	16.25	10.02	0.41
inizio sistemazione	6	107.56	195.05	2.85	197.90	198.00	26.60	1.42	18.73	7.60	0.29
monte scatolare progetto BxH=3.0X2.5 m	7	120.44	194.90	2.86	197.76	198.00	26.60	2.19	12.15	5.00	0.45
valle armco scatolare progetto BxH=3.0X2.5 m	8	133.44	194.74	2.17	196.91	197.54	26.60	3.51	7.57	4.37	0.85
sistemazione	9	160.00	194.45	2.18	196.63	196.88	26.60	2.21	12.01	10.42	0.66
sistemazione monte salto	10	173.83	194.30	2.32	196.62	196.82	26.60	2.00	13.27	11.04	0.58

Note	Sezione	Progressiva	Fondo alveo	Tirante	Livello idrico	Carico totale	Portata	Velocità	Area deflusso	Larghezza livello idrico	Froude
-	-	m	m s.m.	m	m s.m.	m s.m.	m ³ /s	m/s	m ²	m	-
sistemazione valle salto	10.5	174.83	192.80	1.85	194.65	195.82	26.60	4.78	5.56	3.00	1.12
sistemazione	11	200.00	192.37	1.46	193.83	194.46	26.60	3.50	7.59	7.39	1.10
sistemazione	12	220.00	192.05	1.47	193.52	194.13	26.60	3.45	7.70	7.44	1.08
sistemazione	13	240.00	191.73	1.50	193.23	193.81	26.60	3.38	7.88	7.50	1.05
sistemazione	14	260.00	191.38	1.57	192.95	193.46	26.60	3.15	8.44	7.73	0.96
sistemazione	15	280.00	191.05	1.67	192.72	193.14	26.60	2.88	9.24	8.01	0.86
monte attraversamento campestre scatolare progetto BxH=3.0X1.5 m	16	296.04	190.78	1.95	192.73	192.83	26.60	1.42	18.75	30.00	0.57
valle attraversamento campestre scatolare progetto BxH=3.0X1.5 m	17	301.11	190.70	1.36	192.06	192.82	26.60	3.86	6.90	6.91	1.23
alveo naturale	18	340.00	190.19	1.06	191.25	191.44	26.60	1.91	13.93	29.93	0.89

Tabella 11 – Risultati della simulazione a tempo di ritorno-200 anni.

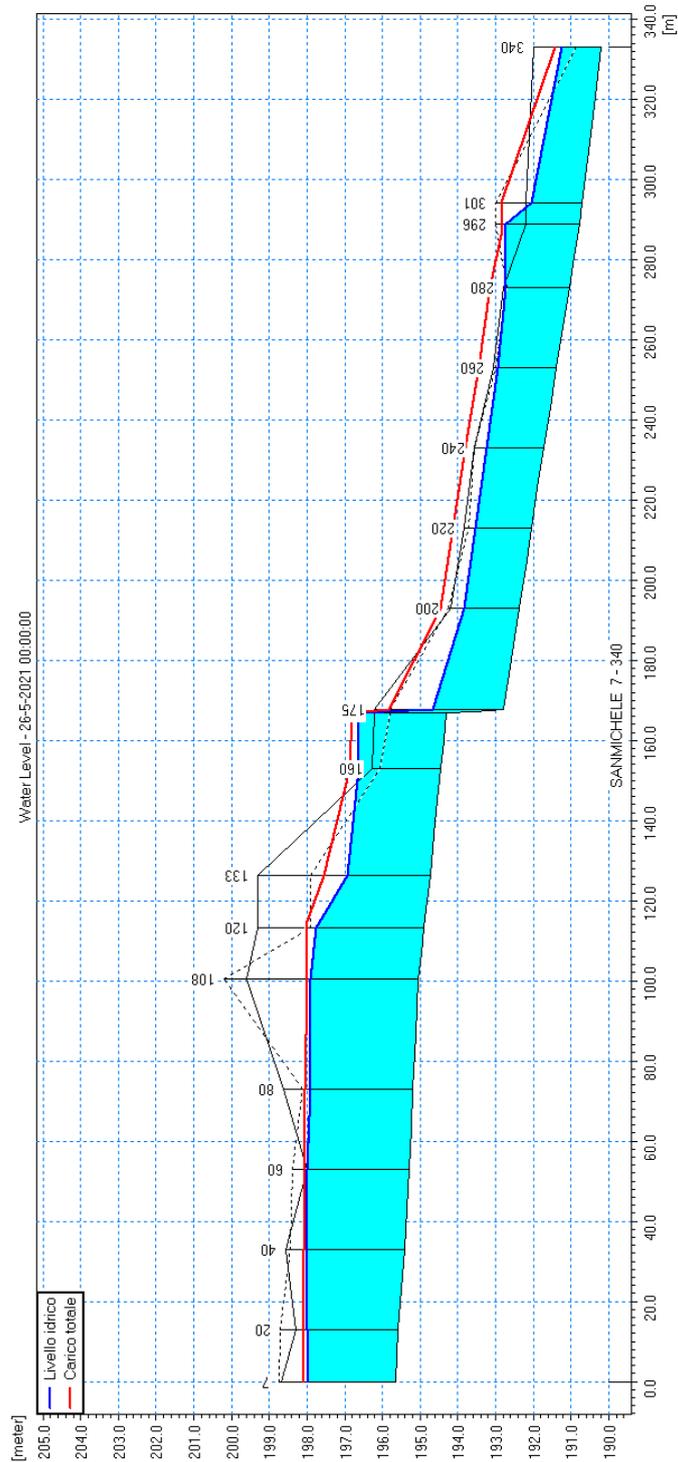


Figura 4 – Profilo longitudinale di corrente a tempo di ritorno-200 anni.

4.3.1. Conclusioni

La sistemazione prevista ha principalmente l'obiettivo di regolarizzare il deflusso in piena sul rio San Michele nel tratto da monte del viadotto esistente dell'A33 fino alla confluenza in Tanaro. Il deflusso della piena di riferimento viene infatti concentrato principalmente nell'alveo inciso, in cui viene fatta transitare la quasi totalità della portata di riferimento. Tale logica di intervento riduce i fenomeni erosivi dell'alveo inciso evitando inoltre fenomeni impulsivi della corrente sulle aree di piano campagna adiacenti al corso d'acqua e proteggendo quindi la spalla destra del viadotto. A ciò va aggiunto il rifacimento degli attraversamenti delle 2 strade campestri, inserendo opere di dimensioni maggiori di quelle esistenti, che garantisce una maggiore officiosità della sezione incisa del rio, riducendo i fenomeni di rigurgito verso monte e la possibilità di un effetto di invaso e successivo collasso per sormonto delle 2 infrastrutture minori presenti. Esse tuttavia denunciano un funzionamento in pressione ma con sommersione dell'intradosso molto contenuta rispetto a quanto avverrebbe nello stato attuale:

- lo scatolare in progetto nella sezione 7 (BxH=3.00x2.50 m) è caratterizzato da un intradosso sommerso per una quantità pari a 0.36 m, in ragione di una quota 197.40 m s.m. a fronte di un livello idrico pari a 197.76 m s.m.;
- lo scatolare in progetto nella sezione 16 (bxH=3.00x1.50 m) è caratterizzato da un intradosso sommerso per una quantità pari a 0.45 m, in ragione di una quota 192.28 m s.m. a fronte di un livello idrico pari a 192.73 m s.m.

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – DESCRIZIONE DEL CODICE NUMERICO MIKE 11

1. PREMESSA

Il programma MIKE 11 è stato realizzato dal DHI (Danish Hydraulic Institute) a partire dal programma SYSTEM 11 che dal 1972, anno della sua messa a punto, ad oggi, è stato usato in un grande numero di applicazioni in tutto il mondo con ottimi risultati e riconoscimenti.

MIKE 11 è un programma generale per la simulazione del flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi di irrigazione e simili corpi idrici. MIKE 11 simula il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. È possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;
- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione DHIMIKE 11, consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

2. EQUAZIONI GENERALI DI DE SAINT VENANT

MIKE 11 risolve le equazioni di conservazione del volume e della quantità di moto (equazioni di De Saint Venant) che sono derivate sulla base delle seguenti assunzioni:

- a) Il fluido (acqua) è incomprimibile ed omogeneo, cioè senza significativa variazione di densità.
- b) La pendenza del fondo è piccola.
- c) Le lunghezze d'onda sono grandi se paragonate all'altezza d'acqua, in modo da poter considerare in ogni punto parallela al fondo la direzione della corrente: è cioè trascurabile la componente verticale dell'accelerazione e su ogni sezione trasversale alla corrente si può assumere una variazione idrostatica della pressione.

Integrando le equazioni di conservazione della massa e della quantità di moto si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

ed introducendo la resistenza idraulica (attrito) e le portate laterali addotte:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\alpha \frac{Q^2}{A} \right) + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{C^2 AR} = 0$$

dove:

A = area della sezione bagnata (m²);

C = coefficiente di attrito di Chezy (m^{1/2}s⁻¹);

g = accelerazione di gravità (m s⁻²);

h = altezza del pelo libero rispetto ad un livello di riferimento orizzontale (m);

Q = portata (m³/s);

R = raggio idraulico (m);

α = coefficiente di distribuzione della quantità di moto;

q = portata laterale addotta (m²/s).

3. DESCRIZIONE IN CORRISPONDENZA DI STRUTTURE

Dal punto di vista matematico la descrizione della corrente attraverso stramazzi o soglie e sezioni trasversali strette è abbastanza simile. In MIKE 11 la descrizione di ogni struttura viene effettuata in un segmento di corso d'acqua.

Tipi di strutture simulate

Tipo 1. Stramazzo a larga soglia

Il programma automaticamente determina le caratteristiche di funzionamento standard dello stramazzo sulla base della geometria e dei coefficienti di perdita di carico specificati dall'utente. Viene assunta una distribuzione idrostatica delle pressioni sulla soglia e vengono utilizzati diversi algoritmi per la simulazione del deflusso libero e di quello rigurgitato.

Tipo 2. Relazione Q-h

Nel caso in cui le condizioni standard di funzionamento (tipo 1) dello stramazzo non risultino adeguate (ad esempio quando è evidente una significativa curvatura delle linee di corrente) è possibile specificare le relazioni Q-h (portate-livelli) valide per la data struttura. La relazione Q-h viene utilizzata per il deflusso libero in condizioni critiche, mentre per il deflusso rigurgitato (o sommerso) vengono utilizzati gli stessi algoritmi della struttura "tipo 1".

Tipo 3. Tombino

Un tombino può essere descritto mediante diversi algoritmi validi per condizioni di deflusso critico, rigurgitato o a "tubo pieno". il funzionamento a "tubo pieno" è a sua volta suddiviso in deflusso libero a valle, flusso rigurgitato e flusso sommerso. Deve essere inserita una relazione Q-h che contempli tutti i casi di deflusso critico allo sbocco del tombino. La portata critica è determinata da una formulazione di stramazzo a larga soglia quando l'imbocco è libero e da una formulazione di luce sotto battente quando l'imbocco è sommerso.

Tipo 4. Relazione Q-t

È possibile inserire una qualsiasi relazione Q-t esterna per descrivere ad esempio il deflusso da una diga o un pompaggio. Questa relazione sostituisce localmente l'equazione di conservazione della quantità di moto.

Tipo 5. Relazione $Q = A(Z_{j1}) \cdot Z_{j2}$

Il deflusso nell'ambito di una struttura può essere posto in relazione, in modo dinamico, a due qualsiasi variabili indipendenti del sistema consentendo di simulare regole operative particolari. Il deflusso da un invaso può per esempio essere correlato alla portata in ingresso e al livello nell'invaso (o al livello a valle di esso).

Tipo 6. Strutture mobili

E' possibile simulare la presenza di strutture mobili con condizioni di deflusso di tipo sfioro o luce sotto battente. Viene assegnata la geometria fissa della struttura (larghezza, quota del fondo per sistemi a sfioro tipo ventola, quota del livello massimo della paratoia per sistemi con luce sotto battente) ed una regola operativa che determina la quota della parte mobile della struttura in funzione di una delle seguenti condizioni idrodinamiche calcolate dal modello: un livello, una differenza di livelli, una portata, una differenza di portate, il tempo. Il modulo simula dinamicamente la variazione della geometria della struttura ed il flusso che ne consegue.

4. RESISTENZA D'ATTRITO

MIKE 11 consente di utilizzare due diverse formulazioni della resistenza d'attrito: l'espressione di Chezy e quella di Strickler.

Secondo la formula di Chezy, nell'equazione del moto il termine di resistenza risulta pari a:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{C^2AR}$$

dove C è il coefficiente di attrito di Chezy.

Secondo la formula di Strickler, lo stesso termine diventa:

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2AR^{4/3}}$$

dove M è il coefficiente di Strickler, pari a $1/n$, essendo n il coefficiente di Manning.

5. CONDIZIONI INIZIALI

Le condizioni iniziali possono essere specificate dall'utente oppure essere calcolate automaticamente. Nel secondo caso viene usata la formula di Chezy per determinare i livelli idrici e le portate da considerare all'inizio della simulazione su tutta la rete o schema idraulico. In alternativa a queste due opzioni è possibile anche assumere come condizioni iniziali i risultati di una precedente simulazione effettuata sullo stesso schema idraulico.

6. METODO DI SOLUZIONE

La soluzione del sistema di equazioni è indipendente dall'approccio modellistico seguito (cinematico, diffusivo, dinamico). Le equazioni generali di De Saint Venant sono trasformate in un sistema di equazioni implicite alle differenze finite secondo una griglia di calcolo con punti Q e h alternati tra loro, nei quali la portata Q e il livello idrico h, rispettivamente, sono determinati ad ogni passo temporale (schema di Abbott a 6 punti).

La griglia di calcolo viene generata dal modello in base alle richieste dell'utente:

- i punti Q sono posizionati sempre a metà tra due punti h vicini;
- la distanza tra due punti h può essere variabile;
- ad ogni sezione trasversale d'alveo viene assegnato un punto h;
- ad ogni struttura viene assegnato un punto Q.

7. CONDIZIONI AL CONTORNO

In MIKE 11 le condizioni al contorno sono distinte in esterne ed interne. Le condizioni al contorno interne sono: legami tra punti nodali, strutture, portate interne, attrito indotto dal vento. Le condizioni al contorno esterne sono: valori costanti di h e Q, valori di h e Q variabili nel tempo, relazioni tra h e Q (ad es. scala di deflusso per una sezione d'alveo).

8. DEFINIZIONE DEI PASSI DI CALCOLO

La scelta ottimale dei passi di calcolo Dx (spazio) e Dt (tempo) da utilizzare nell'ambito di una simulazione è molto importante perché questi parametri possono condizionare pesantemente la stabilità del calcolo numerico e quindi i risultati stessi della simulazione. Esistono due differenti criteri per determinare correttamente i passi di calcolo Dx e Dt. Essi sono descritti nel seguito.

1) Criterio di Courant

$$Cr = \frac{\sqrt{g \cdot d + V}}{Dx} \cdot Dt$$

dove:

- Cr = numero di Courant;
- d = altezza d'acqua media;
- V = velocità media della corrente;
- g = accelerazione di gravità;
- Dt, Dx = passi di calcolo.

Il numero di Courant esprime quanti Dx vengono percorsi da un'onda, causata da una piccola perturbazione, che si muove in un intervallo di tempo Dt unitario. Per correnti lente ($Fr < 1$), il valore massimo del numero di Courant deve essere inferiore a 20.

2) Criterio della velocità.

Il criterio della velocità stabilisce che i passi Dx e Dt di calcolo siano definiti in modo tale che la corrente si muova di uno spazio Dx in un tempo maggiore di Dt, e cioè:

$$V *Dt < Dx$$

dove V è velocità media della corrente.

In definitiva entrambi i criteri esprimono il concetto che, per un dato passo di tempo Dt, Dx deve essere maggiore di un valore definito; contemporaneamente sia Dt che Dx devono essere inferiori a valori prestabiliti, in modo da descrivere correttamente il fenomeno in esame.

Il modello DHI/MIKE 11 genera automaticamente una griglia di calcolo sulla quale i nodi che rappresentano le altezze d'acqua sono localizzati in corrispondenza delle sezioni trasversali di rilievo. Nel caso in cui la distanza tra due sezioni sia maggiore di Dx, vengono inseriti nodi intermedi di calcolo, distanti fra loro Dx o meno.

**ALLEGATO 2 – SEZIONI TRASVERSALI CON RAPPRESENTAZIONE DEI LIVELLI IDRICI
TR200 ANNI**

