

# RELAZIONE IDRAULICA

## DETERMINAZIONE DEL PROFILO DI PIENA PER I TORRENTI CHIAVENNA E CHERO NEL TERRITORIO DEL COMUNE DI CADEO

### 1. Premessa

Il presente studio idraulico è stato eseguito su tutto il territorio del comune di Cadeo relativamente ai Torrenti Chiavenna e Chero, analizzando l'intera asta fluviale "a Y", partendo da Fontana Fredda, passando per Roveleto - in cui avviene la confluenza tra Chiavenna e Chero - fino ad arrivare a Saliceto.

La determinazione del profilo idraulico di piena dei due torrenti è stata condotta:

1. con l'impiego di sezioni fornite dall'Amministrazione Comunale – in tal senso si evidenzia che:
  - a. non sono presenti sulle aste indagate sezioni topografiche del PAI ma esclusivamente sezioni ricostruite sulla base della C.T.R. come da documenti ufficiali allegati (Allegato A);
  - b. le sezioni, rilevate in sito dall'Amministrazione Comunale, sono più aggiornate e soprattutto più corrispondenti alla realtà rispetto a quelle ricostruite dal PAI (Allegato F fornito solo su supporto informatico);
  - c. tutte le sezioni utilizzate sono riferite ai capisaldi forniti dal Consorzio Bacini di Levante;
  
2. sulla base degli idrogrammi definiti dall'AdB nell'ambito del Sottoprogetto S.P.1 – "Piene e naturalità alvei e fluviali – Attività di studio e di ricerca a supporto della redazione del Piano di Bacino" successivamente recepiti e ridotti dal PAI.

Considerato:

- la necessità di operare direttamente sugli idrogrammi (Allegato B);
- che gli unici idrogrammi reperiti relativi al Chiavenna sono quelli dell'AdB;
- che quelli utilizzati sono comunque a favore di sicurezza;

si sono ricavate le portate pari a 270 m<sup>3</sup>/s per il Chiavenna a monte della confluenza con il Chero (contro i 210 m<sup>3</sup>/s indicati dal PAI), e 500 m<sup>3</sup>/s a valle della confluenza

(contro i 490 m<sup>3</sup>/s indicati dal PAI), quindi 230 m<sup>3</sup>/s per il Chero ottenuti per differenza tra i primi due;

3. per un tempo di ritorno pari a 200 anni;
4. in condizioni di moto stazionario.

Per l'esecuzione dello studio si è utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS dell'U.S. Army Corps of Engineers. Il programma di calcolo opera in moto monodimensionale gradualmente vario in corsi d'acqua naturali o in canali, integrando le equazioni generali del moto secondo lo Standard Step Method; accetta valori di scabrezza diversi lungo la sezione dell'alveo, sia inciso che golenale, computando le caratteristiche del moto su una sezione trasversale composita; è inoltre in grado di tenere conto di perdite di energia per variazioni trasversali della sezione e per ostacoli diversi.

L'equazione del moto impiegata da HEC-RAS è scritta nella seguente forma:

$$h_2 + a_2 V_2^2 / 2g = h_1 + a_1 V_1^2 / 2g + h_e$$

dove:

$h_1, h_2$  = altezza idrometrica nelle sezioni trasversali 1 e 2,

$V_1, V_2$  = velocità medie (portata totale/area bagnata) nelle sezioni 1 e 2,  $a_1, a_2$  = coefficienti di velocità,

$h_e$  = perdita di carico nel tronco 1- 2.

La perdita di carico ( $h_e$ ) tra due sezioni trasversali è calcolata come somma delle perdite distribuite per attrito e di quelle concentrate per effetto di contrazioni o allargamenti bruschi di sezione:

$$h_e = L i + C (a_2 V_2^2 / 2g - a_1 V_1^2 / 2g)$$

dove:

$L$  = distanza pesata tra le due sezioni trasversali del tronco 1-2 (in funzione della quota di deflusso che interessa rispettivamente l'alveo inciso e le aree golenali in sinistra e in destra rispetto alle sponde),

$i$  = pendenza motrice tra le sezioni 1 e 2,

$C$  = coefficiente di perdita di carico per contrazione o allargamento di sezione .

HEC-RAS utilizza per il calcolo di  $i$  la formula di Manning (coefficiente di scabrezza  $n$ ), suddividendo la sezione trasversale in tante parti quante sono determinate dalla variazione della scabrezza.

## **2. Coefficiente di scabrezza**

I calcoli idraulici per la ricostruzione dei profili di piena sono stati effettuati con riferimento al coefficiente di scabrezza  $n$  di Manning-Strickler, assunto con valore di  $0,030 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  per la parte golenale dell'alveo di piena e di  $0,035 \text{ m}^{-1/3} \text{ s}$  per l'alveo inciso, in accordo con le indicazioni fornite dalla letteratura tecnica del settore e in funzione delle caratteristiche dei fattori tipici dell'alveo che ne determinano il valore: la granulometria del materiale, il grado di irregolarità morfologico, la variabilità della sezione trasversale, la presenza di vegetazione e il grado di meandrizzazione, rilevati a mezzo di una ricognizione dei luoghi.

La scabrezza non è stata considerata variabile con la quota del pelo libero in ragione del livello di approssimazione dei calcoli effettuati e soprattutto dei limiti conoscitivi sopra indicati relativamente alla rappresentazione geometrica dell'alveo; il valore assegnato fa riferimento pertanto alle condizioni medie dell'alveo di piena.

## **3. Condizioni al contorno**

Il programma di calcolo utilizzato, che funziona in moto stazionario, ha la possibilità di considerare diverse condizioni al contorno, da definirsi nelle sezioni estreme dei tronchi di corso d'acqua oggetto del calcolo:

1. livello idrico assegnato,
2. altezza critica,
3. altezza di moto uniforme.

La condizione prescelta è stata quella di moto uniforme, ricavabile dal programma HEC-RAS attraverso l'imposizione della cadente idrica.

In mancanza di dati sperimentali è stata fatta l'ipotesi, necessaria per poter effettuare la modellazione, che la cadente di moto uniforme a monte e a valle rispettivamente, possa essere assimilabile alla pendenza dell'alveo riferita alle prime sezioni di monte e all'ultima sezione di valle.

Le condizioni al contorno sono state imposte sia a monte che a valle e la modellazione è stata condotta nell'ipotesi di moto in corrente mista.

#### **4. Simulazioni effettuate, profili di piena, volumi di esondazione e determinazione dei tiranti idrici nelle zone inondate, fasce di rispetto PAI, informazioni relative ad eventi di piena storici ed informazioni di carattere geomorfologico.**

##### **4.1. Studio della piena duecentennale secondo le prescrizioni della direttiva PAI**

Le onde di piena utilizzate per il calcolo dei profili sono state quelle con tempo di ritorno di 200 anni.

Si noti che a valle della sezione “S”, che coincide con la confluenza di Chero e Chiavenna, l’onda di piena considerata è data dalla somma delle onde di piena dei due torrenti, nell’ipotesi di contemporaneità dei picchi.

La simulazione è stata condotta unitariamente per gli alvei dei torrenti Chero e Chiavenna; tale struttura implica che nel nodo di giunzione tra i due affluenti venga rispettata la condizione di conservazione dei volumi in transito; da questo deriva che l’onda di piena che coinvolge le sezioni a valle della confluenza risulta essere la somma delle due portate che riescono a defluire dai tronchi di monte.

In virtù di quanto sopra, si è stabilito di limitare i volumi di esondazione delle sezioni di valle in considerazione dell’effetto di laminazione espresso da quelle di monte.

Il volume esondato, che non riesce cioè a transitare, è numericamente calcolabile effettuando l’integrazione dell’idrogramma di piena per la portata eccedente a quella massima transitabile.

Per le sezioni nelle quali vengono sormontati entrambi gli argini, il volume di esondazione è stato ripartito su entrambe le sponde tenendo conto anche del dislivello tra le due.

In particolare sono stati determinati i valori di portata di sfioro che limitano la propagazione dell’onda di piena; è infatti necessario considerare che la portata massima di una sezione costituisce un limite per tutte le sezioni di valle, questo a causa di un evidente effetto di laminazione.

Dal punto di vista numerico, si è stabilito di indagare l’evoluzione dell’onda di piena con intervalli temporali pari ad 1/10 di ora (ottenendo i valori di portata intermedi tra un’ora e la successiva, da assegnare ai tre tronchi – Chero, Chiavenna a monte della confluenza e Chiavenna a valle della confluenza – con un’interpolazione lineare).

In tal modo è stata individuata una tabella che lega, sulla base del tempo, le portate da assegnare ai vari tronchi (Allegato C).

Per tale motivo è stato sufficiente determinare le portate limite di 3 sezioni per il Torrente Chiavenna a monte della confluenza (AZ’’, AS ed AN), 6 sezioni per il Torrente Chero (M1-M1, G1’-G1’, E1-E1, C1-C1, B’’-B’’, C-C.) e 2 per il Torrente Chiavenna a valle della

confluenza (1, 11); le sezioni elencate vengono di seguito indicate come “*sezioni critiche*” (Allegato D).

*Per quanto riguarda le sopraccitate portate limite, si noti che sono state considerate due configurazioni dei profili idrici assunti dalla corrente fluida sulla base dell'applicazione del:*

- 1. transito della portata limite per la quale la sezione è in grado di convogliare la corrente senza causare esondazioni (tutte le sezioni hanno tiranti inferiori agli argini);*
- 2. transito della portata di esondazione per la quale l'insufficienza della sezione provoca fenomeni di inondazione nei terreni circostanti (le sezioni soggette ad esondazione, indicate nel periodo precedente, presentano tiranti superiori agli argini) – si consideri che la portata di esondazione è immediatamente successiva alla portata limite così come individuate nella tabella che correla il tempo alle portate dei tronchi.*

*In allegato si riporta la stampa relativa alla configurazione assunta dalle aste fluviali per il transito delle portate limite determinate dalle sezioni soggette ad esondazione: in tale configurazione, come illustrato al precedente punto 1, il livello idrico nelle aste indagate è sempre inferiore agli argini (Allegato E).*

*Aumenti di portata rispetto a quella limite causano nelle “sezioni critiche” fenomeni di esondazione.*

Da ultimo, si rileva che la portata limite:

1. del Torrente Chiavenna a monte della confluenza, determinata dalla sezione AM, è di 230 m<sup>3</sup>/s;
2. del Torrente Chero, determinata dalla sezione C'-C', è di 195 m<sup>3</sup>/s;

quindi la portata al colmo di piena per il Torrente Chiavenna, che si realizza nella sezione di confluenza tra il Chiavenna a monte ed il Chero, è di 425 m<sup>3</sup>/s ed i fenomeni di esondazione in tale tratto si verificano solo in corrispondenza di quelle sezioni che hanno portata limite inferiore a tale valore.

In considerazione del fatto che le sezioni soggette ad esondazione per il Torrente Chiavenna a monte e a valle della confluenza e per il Torrente Chero sono concentrate in tratti limitati delle aste fluviali, sono state individuate aree di esondazione unitarie in sponda destra e sinistra per i due corsi d'acqua.

Noti quindi i volumi che esondano e le aree di esondazione, è stato possibile individuare l'altezza media d'acqua.

Si è quindi proceduto ad individuare l'altezza idrica in vari punti dell'area interna alle fasce così definite, come di seguito esposto:

- a. sono stati individuati 16 piani inclinati:
  - i. 3 in sponda destra e 3 in sponda sinistra sia per il Torrente Chiavenna a monte che per quello a valle della confluenza,
  - ii. 2 in sponda destra e 2 in sponda sinistra per il Torrente Chero, determinando così 16 aree nelle quali si è ipotizzato che la pendenza rimanga pressoché costante;
- b. per ciascun piano si è individuata la retta orizzontale a quota maggiore (di monte) e quella orizzontale a quota minore (di valle), a queste è stata sommata l'altezza d'acqua prima determinata; ogni piano è quindi risultato essere inclinato secondo la pendenza media nell'area.

Definita tale pendenza, per ciascun punto quotato d'interesse della Carta Tecnica Regionale di riferimento, attraverso le distanze locali da una delle due rette individuati i piani relativi, con una semplice interpolazione lineare sono state ottenute le quote idriche.

Per la determinazione dei tiranti idrici all'interno delle aree di esondazione, sono state confrontate le quote idriche e le quote del terreno.

E' quindi stato possibile stilare una mappa delle aree esondate individuando sottozone definite dal tirante idrico. In accordo con il livello di approssimazione tipico di questi studi, si è stabilito di considerare una classificazione dei tiranti in 5 gruppi omogenei:

- zona bianca – aree a tirante idrico uguale a 0 cm
- zona ciano – aree a tirante idrico compreso tra 0 e 20 cm
- zona azzurro – aree a tirante idrico compreso tra 20 e 40 cm
- zona blu – aree a tirante idrico compreso tra 40 e 80 cm
- zona rosso – aree a tirante idrico maggiore a 80 cm

Quanto sopra descritto è riscontrabile nella “Tav. Q.C.21 – Studio idraulico Torrente Chero e Chiavenna in località Cadeo, Roveleto, Fontana e Saliceto – Aree di esondazione”.

#### **4.2. Fasce di rispetto PAI all'interno ed all'esterno del centro edificato.**

Nelle tavole viene riportato il perimetro del territorio urbanizzato che è da intendersi come perimetro del centro edificato ai sensi del comma 2 dell'art 18 della L. 22/10/71 n. 865.

Per la determinazione del rischio idraulico sul territorio comunale si sono distinte due classificazioni: una prima con valenza delle Norme del P.A.I. ed una seconda con valenza specifica comunale.

Con la prima classificazione si sono considerate:

- le zone interne al perimetro del territorio urbanizzato ricadenti in Fascia A ed in Fascia B del PAI, zone per le quali l'amministrazione comunale è tenuta a valutare, d'intesa con l'autorità regionale o provinciale competente in materia urbanistica, le condizioni di rischio;
- tutte le zone a tergo della Fascia B di progetto.

Con la seconda classificazione invece si sono considerate, come specifica scelta dell'amministrazione comunale, le zone sia interne che esterne al perimetro del territorio urbanizzato ricadenti in Fascia C e/o esterne alla Fascia C stessa.

Per quanto riguarda invece le aree esterne al perimetro del territorio urbanizzato e ricadenti in Fascia A ed in Fascia B, pur essendo inondate e quindi caratterizzate da una classe di pericolosità (così come riscontrabile nella TAV. Q.C.21 – Aree di esondazione), non è stata svolta l'analisi del rischio idraulico in quanto per queste aree valgono le Norme PAI relative a tali fasce.

#### **4.3. Informazioni relative ad eventi di piena storici ed informazioni di carattere geomorfologico.**

Per quanto riguarda gli eventi di piena storici si rimanda alla Tav. QC. 21.1 - "*Studio idraulico Torrente Chero e Chiavenna in Loc. Cadeo, Roveleto, Fontana e Saliceto. Eventi di piena storici – Anno 1985 – 1994*" in cui risulta evidente come le due piene storiche avvenute negli anni 1985 e 1994 siano pressoché identiche e distribuite su tutta l'asta fluviale interessante il comune fino al ponte dell'autostrada. Oltre il ponte dell'autostrada fino al confine del comune, si rileva solo una piccola esondazione nei pressi di Saliceto, che tuttavia non va a bagnare il centro abitato. Per quanto riguarda le esondazioni attese lungo l'asta fluviale Chero-Chiavenna in considerazione degli eventi di piena storici, si sottolinea che dal 1998 ad oggi sono state

eseguite dal Servizio Provinciale Difesa Del Suolo – Risorse Idriche e Forestali di Piacenza, opere di regimazione dell'intera asta fluviale attraversante il territorio comunale.

Più precisamente, sulla base del *“Progetto per lavori di recupero dell'efficienza idraulica del Torrente Chiavenna in corrispondenza dell'attraversamento del centro abitato di Roveleto in comune di Cadeo”* del 13-2-1998, sono state eseguite opere di regimazione in modo continuativo sul tratto di Chiavenna tra il ponte di Via Zappellazzo ed il ponte della Via Emilia. Successivamente, sulla base del *“Progetto di completamento, ricalibratura e difese spondali nei torrenti Chiavenna e Chero”* del 21-2-2000 sono state eseguite opere di regimazione in modo continuativo sul Chiavenna nel tratto tra il ponte della Via Emilia ed il ponte sulla Ferrovia, e sul Chero nel tratto tra il ponte di Via Zappellazzo e la confluenza con il Chiavenna; e opere di regimazione puntuali sulla restante parte dei due torrenti.

In particolare sono state effettuate opere di risagomatura dell'alveo con conseguente allargamento delle sezioni, sia per il Chiavenna che per il Chero, ed innalzamento degli argini, variabile tra 1.00 m e 2.00 m circa, sia in sponda destra che in sponda sinistra per il Chiavenna. In virtù di tali opere di regimazione, lo stato attuale dei torrenti, utilizzato per l'analisi geometrica del presente studio idraulico, risulta sicuramente migliore rispetto a quello presente negli anni in cui si sono verificati eventi di piena che hanno portato esondazioni.

In conclusione, tali opere di regimazione hanno aumentato la capacità idraulica complessiva dei due torrenti, limitando i fenomeni di esondazione laddove sono storicamente avvenuti.

Per quanto riguarda invece le informazioni di carattere geomorfologico, dai rilievi di campagna non è emersa la presenza sul territorio di forme morfologiche riferibili ad antichi paleoalvei abbandonati; sono invece riconoscibili nelle aree di pianura, dove i torrenti presentano caratteri di “pensilità”, zone di intercanale fluviale naturalmente e debolmente depresse; tra le quali ricordiamo quelle tra i corsi d'acqua del Riglio e Chiavenna e tra il Chiavenna e il T.te Arda più ad est (vedi Tav QC 24). Nonostante in superficie non risulti la presenza di forme riferibili ad antichi paleoalvei, la loro presenza tuttavia non è da escludere al di sotto della copertura alluvionale di natura prevalentemente limo-argillosa e argilloso-sabbiosa e di spessore variabile da pochi metri ad oltre 30 m da p.c. In particolare nella porzione nord occidentale del territorio comunale in corrispondenza del pozzo P813 (6) è riconoscibile dalle stratigrafie la presenza di un corpo prevalentemente ghiaio-sabbioso superficiale di limitata estensione che potrebbe essere riferito o ad un paleoalveo del T.te Riglio o ad un apice terminale della conoide alluvionale del T.te Nure.

I Progettisti

Ing. Giovanni Zilli

Arch. Francesco Massolini