

REGIONE PIEMONTE



PROPOSTA TECNICA DEL PROGETTO PRELIMINARE DI VARIANTE GENERALE

al PRGC vigente approvato con D.G.R. n.13-2018 del 23.01.2006 ai sensi dell'art. 17, comma 3 della L.R n. 56/77 e s.m.i.



4° Dipartimento Programmazione Territoriale - Urbanistica Ufficio di Piano

Progetto

Arch. Edoardo Marini n. 8143 Ordine APPC Milano
Arch. Vittorio Brignardello n. 608 Ordine APPC Novara - VCO

Ufficio Urbanistica - Analisi GIS e Geomatica
Dott. Ivano Giuliano

Ufficio Ambiente - Acustica Ambientale
Dott.sa Marina Della Lucia

Contributo specialistico

Studio associato CMC
Dott. Geol. Giovanni Capulli

LAND Italia s.r.l.
Arch. Andreas Kipar

SMAPROGETTI
Ing. Giorgio Sandrone
Dott. Pian. Cristina Mijno

Studio Associato GEOTER

Dott. Agr. Camilla Scalabrini

Ambiente Italia s.r.l.

Componente traffico e viabilità
Arch. Vincenzo Curti

Il Sindaco

Silvia Marchionini

L'Assessore all'Urbanistica

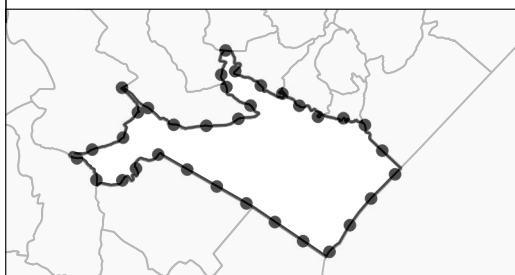
Roberto Brigatti

Il Segretario Comunale

Antonella Mollia

Il Responsabile del Procedimento

Vittorio Brignardello



TITOLO ELABORATO	NUMERO
STUDIO IDRAULICO PROPEDEUTICO ALLA VALUTAZIONE DEI POSSIBILI SCENARI DI ALLAGAMENTO E DI EVOLUZIONE DELLA MORFOLOGIA DELL'ALVEO DEL FIUME TOCE NELL'AREA DELLA PIANA DI FONDOTOCE	R.01
Base cartografica: ---	Scala: ---



Committente MALU' SRL
COMUNE DI VERBANIA
Provincia del Verbano Cusio ossola



*STUDIO IDRAULICO PROPEDEUTICO ALLA VALUTAZIONE DEI
POSSIBILI SCENARI DI ALLAGAMENTO E DI EVOLUZIONE
DELLA MORFOLOGIA DELL'ALVEO DEL FIUME TOCE
NELL'AREA DELLA PIANA DI FONDOTOCE*

RELAZIONE IDRAULICA

Aprile 2018

SCALA -

AGGIORNAMENTI :
Rev. 01

ELABORATO:

AESSE INGEGNERIA
Via Stazione n. 21 - 28883
GRAVELLONA TOCE (VB)
ing. Alberto Chiesa - ing Stefano Cerlini

R.01

1. GENERALITA'

Il presente studio, redatto su incarico della società Malù S.r.l., è finalizzato alla individuazione, in prima istanza delle distribuzioni di probabilità delle portate di piena del fiume Toce nella area a valle della Linea Ferroviaria Milano - Domodossola fino allo sbocco a Lago Maggiore del medesimo, in seconda fase alla definizione, attraverso un modello Idraulico 2D, della verifica idraulica atta ad individuare, su diversi scenari di allagamento di seguito dettagliatamente descritti e riportati, le possibili aree inondabili, i tiranti idrici massimi, i campi di velocità della corrente e i relativi gradienti.

La presente revisione integra, secondo le richieste pervenute con nota Regione Piemonte prot.40768/2017 del 21/09/2018 la geometria d'alveo mediante l'introduzione dell'argine in realizzazione (AIPO TO-IS-09) a valle della confluenza tra Torrente Strona-Toce ed il rilevato Ferroviario in area Pianogrande.

Lo studio di cui sopra ha lo scopo di fornire, sul più ampio spettro di scenari configurabili (definiti in accordo con lo Studio Geologico GEA), le verifiche idrauliche necessarie per la successiva valutazione della pericolosità e del rischio lungo il reticolo idrografico come disciplinato dalla D.G.R. 2-11830 del 28-7-2009 - Allegato B.

Per la valutazione delle portate e per i livelli del Lago Maggiore si è fatto riferimento a diversi commissionati da AdBPo, in particolare si è fatto riferimento agli studi seguenti:

- per la valutazione delle portate allo *Studio idrologico-idraulico del tratto del fiume Toce che va da monte del ponte di Migliandone al lago Maggiore* redatto dal Consorzio del Ticino per l'opera regolatrice del Lago Maggiore;
- per la definizione della curva di piena allo Studio commissionato da AIPO allo studio DI Zeta Ingegneria a supporto della Progettazione Esecutiva delle *"Opere di Sistemazione Idraulica ai fini della laminazione naturale delle pinene e della riduzione dei rischi idraulico lungo l'asta del fiume Toce"*
- Per le valutazioni relative alla regionalizzazione dei colmi di piena si è fatto riferimento alle metodologie illustrate nella memoria *"Applicazione del metodo dell'idrogramma sintetico ad alcuni casi di studio"* (Maione-Mignosa-Tomirotti) che permettono di ricondurre al calcolo delle portate al picco e delle onde di

piena sintetiche anche per bacini non strumentati attraverso la conoscenza delle caratteristiche geomorfologiche dei bacini in esame.

1. DATI UTILIZZATI PER LA DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI PIENA

1.1 Idrogrammi di piena del Fiume Toce a Candoglia

La stazione idrometrografica del fiume Toce a Candoglia, verso la quale vengono convogliate le precipitazioni che cadono su un bacino la cui estensione è di 1532 km², ha funzionato negli anni dal 1933 al 1970 e dal 1977 al 1982 sotto la gestione del Servizio Idrografico e Mareografico Italiano. Lo strumento utilizzato per la registrazione in continuo delle altezze idrometriche è stato fino al 1979 un idrometrografo con quota dello zero idrometrico posta a 197,99 m s.l.m. e in seguito un idrometro registratore con quota dello zero idrometrico posta a 195,99 m s.l.m. Dal 1988 è entrato in funzione un teleidrometro gestito dal Consorzio del Ticino;

Per l'acquisizione dei dati antecedenti al 1988, disponibili per gli anni dal 1933 al 1970 e dal 1977 al 1982 presso la Sezione di Milano del Servizio Idrografico, si sono riscontrati numerosi problemi legati all'impossibilità di reperire una parte rilevante dei fogli settimanali contenenti le registrazioni corrispondenti agli eventi di piena. Tali periodi sono stati individuati sulla base dei valori delle portate medie giornaliere alla sezione di Candoglia, grazie all'analisi della Parte Seconda degli Annali Idrologici pubblicati dal S.I.M.I. (Ufficio Idrografico di Parma) che coprono un arco temporale che va dal 1933 al 1964.

Quindi per gli anni per i quali sono stati pubblicati i relativi Annali idrologici è stato sufficiente verificarne la completezza limitatamente ai periodi di piena: il verificarsi di questa condizione ha permesso di includere questi anni nello studio.

Per gli anni successivi al 1964, per i quali non sono stati pubblicati gli Annali Idrologici, è stato possibile includere nello studio solo quelli per cui si sono rese disponibili le registrazioni complete; infatti non avendo a disposizione come supporto le informazioni contenute negli Annali Idrologici, non si poteva escludere che nei periodi relativi ai fogli mancanti si fossero verificati eventi di piena (ed anzi è da presumere che risultassero mancanti proprio i fogli relativi agli stati di piena del fiume Toce, così come si era potuto verificare per gli anni precedenti il 1964).

La conversione degli idrogrammi dal supporto cartaceo a quello magnetico è avvenuta mediante una digitalizzazione, effettuata con un passo temporale variabile funzionale alla migliore descrizione dell'andamento dei livelli: infatti le letture in prossimità dei colmi sono state infittite (fino ad un dettaglio di 30 minuti) al fine di ottimizzare la

precisione nella descrizione degli stati di piena. Queste letture vengono poi restituite a scansione oraria adottando una interpolazione lineare.

Come sopra accennato, i dati relativi alle altezze idrometriche del fiume Toce per il periodo dal 26/09/1998 ad oggi sono stati forniti dal Consorzio del Ticino direttamente su supporto magnetico, con scansione oraria fino al 1994 ed al quarto d'ora per gli anni successivi. Anche in questo caso per le elaborazioni sono stati utilizzati idrogrammi a scansione oraria.

A causa delle numerose lacune riscontrate nelle registrazioni disponibili presso il Servizio Idrografico, il numero di anni utilizzabili si è ridotto a 26, non consecutivi dal 1933 al 1998. La fase successiva è stata quella che ha previsto la conversione delle altezze idrometriche in valori di portata utilizzando le scale di deflusso della sezione di Candoglia, reperibili sugli Annali Idrologici per tutti gli anni fino al 1964. Per gli anni successivi è stata adottata la scala di deflusso fornita dal Consorzio del Ticino, valida per il 1991, non avendo a disposizione dati ulteriori e più aggiornati.

In conclusione, anche per il fiume Toce si è giunti a disporre di un file, in cui sono raccolti tutti i 66 eventi di piena utilizzabili dallo studio ordinati cronologicamente e riportati nella seguente Tabella 1.4.2.1

N° Evento	Anno	Inizio evento	N° evento	Anno	Inizio evento
1	1933	21 Giugno	34	1990	16 Ottobre
2	1934	1 Maggio	35	1991	7 Marzo
3	1934	14 Novembre	36	1991	15 Giugno
4	1939	4 Agosto	37	1991	26 Settembre
5	1946	13 Maggio	38	1991	28 Settembre
6	1947	23 Settembre	39	1991	11 Ottobre
7	1955	7 Giugno	40	1992	1 Giugno
8	1957	10 Giugno	41	1992	22 Giugno
9	1958	18 Agosto	42	1992	31 Agosto
10	1958	30 Settembre	43	1992	22 Settembre
11	1958	27 Maggio	44	1992	28 Settembre
12	1962	6 Novembre	45	1992	2 Ottobre
13	1963	3 Novembre	46	1993	20 Maggio
14	1966	11 Ottobre	47	1993	9 Giugno
15	1977	30 Aprile	48	1993	10 Luglio
16	1977	20 Agosto	49	1993	22 Settembre
17	1977	29 Agosto	50	1994	14 Maggio
18	1977	7 Ottobre	51	1994	17 Maggio
19	1978	7 Agosto	52	1994	14 Settembre
20	1979	13 Ottobre	53	1994	23 Settembre
21	1980	16 Ottobre	54	1994	4 Novembre
22	1981	29 Marzo	55	1995	29 Maggio
23	1981	10 Maggio	56	1995	12 Settembre
24	1981	25 Maggio	57	1996	1 Maggio
25	1981	28 Giugno	58	1996	17 Maggio
26	1981	23 Luglio	59	1996	7 Luglio
27	1981	22 Settembre	60	1996	11 Novembre

28	1982	31 Luglio	61	1997	21 Giugno
29	1982	3 Agosto	62	1997	28 Giugno
30	1982	6 Settembre	63	1997	28 Agosto
31	1982	26 Settembre	64	1998	26 Maggio
32	1989	3 Aprile	65	1998	11 Settembre
33	1989	12 Aprile	66	1998	6 Ottobre

Tabella 1.4.2.1-Eventi di piena del fiume Toce rilevati alla stazione di Candoglia e presi in considerazione nello studio.

2. ANALISI STATISTICA DEL DATO

2.1 Distribuzione delle probabilità delle osservazioni

L'attitudine di un dato tipo di legge probabilistica ad interpretare i dati disponibili si può valutare riportando le singole osservazioni su carte speciali, dette carte probabilistiche, nelle quali l'asse delle probabilità di non superamento è deformato in modo tale che la distribuzione per la quale la carta è stata predisposta sia rappresentata da una retta. Per costruire questa carta è necessario trasformare, attraverso un'espressione lineare, la variabile casuale in una variabile ridotta (o standardizzata) u , funzione biunivoca della probabilità di non superamento.

Per verificare se la distribuzione è adatta a rappresentare il campione di dati in esame, è necessario riportare sulla carta probabilistica anche le osservazioni. Assumendo che la frequenza cumulata sia una buona approssimazione della probabilità, la posizione di ogni valore del campione sulla carta probabilistica è definita dalla coppia di coordinate $[x, F(x)]$, dove x è il valore osservato e $F(x)$. L'espressione di $F(x)$ adottata in questo studio è quella di Weibull:

$$F(x_i) = \frac{i}{N+1} \quad (2.1)$$

Una volta attribuita alla probabilità di non superamento di un dato valore del campione la relativa frequenza cumulata, è possibile risalire al valore della variabile ridotta u corrispondente a ciascun valore osservato invertendo la funzione di probabilità e considerando $F(x)$ in luogo di $P_u(u)$, incognito.

La distribuzione di probabilità ben interpreta le osservazioni se queste ultime si allineano sulla retta teorica. Inoltre, la distribuzione più adatta a descrivere le osservazioni è quella a cui corrisponde un allineamento migliore in base al semplice confronto dei grafici.

Una volta stimati i parametri della distribuzione di probabilità è utile introdurre il concetto di tempo di ritorno T del valore x della variabile casuale X : esso è definito come l'intervallo di tempo che mediamente intercorre tra due eventi consecutivi nei quali il valore x viene uguagliato o superato. In altri termini il tempo di ritorno è un indicatore del grado di rarità di un evento. È così possibile, nel caso in esame, individuare il valore della portata al colmo Q che può essere mediamente superato una volta ogni T anni utilizzando ciascuna delle tre diverse distribuzioni di probabilità prospettate nel paragrafo 2.2.

Tale valore è dunque quello con probabilità di non superamento:

$$P(q) = 1 - \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

Invertendo, per le distribuzioni che lo consentono, la $P(q)$ si ottiene la variabile Q in funzione del tempo di ritorno: $q=q(T)$. La distribuzione lognormale presenta una funzione di probabilità cumulata non invertibile; con questa distribuzione occorre utilizzare i valori $P(q)$ tabulati in tutti i testi di statistica o idrologia oppure ricorrere ad inversioni numeriche approssimate.

Qui di seguito sono riportate le espressioni che caratterizzano le tre distribuzioni di probabilità adottate, i risultati ottenuti nella stima dei parametri e l'analisi condotta per valutare il grado di adattamento dei dati osservati alle distribuzioni teoriche.

2.3.1 Distribuzione di Gumbel

La funzione di distribuzione di Gumbel (EV1) è definita dall'espressione

$$P(x) = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - u}{\alpha} \right) \right]; \quad (2.3)$$

introducendo la variabile ridotta

$$Y = \frac{X - u}{\alpha} \quad (2.4)$$

la (2.3) assume la forma canonica:

$$P(y) = \exp [- \exp (- y)] \quad (2.5)$$

La media e lo scarto quadratico medio della (2.5) sono:

$$\mu(Y) = \gamma \approx 0.5772, \quad \sigma(Y) = \frac{\pi}{\sqrt{6}} \approx 1.283 \quad (2.6)$$

dove γ è la costante di Eulero.

Essendo poi

$$\mu(Y) = \mu(X) - \frac{u}{\alpha}, \quad \sigma(Y) = \frac{1}{\alpha} \sigma(X) \quad (2.7)$$

dalla (2.6) si ottiene, risolvendo le (2.7) rispetto a u e α

$$u = \mu(X) - 0.5772\alpha, \quad \alpha = 0.779\sigma(X) \quad (2.8)$$

Invertendo la funzione di distribuzione (2.3) e introducendo il tempo di ritorno

$$T(x) = \frac{1}{1 - P(x)} \quad (2.9)$$

si trova

$$x(T) = u - \alpha \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \quad (2.10)$$

La stima dei parametri della distribuzione (2.3) viene generalmente condotta mediante il metodo dei momenti, sfruttando la (2.8) e sostituendo alla media μ ed allo scarto σ i corrispondenti valori campionari.

Attraverso tale metodologia di calcolo descritta è possibile ricostruire la curva di riduzione delle portate in una data sezione in funzione della serie storica di portate misurate.

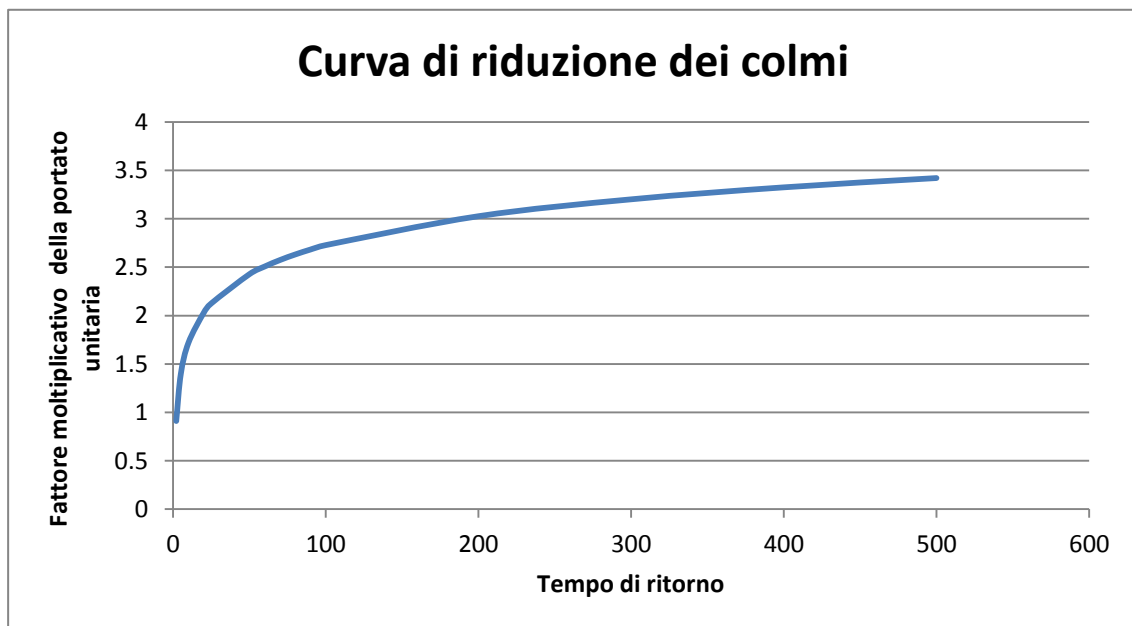


Figura 1 - Curva di riduzione "Gumbel"

3. COSTRUZIONE DEGLI IDROGRAMMI SINTETICI DI ASSEGNATO TEMPO DI RITORNO

3.1 Introduzione

Il metodo più generale per trattare il problema delle modellazioni idrauliche è la definizione di un'onda di piena sintetica di assegnato tempo di ritorno.

Il presente studio, ha fatto riferimento alla metodologia proposta da Maione e Tommirotti: una procedura per la costruzione di idrogrammi sintetici basata sulla determinazione della curva di riduzione dei colmi di piena e sulla individuazione della forma dell'idrogramma a partire dall'analisi delle posizioni assunte dal picco delle onde reali.

Per brevità, ma qualora necessario verranno riprese nell'eventuale studio da presentarsi per approvazione agli enti competenti, si tralasciano le diverse fasi dell'elaborazione con l'esplicazione della procedura eseguita per la definizione dell'idrogramma sintetico unitario.

3.2 Introduzione

Per il Toce le curve di riduzione risultano essere abbastanza piatte ed il rapporto di riduzione delle portate tra la durata 96 ore e la durata 0 ore è pari al 64 %. Inoltre si può notare che alla quarantaduesima ora si ha un flesso nelle suddette curve.

L' espressione di tali curve risulta essere:

$$q_D(T) = \left\{ 0.7521 - 0.4294 \ln \left[-\ln \left(1 - \frac{1}{T} \right) \right] \right\} \mu(Q_D) \quad (3.1)$$

Nella pagina successiva sono riportati gli idrogrammi sintetici ottenuti a partire dalle curve di riduzione.

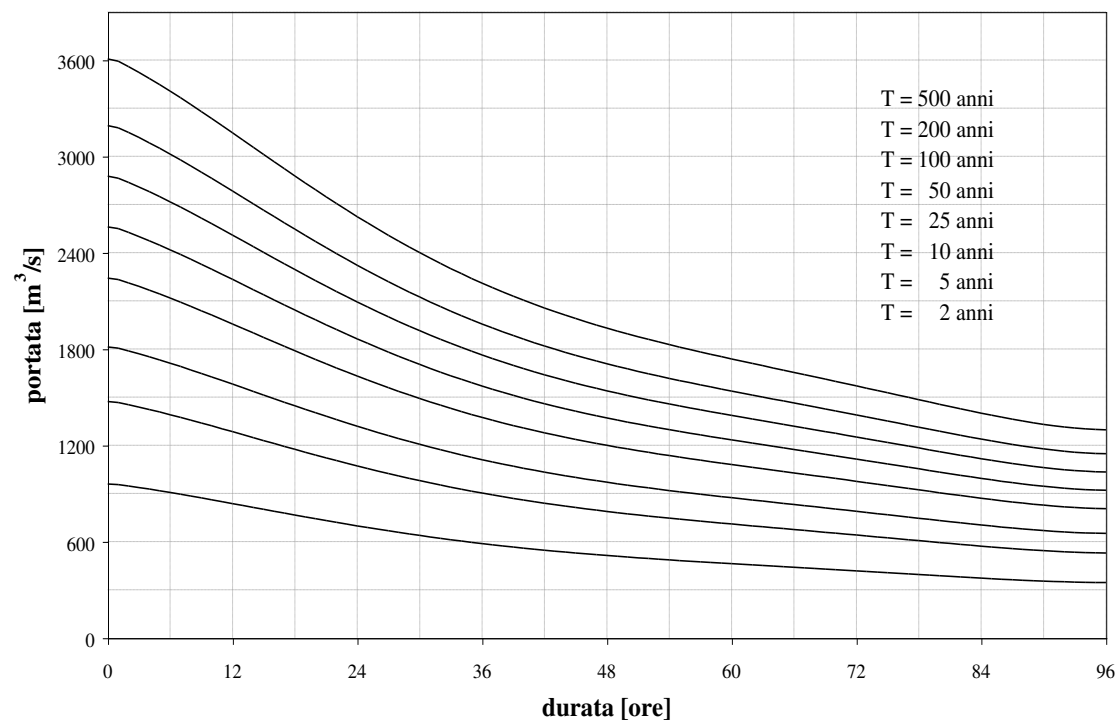


Figura 2 –Curve di riduzione delle portate al colmo per il Toce a Candoglia.

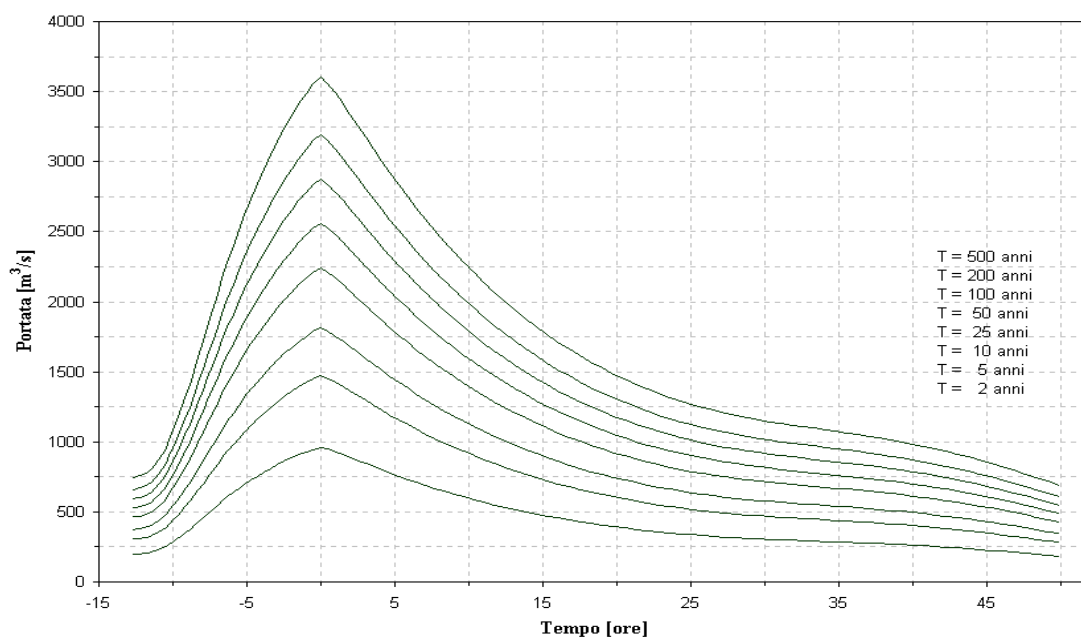


Figura 3 – Idrogrammi sintetici del Toce presso la sezione di Candoglia

4. REGIONALIZZAZIONE DELLA FORMA DEGLI IDROGRAMMI SINTETICI

4.1. Regionalizzazione delle portate al colmo

Il metodo della regionalizzazione permette la determinazione degli idrogrammi sintetici per i bacini per i quali non si dispone di dati idrologici sufficienti per effettuare le elaborazioni viste nel capitolo precedente. In sostanza lo studio si basa sull'individuazione di un legame fra le caratteristiche geomorfologiche del bacino e la forma dell'idrogramma sintetico.

Per quanto riguarda la definizione di una legge regionale per la stima del valore medio di portata al colmo ci si è avvalsi dei risultati conseguiti recentemente nell'ambito degli studi sui metodi di regionalizzazione MG e MGs (Maione; Tomirotti; Beretta).

Nell'ambito di detti studi sono state ricavate diverse formule regionali mediante le quali è possibile ottenere una stima dei valori di $\mu(Q_0)$ a partire dalla conoscenza di alcuni parametri caratteristici del bacino in esame sia di tipo geometrico-morfologico (area sottesa, lunghezza dell'asta principale, altitudine media, pendenza media), sia relative al regime delle precipitazioni (medie spaziali delle medie o degli scarti quadratici medi delle serie almeno ventennali relative alle altezze massime annuali di precipitazione giornaliera dei singoli pluviometri ricadenti nel bacino) sia, infine, legati alla filtrabilità dei suoli (coefficiente di deflusso mensile medio mediato su almeno un ventennio).

Il metodo permette di definire, per sezioni non strumentate, le portate di picco dell'idrogramma unitario attraverso l'interpolazione di dati noti costruiti con il metodo della regionalizzazione attraverso la seguente formulazione:

$$\mu = 3.61 \cdot 10^{-5} A^{0.8} M_h^{2.60} L^{-0.21}$$

i cui esponenti risultano tarati, da parte degli estensori dello studio con particolare riferimento al fiume Toce.

Attraverso tale formulazione, per una serie di sezioni di cui risultano noti i dati geomorfologici (A area sottesa, M_h Media delle massime precipitazioni annuali e L lunghezza dell'asta) si sono determinate le portate lungo l'asta come segue:

Sezione	Mh	L	A	$\mu(Q0)$
	[mm/h]	[Km]	[Kmq]	[mc/sec]
Crevoladossola	104	41.5	768.3	588.9
Domodossola	104.6	43.8	916.4	681.2
Villadossola	105.2	50.7	974.8	704.4
Villadossola	105.8	51.7	1124.3	798.1
Pièdimulera	106.7	57.5	1148.5	811.5
Pièdimulera_2	107.9	58.5	1405	978.1
Candoglia	110.9	72	1532	1078.7

Tabella 1- Portate determinate con una legge regionale del valore medio di portata al colmo

Con i dati a disposizione, determinati attraverso la regionalizzazione, è stato possibile ricostruire, attraverso una interpolazione polinomiale di terzo grado dei dati a disposizione (come segue):

$$\mu(Q0) = a + b \cdot L + c \cdot A + d \cdot L^2 + e \cdot A^2 + f \cdot L^3 + g \cdot A^3$$

la determinazione delle portate in funzione della lunghezza dell'asta, e dell'area sottesa dal bacino nei punti di misurazione.

In questo modo ci si è ricondotti, attraverso i dati a disposizione nelle sezioni di monte (tabella 1) alla definizione della portata sintetica nella sezione di interesse alla piana di fondotoce dove si ricava $\mu(Q0) = 1278.177$.

Attraverso la definizione della portata indice $\mu(Q0)$ e la curva di riduzione dei colmi, è possibile risalire, per ogni tempo di ritorno, alla definizione della portata al picco per il Tr. definito; inoltre attraverso la formulazione di cui al capitolo 3, è possibile definire analiticamente le forme degli idrogrammi a diverso tempo di ritorno nella sezione di interesse.

5. MODELLO DIGITALE DEL TERRENO

I dati topografici derivano dal rilevamento LIDAR sul fiume Toce relativo alla fascia costiera del Lago Maggiore effettuato a cura della Provincia del V.C.O.

I dati a disposizione sono stati gentilmente forniti dall'Ufficio Pianificazione Territoriale della Provincia del Verbano Cusio e Ossola.

L'ente, in virtù della densità di punti rilevata ha realizzato un modello digitale del terreno con maglia di 2x2 m.

Le aree relative all'alveo della parte terminale del fiume Toce, a partire dalla foce sino al ponte ferroviario della linea Milano-Sampione, sono state integrate tramite il rilievo topografico di 20 sezioni trasversali eseguite in parte con rilievo a terra ed in parte con rilievo batimetrico.

Il dato così rappresentato ha permesso l'implementazione nel software della griglia di punti (con coordinate note x,y,z,) sulle quali è stato possibile ricostruire mediante il preprocessore iRIC, mediante un meshatore dedicato la superficie di studio, per la modellazione idraulica bidimensionale.

La mesh del modello è stata costruita con il preprocessore iRIC che implementa al suo interno differenti metodologie di definizione della mesh ad elementi finiti.

Nel metodo agli elementi finiti il dominio di calcolo viene suddiviso in elementi che possono variare in forma e dimensione all'interno dell'area schematizzata. La dimensione degli elementi dipende dalla morfologia e dal dettaglio della soluzione che si vuole ottenere.

Nel caso in esame si è adottata una modellazione della mesh regolare attraverso la definizione di una maglia con dimensione circa 5x5 m.

Il modello 2D è stato costruito per analizzare il comportamento idrodinamico del tratto che si estende dalla sezione a monte del Ponte delle FF.SS. "Milano Domodossola"

La quotatura dei nodi della mesh deriva dall'applicazione delle omologhe quote sul modello LIDAR/ rilievo topografico.

Si è inoltre introdotto, su indicazione dei tecnici regionali, lo scenario in progetto con l'introduzione dell'argine di cui risultano affidati in lavori di esecuzione in sponda destra del fiume Toce in prossimità dell'area denominata "Pianogrande" in Comune di Verbania.

Di seguito si riportano alcune viste del modello realizzato con sovrapposizione sulle planimetrie disponibili.

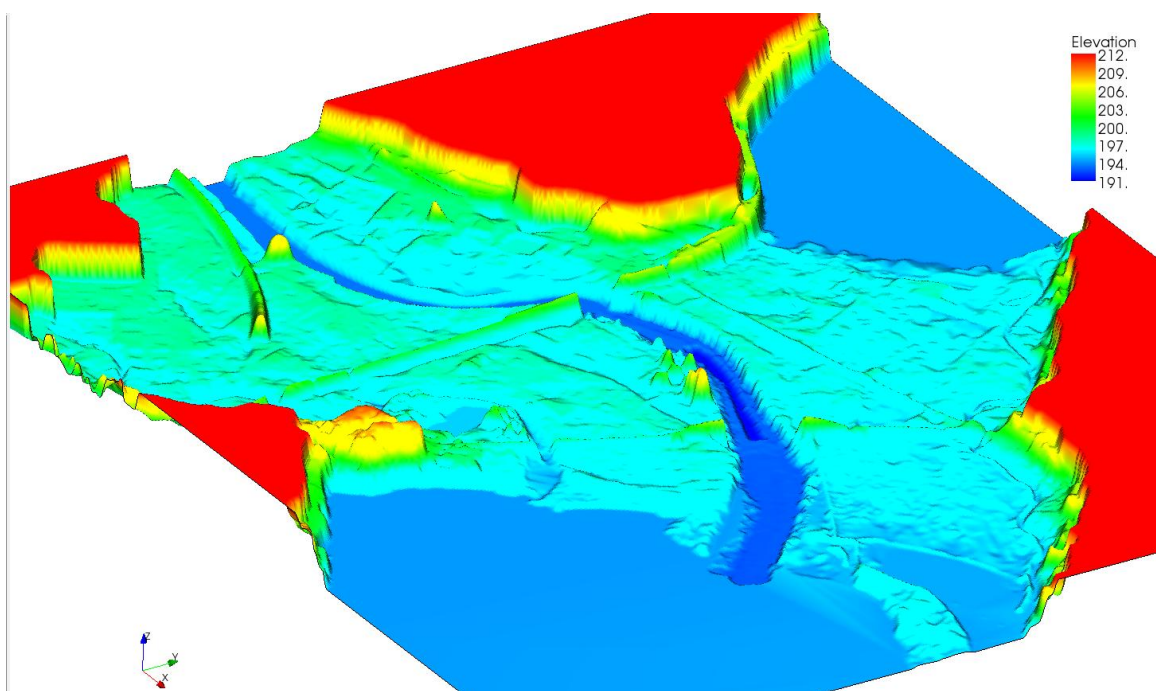




Figura 4 - Vista Modello 2D - su Ortofoto

6. CODICE DI CALCOLO UTILIZZATO NEL MODELLO 2D

Al fine di valutare gli effetti delle portate di piena del fiume Toce sull'area oggetto del presente studio su diversi scenari di Portata Fiume Toce / Livelli Lago Maggiore, è stata svolta un'analisi in condizioni di moto vario bidimensionale utilizzando il codice IRIC.

IRIC fornisce, in un approccio globale, le procedure necessarie alla preparazione preliminare dei dati, alla modellazione idraulica attraverso l'applicazione di solutori specifici ed alla visualizzazione dei risultati.

L'interfaccia altamente flessibile di IRIC permette l'utilizzo di numerosi solutori quali:

- *Fastmech* sviluppato dall 'U.S. Geological Survey
- *Storm* sviluppato dal USGS Geomorphology and Sediment Transport Laboratory
- *Nays2DH* sviluppato dal Professor Yasuyuki Shimizu della Hokkaido University e dal dal Prof. Hiroshi Takebayashi della Kyoto University
- *NaysCUBE* sviluppato dal Prof. Naoki Mukai (Docon Co., Ltd.),dal Prof. Yoshiaki Ishida (Suiko Giken Co., Ltd.) e dal Prof. Ichiro Kimura, PhD (Hokkaido University)
- *Delft3D* della soc. Deltares PPO Box 177 - 2600 MH Delft -The Netherlands

Nel caso in esame si è utilizzato il solutore Nays2d Flood.

Nays2D Flood è un solutore bidimensionale in moto stazionario o vario specifico per lo studio delle aree allagate

Equazioni generali in un sistema di coordinate cartesiane

Le seguenti risultano le equazioni generali in un sistema di coordinate cartesiane prima che vengano abbinate ad un sistema in coordinate curvilinee:

[Equazioni di continuità]

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0$$

[Equazioni del moto]

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -hg \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y$$

Dove:

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad \frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2}$$

$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial(uh)}{\partial y} \right]$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_t \frac{\partial(vh)}{\partial y} \right]$$

Dove:

h = profondità dell'acqua (depth)

t = tempo

u = velocità in direz. X

v = velocità in direz. Y

g = accelerazione di gravità

H = livello idrico (water surface elevation)

τ_x = sforzo tangenziale d'alveo in dir X

τ_y = sforzo tangenziale d'alveo in dir Y

C_f = Coefficiente d'attrito in alveo

ν_t = Viscosità turbolenta (Eddy viscosity)

ρ = densità dell'acqua

6.1 Definizione dei parametri di scabrezza

I parametri di scabrezza utilizzati sono stati stimati in modo analogo a quanto fatto all'interno dello *“Studio di fattibilità della sistemazione idraulica: del fiume Dora Riparia nel tratto da Oulx alla confluenza in Po e del fiume Toce nel tratto da Masera alla foce”*.

La scabrezza del piano del modello è stata valutata definendo per diverse aree omogenee un valore del coefficiente di Strickler $k [m^{1/3} \cdot s^{-1}]$ ed inserita nel programma di calcolo attraverso il coefficiente di Manning $n = 1/k$.

Il calcolo di tale coefficiente, necessario alla determinazione delle perdite di carico distribuite, risulta determinante nella definizione dei livelli idrici stante il legame di tipo $h = \alpha k^{3/5}$, ricavabile nelle ipotesi che le perdite di carico siano calcolate in moto permanente.

Il coefficiente di scabrezza di Manning utilizzato nell'ambito della simulazione effettuata è stato invece stimato pari a $0.04 [m^{1/3} \cdot s^{-1}]$ sia per le sezioni fluviali che per le sezioni di deflusso esterne all'alveo, diverse simulazioni hanno evidenziato come, sotto l'effetto di eventi di piena, viste le velocità ridotte anche in conseguenza all'effetto legato ai livelli del lago, il modello è poco sensibile a variazioni anche significative dei valori di scabrezza.

6.2 Parametri di scabrezza nell'alveo di piena ordinaria

Per la determinazione dei parametri di scabrezza caratteristici dell'alveo di piena ordinaria si è anzitutto fatto ricorso a dati di letteratura e precisamente ci si è riferiti ai seguenti documenti:

- *“Guide for selecting Manning’s roughness coefficients for natural channels and flood plains”* pubblicata da *“United States Geological Survey”*.
- alle tabelle di *“Open Channel Hydraulics”*, Ven te Chow, McGraw Hill International Editions (allegato 1-2) dove il coefficiente di Manning è espresso da:

$n = \text{coefficiente di Manning}$

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5$$

- a quanto indicato nella *“Guide for selecting Manning roughness coefficients for natural channels and flood plains”* della FHWA con particolare riferimento alle granulometrie d'alveo ed alla vegetazione presente nelle zone golenali.
- Tab. 1: metodo per il calcolo del coefficiente di scabrezza n nei corsi d'acqua

Condizioni dell'alveo		Valori	
Materiale costituente l'alveo	Terra	n0	0.020
	Roccia		0.025
	Alluvione grossolana		0.028

	Alluvione fine		0.024
Irregolarità della superficie della sezione	Trascurabile	n1	0.000
	Bassa		0.005
	Moderata		0.010
	Elevata		0.020
Variazione della forma e della dimensione della sezione trasversale	Graduale	n2	0.000
	Variazione occasionalmente		0.005
			0.010-0.015
	Variazione frequente		
Effetto relativo di ostruzioni	Trascurabile	n3	0.000
	Modesto		0.010-0.015
	Apprezzabile		0.020-0.030
	Elevato		0.040-0.060
Effetto della vegetazione	Basso	n4	0.005-0.010
	Medio		0.010-0.025
	Alto		0.025-0.050
	Molto alto		0.050-0.100
Grado di sinuosità dell'alveo	Modesto	m5	1.000
	Apprezzabile		1.150
	Elevato		1.300

- Tab. 2: valori del coefficiente di scabrezza per i corsi d'acqua naturali

Tipologia del corso d'acqua	Strickler $K_s = 1/n \text{ (m}^{1/3} \text{ s}^{-1}\text{)}$
CORSI D'ACQUA MINORI (Raggio idraulico < 2 m; larghezza in piena < 30 m)	
Corsi d'acqua di pianura ◆ alvei con fondo compatto, senza irregolarità ◆ alvei regolari con vegetazione erbacea ◆ alvei con ciottoli e irregolarità modeste ◆ alvei fortemente irregolari	45-40 30-35 25-30 25-15
Torrenti montani a) fondo alveo con prevalenza di ghiaia e ciottoli, pochi grossi massi b) alveo in roccia regolare c) fondo alveo con ciottoli e molti grossi massi d) alveo in roccia irregolare	30-25 30-25 20-15 20-15
CORSI D'ACQUA MAGGIORI (Raggio idraulico < 4 m; larghezza in piena > 30 m)	
sezioni con fondo limoso, scarpate regolari a debole copertura erbosa	45-40
sezioni in depositi alluvionali, fondo sabbioso, scarpate regolari a copertura erbosa	35
sezioni in depositi alluvionali, fondo regolare, scarpate irregolari con vegetazione arbustiva e arborea	25-30
in depositi alluvionali, fondo irregolare, scarpate irregolari con forte presenza di vegetazione arbustiva e arborea	20-25

AREE GOLENALI (Raggio idraulico < 1 m)	
• a pascolo, senza vegetazione arbustiva • coltivate • con vegetazione arbustiva spontanea • con vegetazione arborea coltivata	40-20 50-20 25-10 30-20
Alveo artificiale in terra	
• materiale compatto, liscio • sabbia compatta, con argilla o pietrisco • sabbia e ghiaia, scarpata lastricata • ghiaietto 10-30 mm • ghiaia media 20-60 mm • ghiaia grossa 50-150 mm • limo in zolle • grosse pietre • sabbia, limo o ghiaia, con forte rivestimento vegetale	60 50 50-45 45 40 35 30 30-25 25-20
Alveo artificiale in roccia	
• con lavorazione accurata • con lavorazione media • con lavorazione grossolana	30-25 25-20 20-15
Alveo artificiale in muratura	
• muratura in pietra da taglio • muratura accurata in pietra da cava • muratura normale in pietra da cava • pietre grossolanamente squadrate • scarpate lastricate, fondo in sabbia e ghiaia	80-70 70 60 50 50-45

6.3 Parametri di scabrezza nel Modello 2D

Il coefficiente di Manning rappresenta una misura globale di tutte le perdite di carico generate da diversi fattori:

- variazione della quantità di moto nella sezione trasversale;
- scabrezza dell'alveo;
- presenza di vegetazione;
- le variazioni di direzione del canale centrale;
- cambiamenti in forma e dimensioni della sezione trasversale;

La valutazione del coefficiente di Manning n è molto più complessa di una semplice conversione 1D - 2D.

Ovviamente un modello 2D tiene intrinsecamente conto di meandri nei fiumi e della natura variabile del flusso all'interno di una sezione trasversale, in ogni caso, in letteratura, raramente si trovano valori 2D calibrati del coefficiente di Manning paragonabili alla lista completa dei valori in Chow (1959).

Altri parametri che entrano in gioco nei modelli bidimensionali sono rappresentati dall'effetto scala della mesh e dalla specificità dell'algoritmo adottato nel software utilizzato.

(v. ad es: Fewtrell, T.J., Bates, P.D., Horritt, M., and Hunter, N.M. (2008) *Evaluating the effect of scale in flood inundation modelling in urban environments*. Hydrological Processes. 22. pp. 5107-5118.

Horritt, M.S. and Bates P.D. (2002) *Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation*. Journal of Hydrology. 268(1-4). pp. 87-99.

Yu, D. and Lane, S. N. (2006) *Urban fluvial flood modelling using a two-dimensional diffusion-wave treatment, part 1: mesh resolution effects*. Hydrological Processes. 20. pp. 1541-1565.)

Per tutto ciò altri autori hanno invece messo in evidenza come il coefficiente di scabrezza, pur dipendendo dalle grandezze sopra descritte, debba essere considerato come un mero coefficiente di calibrazione.

Ne consegue che la calibrazione di tali coefficienti possa in alcuni casi portare all'adozione di valori di scabrezza non fisicamente giustificabili per la realtà di studio

6.4 Condizioni al contorno utilizzate

La definizione dei modelli di Studio è stata implementata in accordo con lo Studio Geologico GEA Dott. Anna Cristina e Dott. Stefano Fardelli, in particolare concordemente si sono definiti n. 4 scenari come di seguito illustrati:

Condizione 1 - Evento di Toce - Tr 200 - TAV A:

In questa simulazione si è preso in considerazione l'evento più gravoso in termini di portate del fiume Toce con Tr pari a 200 anni, $Q = 3870$ mc/s contestualmente si è considerata una condizione al contorno di lago che partendo da una quota pari a 194.50 cresca durante l'evento di piena, con un andamento analogo a quello osservato in corrispondenza degli eventi misurati, fino alla quota massima di 198.50. In corrispondenza del picco di portata del Fiume Toce, a circa 30 ore dall'inizio dell'idrogramma, corrisponde un livello del lago Maggiore pari a 197,43 cm.

Di questo evento si sono redatte planimetrie di battenti e di velocità a diversi tempi di simulazione al fine di fornire una più completa visione della evoluzione dell'evento nel tempo. In particolare si è "fotografato" l'evento alle seguenti portate di Toce :

Q. 1500 mc/s - Tavole A/1 e A/2;

Q. 2000 mc/s - Tavole A/3 e A/4;

Q. 2500 mc/s - Tavole A/5 e A/6;

Q. 2800 mc/s - Tavole A/7 e A/8;

Q. 3100 mc/s - Tavole A/9 e A/10;

Q. 3400 mc/s - Tavole A/11 e A/12;

Q. 3870 mc/s - Tavole A/13 e A/14;

Condizione 2 - Evento "Estivo" Toce - "Breve ed Intenso" con Lago basso TAV B/1 e B/2:

Questo secondo scenario simula un possibile evento estremo di tipo estivo, con curva di crescita delle portate molto rapida e portata al picco pari a 2320 mc/s, contestualmente si è considerata una condizione al contorno di lago basso che cresce (secondo il medesimo andamento misurato nell'evento 1978) da quota 194,00 a quota 195,50, per la definizione e la scelta delle condizioni si rimanda, in questa simulazione, alla relazione di fattibilità Geologica redatta dallo Studio GeA.

Condizione 3 - Evento di Toce - Tr 20 con Lago alto Tr100 TAV C/1 e C/2:

Questo terzo scenario ipotizzato vuole valutare gli effetti in termini di battenti idrici e di gradienti di velocità dello di un evento fluviale con tempo di ritorno pari a 20 anni in concomitanza con un ipotetico scenario con la quota del lago maggiore a 198,25 (Tr 100 anni) e portate del fiume Toce con Tr pari a 20 anni (circa 2600 mc/s al picco). Negli elaborati grafici si riportano i massimi battenti e dei gradienti di velocità al picco di portata del Fiume Toce

Condizione 4 - Piena di Lago - Tr 200 - TAV D/1 e D/2:

In questa simulazione si è preso in considerazione l'evento più gravoso in termini di battenti idrici lacuali ponendo la quota del livello del lago pari a 198,71.

Contestualmente si è considerato un evento del fiume Toce con portata costante durante la simulazione posta pari a 600 mc/s.

7. BACK-ANALYSIS DELL'EVENTO ALLUVIONALI 2000

Per la validazione dei modelli idraulici è stata infine redatta una back-analysis sugli effetti dell'eventi alluvionale del ottobre 2000, tale da verificare la coerenza dei risultati ottenuti nella modellazione con le marche di piena osservate durante l'evento.

Per tale evento i dati a disposizione è stati gentilmente forniti:

– Da ARPA Piemonte:

Evento 13-18 ottobre 2000:

- ♦ Elaborazione dell' idrogramma di piena del Fiume Toce nella sezione di Candoglia

– Da C.N.R. Pallanza:

- ♦ Curva dei livelli del Lago Maggiore durante l'evento di piena dell'Ottobre 2000;

L'analisi è stata svolta ottenendo, mediante regionalizzazione, la traslazione dell'idrogramma misurato alla sezione di interesse per tenere conto della presenza, a valle dell'idrometrografo di Candoglia, dell'apporto significativo del bacino del Torrente Strona, in questo modo si è ricostruito un idrogramma traslato con portata al colmo pari a 3117 mc/s in corrispondenza di un livello del lago Maggiore pari a 197.43 m.s.l.m.

Si riportano nell'elaborato grafico E/1 e E/2 rispettivamente le planimetrie dei battenti che delle velocità al colmo che risultano perfettamente allineate alle misure effettuate durante l'evento di piena e riportate negli elaborati grafici di pianificazione (Piano Regolatore Generale EA4).

8. MODELLAZIONE MORFODINAMICA

L'arretramento di una sponda fluviale coinvolge vari processi che agiscono in stretta combinazione tra loro. In particolare nelle porzioni medio – basse del bacino, dove sono dominanti gli alvei alluvionali mobili, l'arretramento è generalmente guidato da una combinazione di forze idrauliche, legate all'azione della corrente fluviale, e movimenti di massa, dovuti all'azione della gravità.

E' infatti ben chiaro che, per una larga estensione dei tratti alluvionali mobili presenti nel bacino idrografico, i fattori idraulici e geotecnici sono entrambi importanti al punto che nessuno dei due può essere trascurato. Ciò è importante non solo nel senso che entrambi i processi devono essere quantificati, ma anche nel senso che è necessario tener conto della loro interazione reciproca.

La modellazione delle interazioni tra processi idraulici e geotecnici può portare a previsioni con risultati sensibilmente differenti (in termini ad esempio di meccanismi e tempi di innesco dei singoli processi e di modalità con cui i sedimenti derivanti riforniscono il trasporto solido del fiume) rispetto al caso in cui questi processi vengono modellati isolatamente.

Il codice Nays2dH può essere utilizzato per un approccio ad un'analisi morfologica del tratto fluviale in oggetto ed in particolare studiarne i processi di erosione dei banchi fluviali e di collasso spondale.

L'entità dell'erosione dei banchi fluviali, causata dall'asportazione dei sedimenti, e la relativa evoluzione della geometria d'alveo è stimata tramite la seguente equazione:

$$der = \pm \frac{1}{1 - \lambda} \frac{\tilde{q}_b^\eta}{\eta_r B_h} \Delta t + \frac{\Delta z}{\tan \theta_c}$$

dove der rappresenta l'entità dell'erosione dei banchi fluviali o di sponda, Δz è l'evoluzione d'alveo presso il banco, B_h è l'altezza del banco e Δt è il passo di calcolo temporale.

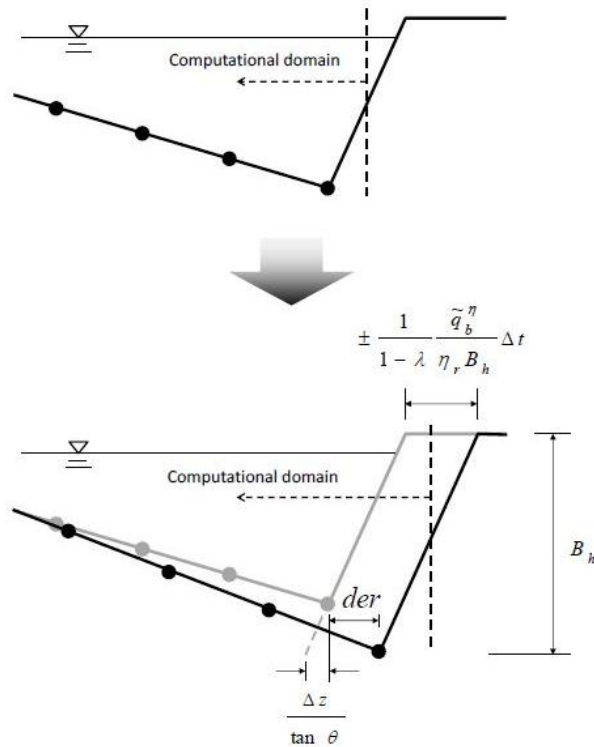


Figura 5 - Diagramma concettuale del calcolo dell'erosione in banco

Il modello calcola l'evoluzione del profilo d'alveo utilizzando le equazioni di Exner

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{c_b E_b}{J} \right) + (1 - \lambda) \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z}{J} \right) + \left[\frac{\partial}{\partial \xi} \left(\frac{q_b^s}{J} \right) + \frac{\partial}{\partial \eta} \left(\frac{q_b^n}{J} \right) + \frac{q_{su} - w_f c_b}{J} \right] = 0 \quad \dots \quad E_{sd} \geq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda}$$

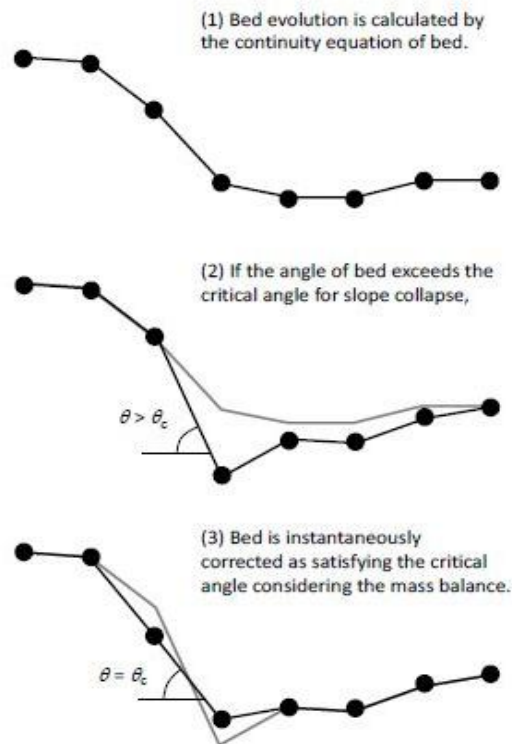
$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{z}{J} \right) = 0 \quad \dots \quad E_{sd} \leq E_{be} \frac{c_b}{1 - \lambda}$$

In alcuni casi, tuttavia, tale metodologia può risultare non conservativa in quanto gli angoli d'equilibrio ricavati dall'analisi possono risultare maggiori dell'angolo d'attrito interno dei materiali costituenti le sponde.

Nays2dh adotta inoltre un semplice schema metodologico di equilibrio spondale.

Il modello assume che, se la pendenza di fondo calcolata, supera il valore dell'angolo d'attrito interno (definito dall'utente), il valore relativo a tale angolo è immediatamente corretto ripristinando una pendenza pari all'angolo d'attrito interno.

Nella sottostante figura è illustrato lo schema del modello di collasso.



Nei modelli elaborati si sono effettuate delle simulazioni con portata a rive piene "full bank" costante pari a 1500 mc/s di durata 10 ore, introducendo i parametri dei materiali d'alveo desunti dalle granulometrie eseguite dallo Studio GEA e la relativa caratterizzazione geotecnica.

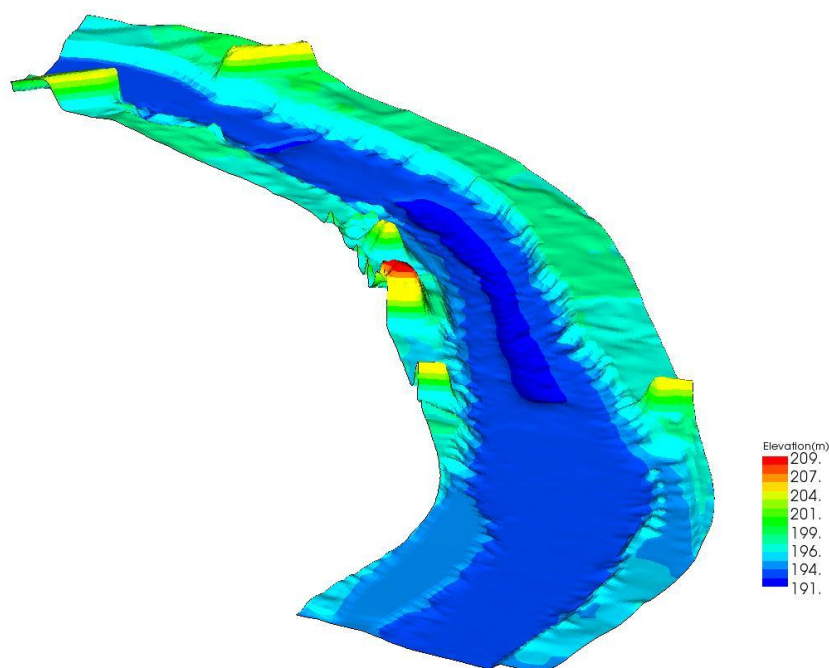


Figura 6 - Modello 3D per analisi morfologica

Nelle simulazioni realizzate non si sono riscontrati significativi fenomeni di erosione spondale a carattere globale, si evidenziano solo localizzate zone in erosione ed in deposito riportate negli elaborati grafici F/1 e F/2 dove sono illustrati i risultati delle simulazioni anche in termini di azioni taglienti (shear stress), di numero di Froude e velocità dei flussi. Si può osservare come le azioni di taglio e conseguentemente gli effetti erosivi risultano molto limitati sulle sponde fluviali mentre sono significativamente maggiori all'interno dell'alveo inciso dove, anche dalle rilevazioni dei modelli idrodinamici si riscontrano velocità significativamente maggiori.

Tale risultato, che nella sostanza conferma quanto espresso anche in relazione geologica circa la sostanziale stabilità dell'alveo nel tratto compreso tra il ponte della linea Ferroviaria Milano Domodossola e quello della bretella di collegamento tra la S.S.33 del sempione e la S.S.34 del Lago Maggiore, è strettamente connesso sia alla presenza di un alveo ben inciso sia a ben precisi vincoli in sponda sinistra e a lato delle spalle dei ponti ferroviario e stradale sulla SS.n.34 consistenti in difese spondali con massi sciolti alla rinfusa.

Appare comunque importante segnalare che, dalle evidenze dei rilievi effettuati, si è constatato l'innalzamento medio del talweg di oltre un metro (in alcuni punti anche in misura significativamente maggiore) rispetto ai rilievi successivi all'evento dell'ottobre 2002.

Qualora dovesse verificarsi il persistere di tale tendenza, non è da escludersi l'instaurarsi di fenomeni erosivi diversi da quelli oggetto della presente modellazione che fa riferimento alle sezioni esistenti.

Secondo tale logica, se ritenuto necessario in fase di approfondimento, si potranno realizzare modelli sia a carattere idrodinamico, sia a carattere morfologico ipotizzando una condizione di partenza diversa da quella attuale (es. alveo sovralluvionato con quote maggiori) da condividere preventivamente con gli enti interessati, andando ad analizzare in tali condizioni sia le modifiche in termini di gradienti e battenti idraulici sia la dinamica di arretramento di sponda attraverso un approccio integrato di modellazione.

9. INTEGRAZIONE A SEGUITO DI RICHIESTA - REGIONE PIEMONTE

A seguito della convocazione di conferenza preliminare in data 26/07/2017 la Regione Piemonte ha avanzato con propria nota *prot.40768/2017 del 21/09/2017* la richiesta che la documentazione relativa alla modellazione idraulica bidimensionale della tratta in oggetto tenesse conto degli interventi di futura realizzazione in sponda destra del fiume Toce a monte del rilevato ferroviario a protezione dell'area industriale del Comune di Verbania nella tratta compresa tra la confluenza tra il Torrente Strona ed il fiume Toce e il rilevato ferroviario; Si è pertanto proceduto ad integrare i modelli esistenti con tale nuova geometria al fine di valutare l'effetto di piene sull'area in oggetto anche a seguito della realizzazione di tale intervento già approvato ed appaltato;

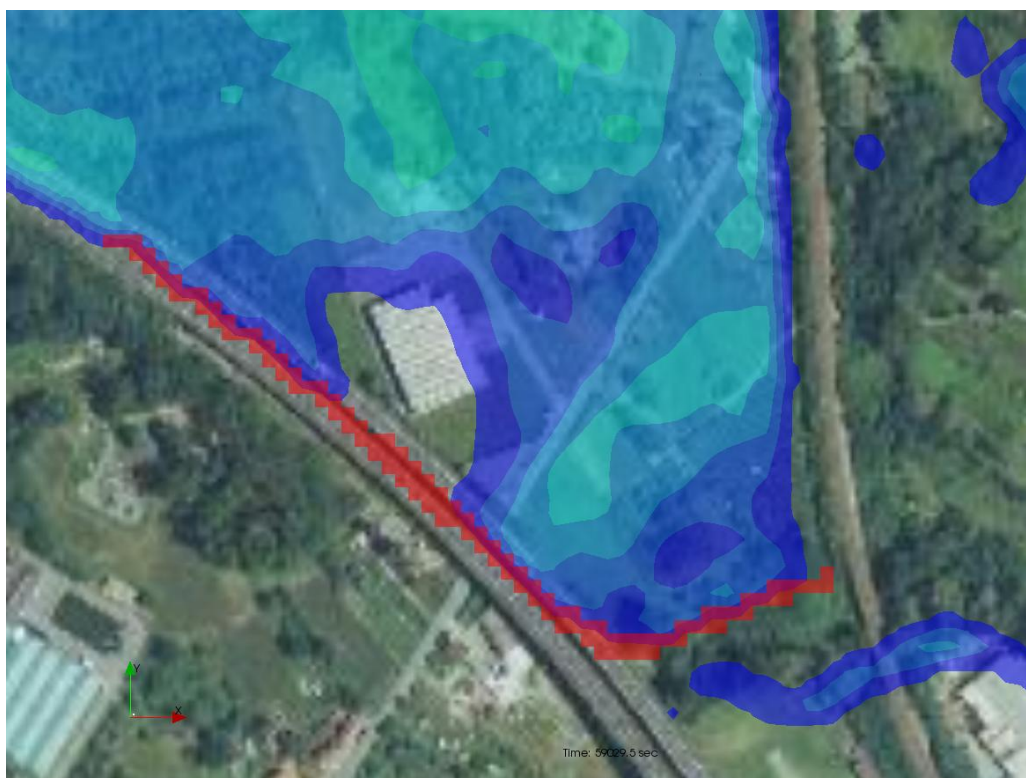


Figura 7 - Modellazione Argine in realizzazione - (AIPO TO-IS-09)

L'immagine sopra riportata illustra, a livello di modellazione, l'inserimento dell'argine di collegamento tra il rilevato autostradale e quello ferroviario previsto nel progetto in realizzazione.

Negli elaborati allegati alla presente relazione sono riportati i risultati delle modellazioni ottenuti con le medesime condizioni al contorno di cui al capitolo 6.4 effettuate con la nuova geometria d'alveo che tiene conto della realizzazione di argine in sponda destra;

Come rilevabile dal confronto tra gli elaborati aggiornati e quelli precedentemente prodotti, le differenze, a seguito dell'introduzione dell'argine, non risultano apprezzabili se non per le aree direttamente protette dall'argine medesimo e quelle ad esse prospicienti;

Le differenze in termini di battenti e di gradienti di velocità ***sull'area oggetto di studio non risultano apprezzabili*** a seguito della presente integrazione.