



Studio Geoconsult di dr Marco Belloli
Via F.lli Bandiera,2 - 24048 Treviolo (Bergamo) Tel- fax 035-692278
Email studiogeoconsult@libero.it



COMUNE DI: SABBIO CHIESE
PROVINCIA DI: BRESCIA
COMMITTENTE: SEGHERIA MARCHESI GIANLUIGI

OGGETTO:

RELAZIONE IDRAULICA



DATA: OTTOBRE 2010

1.0 Caratterizzazione geometrica del bacino e stima di CN (Curve Number).

La delimitazione del bacino del torrente Vrenda è stata condotta sulla base della Carta Tecnica Regionale in scala 1:10000 della Regione Lombardia (tavole d5d3, d5d4, d5c4, d5c3). Segue l'elenco delle grandezze geometriche stimate, necessarie per le successive elaborazioni:

Area del bacino (kmq)	=31,7
Lunghezza dell'asta principale (estrapolata allo spartiacque) (km)	=11,4
Quota della sezione di chiusura (inizio tratto d'alveo verificato) (m)	=290 s.l.m.
Quota massima del bacino (m)	=850 s.l.m.
Pendenza media dell'alveo del corso d'acqua (%)	=4,9

La stima del parametro CN (Curve Number), sulla base del quale verranno valutate le precipitazioni efficaci e il coefficiente di afflusso del bacino in esame, è stata condotta con il metodo proposto dal Soil Conservation Service (1972).

Il parametro CN è funzione della permeabilità della litologia superficiale, dell'uso del suolo e del grado di saturazione del terreno prima dell'evento meteorico. Per quanto riguarda quest'ultima variabile, il procedimento SCS richiede come input l'altezza complessiva di pioggia caduta nei cinque giorni precedenti l'evento meteorico preso in esame, definendo tre categorie di umidità:

AMC	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 13 mm	< 36 mm
II	13 - 28 mm	36 - 53
III	> 28 mm	> 53 mm

I termini 'stagione di riposo' e 'stagione di crescita' si riferiscono alla vegetazione; va cioè considerato in quale periodo dell'anno, in relazione alla fase di crescita della vegetazione, si è verificato l'evento meteorico esaminato.

In base alla classe di umidità scelta vengono definiti i corrispondenti valori di CN, rispettivamente CN_I, CN_{II} e CN_{III}.

Ricadendo nella categoria di umidità II, è possibile ricavare i valori di CN_{II} nel bacino ricorrendo alla seguente tabella:

USO DEL SUOLO			LITOLOGIA SUPERFICIALE			
Tipo	Trattamento	Drenaggio	A	B	C	D
Arato	Linee rette	-----	77	86	91	94
Coltivazione per fila	“	Povero	72	81	88	91
	“	Buono	67	78	85	89
	Isoipse	Povero	70	79	84	88
	“	Buono	65	75	82	86
	terrazzato	Povero	66	74	80	82
	“	Buono	62	71	78	81
Graminacee allo stato iniziale	Linee rette	Povero	65	76	84	88
	“	Buono	63	75	83	87
	Isoipse	Povero	63	74	82	85
	“	Buono	61	73	81	84
	terrazzato	Povero	61	72	79	82
	“	Buono	59	70	78	81
Seminativo intenso o prateria	Linee rette	Povero	66	77	85	89
	“	Buono	58	72	81	85
	Isoipse	Povero	64	75	83	85
	“	Buono	55	69	78	83
	terrazzato	Povero	63	73	80	83
	“	Buono	51	67	76	80
Pascolo	Linee rette	Povero	68	79	86	89
	“	Medio	49	69	79	84
	“	Buono	39	61	74	80
	Isoipse	Povero	47	67	81	88
	“	Medio	25	59	75	83
	“	Buono	6	35	70	79
Prato	-----	Buono	30	58	71	78

Bosco	-----	Povero	45	66	77	83
	-----	Medio	36	60	73	79
	-----	Buono	25	55	70	77
Fattoria	-----	-----	59	74	82	86
Centri commerciali	-----	-----	89	92	94	95
Distretti industriali	-----	-----	81	88	91	93
Area residenziale	65% impermeabile	-----	77	85	90	92
“	38% impermeabile	-----	61	75	83	87
“	30% impermeabile	-----	57	72	81	86
“	25% impermeabile	-----	54	70	80	85
“	20% impermeabile	-----	51	68	79	84
Parcheggi pavimentati	-----	-----	98	98	98	98
Strade	asfaltate	-----	98	98	98	98
“	con fondo in ghiaia	-----	76	85	89	91
“	con fondo in terra battuta	-----	72	82	87	89

Le classi litologiche A, B, C e D sono espressione del grado di permeabilità dei depositi superficiali, secondo la seguente tabella:

Classe litologica	Permeabilità
A	Alta
B	Media
C	Bassa
D	Nulla

Nell'ipotesi che l'evento meteorico esaminato ricada nelle condizioni di umidità I o III, per ricavare i corrispondenti valori di CN_I e CN_{III} vanno utilizzate le seguenti correlazioni con CN_{II} :

$$CN_I = CN_{II} / (2.3 - 0.013 \times CN_{II});$$

$$CN_{III} = CN_{II} / (0.43 + 0.0057 \times CN_{II}).$$

Utilizzando come base fotografica di riferimento le ortofotografie aree della Regione Lombardia (volo 2007), si è ricavato il seguente schema:

USO DEL SUOLO			LITOLOGIA SUPERFICIALE			
Tipo	Trattamento	Drenaggio	A	B	C	D
Pascolo	Linee rette	Medio	49	69	79 x 10,4 kmq	84
Prato	-----	Buono	30	58	71x 15,9 kmq	78
Bosco	-----	Medio	36	60	73 x 2,9 kmq	79
Area residenziale	38% impermeabile	-----	61	75	83 x 2,5 kmq	87

Il valore di CN_{II} totale è quindi dato da:

$$CN_{II} = (79 \times 10,4 + 71 \times 15,9 + 73 \times 2,9 + 83 \times 2,5) / 31,7 = 74,8;$$

Considerando la distribuzione stagionale delle precipitazioni nell'area in esame si è ipotizzato che gli eventi meteorici di riferimento si verificano durante la stagione di crescita (primavera-estate), e che nei 5 giorni precedenti non si siano verificate precipitazioni meteoriche con altezze superiori a 53 mm. Quest'ultimo dato infatti, come si vedrà nel paragrafo 1.3, è prossimo a quello che si avrebbe per eventi meteorici con tempo di ritorno di 50 anni e quindi eccessivamente penalizzante.

2.0 Stima del tempo di corrivazione del bacino con il metodo S.C.S..

Per tempo di corrivazione s'intende il tempo necessario, perchè le acque di afflusso meteorico raggiungano la sezione di chiusura del bacino, rispetto alla quale viene eseguito il calcolo della portata di massima piena, partendo dallo spartiacque. Questo parametro è una costante per ogni bacino, in quanto funzione esclusivamente della morfologia, delle litologie affioranti e della copertura vegetale. Un'indicazione dell'ordine di grandezza di τ_c può essere ottenuto dividendo la lunghezza totale dell'asta principale per un fattore compreso fra 1 e 2:

$$\tau_c (s) = L / (1 \text{ o } 2) \text{ (L in metri).}$$

Il tempo di corrivazione, noto il valore di CN (Curve Number), può essere valutato con la seguente relazione:

$$\tau_c (\text{min}) = \frac{100L^{0.8} \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900S_a^{0.5}}$$

dove :

L (ft) = lunghezza del corso d'acqua principale esteso fino allo spartiacque;

CN = Curve Number del bacino;

S_a (%) = inclinazione media del corso d'acqua principale.

Inserendo i dati ricavati in precedenza, si ottiene:

$$\tau_c = 304,2 \text{ min} = 5,07 \text{ ore.}$$

3.0 Calcolo delle precipitazioni meteoriche di riferimento.

Le curve che descrivono l'altezza delle precipitazioni (h) in funzione della loro durata (t) prendono il nome di *curve segnalatrici di possibilità climatica o pluviometrica*. L'equazione che collega queste due variabili ha la seguente forma:

$$h \text{ (mm)} = a t^n = a_1 w_T t^n$$

dove a_1 = altezza di precipitazione con $t=1$ ora e tempo di ritorno $T=1$ anno;
 w_T = fattore di frequenza in funzione del tempo di ritorno T scelto;
 n = fattore di scala in funzione della durata dell'evento meteorico.

Nell'area in esame, bacino del torrente Vrenda, per tempi di ritorno uguali a 50 e 100 anni, si può porre:

a_1	=27,76543
w_{50}	=1,77183
w_{100}	=1,957289
n	=0,34103739

(fonte dati: A.R.P.A. Lombardia)

Poichè per la valutazione delle portate di massima piena verrà impiegata la formula razionale, in cui si suppone che l'evento meteorico che conduce al valore massimo di portata è quello per cui $t \geq \tau_c$ (tempo di corrivazione), il calcolo delle piogge di progetto verrà eseguito ponendo:

$$t = \tau_c = 5,07 \text{ ore}$$

Nel caso in esame, per tempi di ritorno di 50 e 100 anni, si sono ottenute le seguenti altezze lorde di precipitazione.

Tempo di ritorno (anni)	h(mm)
50	85,6
100	94,5

Si è proceduto quindi alla stima del coefficiente di ragguglio. Si tratta di un fattore moltiplicativo, variabile da 0 a 1, che serve a tenere conto del fatto che l'altezza di precipitazione tende a diminuire all'aumentare dell'area interessata dall'evento meteorico. L'altezza di precipitazione misurata dalla stazione pluviometrica è infatti un dato puntuale e va quindi corretto in funzione dell'area sulla quale si considera distribuito l'evento piovoso.

Si è utilizzato il metodo semplificato proposto da Desbordes et Alii (1982), basato sulla relazione:

$$R = (100A)^{-0.05}$$

dove A è l'area del bacino espressa in kmq.

Calcolato il coefficiente di ragguglio R, l'altezza di precipitazione raggugliata viene stimata attraverso la relazione:

$$h_r = hR .$$

Nel caso in esame, con $A=31,7 \text{ km}^2$, si è ottenuto un coefficiente di ragguglio uguale a:

$$R = (100A)^{-0.05} = (100 \times 31,7)^{-0.05} = 0,67$$

Le altezze di pioggia raggugliate sono le seguenti:

Tempo di ritorno (anni)	h_r (mm)
50	57,3
100	63,3

4.0 Stima delle portate di massima piena al colmo.

In assenza di stazioni di misura idrometriche in prossimità delle sezioni d'alveo di calcolo, si è proceduto alla stima delle portate di massima piena al colmo con un approccio cinematico, utilizzando la formula razionale, che ha la seguente espressione:

$$Q_{\max} (mc/s) = 0.278 \frac{c_a h A}{\tau_c}$$

dove:

Q_{\max} (mc/s) = portata di massima piena al colmo per un dato tempo di ritorno;

c_a = coefficiente di afflusso;

A (kmq) = area del bacino;

h (mm) = altezza di precipitazione ragguagliata riferita a τ_c per un dato tempo di ritorno;

τ_c (h) = tempo di corrivazione.

L'unica incognita nella relazione è il coefficiente di afflusso del bacino, definibile come il rapporto fra l'altezza di precipitazione meteorica efficace e quella lorda:

$$c_a = h_e/h$$

L'altezza di precipitazione efficace, cioè la frazione di pioggia che contribuisce alla formazione del deflusso superficiale, si può ottenere dalla seguente formula:

$$h_e = (h - I_a)^2 / (h - I_a + S);$$

dove: h = altezza di precipitazione lorda (mm);
 I_a = assorbimento iniziale (mm);
 S = volume specifico di saturazione (mm).

La grandezza I_a rappresenta la quantità d'acqua meteorica assorbita inizialmente dal terreno e dalla vegetazione: fino all'istante in cui non si ha $P > I_a$ il deflusso superficiale è da ritenersi praticamente assente.

Il parametro S corrisponde al volume idrico trattenuto dal terreno e dalla vegetazione, e quindi sottratto al deflusso superficiale, dopo l'istante in cui si ha $P > I_a$: mentre I_a assume un valore costante, S cresce nel corso dell'evento meteorico fino a raggiungere un valore massimo.

La grandezza S può essere valutata con l'espressione:

$$S \text{ (mm)} = 254 \times [(100 / CN) - 1];$$

Il parametro I_a a sua volta può essere correlato a S attraverso la formula:

$$I_a = c \times S;$$

dove c è un coefficiente di valore variabile fra 0.1 e 0.2, ma mediamente posto uguale a 0.15.

Ponendo $CN = 74,8$ (vedi paragrafo 1.1) si ottiene:

$$S \text{ (mm)} = 254 \times [(100 / 74,8) - 1] = 85,57$$

$$I_a = c \times S = 0,15 \times 85,57 = 12,84.$$

Con questi dati si possono ricavare i valori di h_e e di c_a in funzione del tempo di ritorno scelto e i relativi valori di portata di massima piena:

Tempo di ritorno (anni)	h_r (mm)	h_e (mm)	c_a	Q (mc/s)
50	57,3	15,2	0,265	26,4
100	63,3	18,7	0,296	32,5

5.0 Verifica della sezione d'alveo in condizioni di moto permanente.

Nel caso di una verifica in condizioni di moto permanente, si suppone che la linea piezometrica abbia un'inclinazione differente rispetto a quella dell'alveo. Nel caso di un corso d'acqua a portata costante , cioè senza immissioni o perdite significative nel tratto verificato, il procedimento è quello descritto di seguito.

- 1) Si fissa la portata di piena di riferimento per la quale effettuare la verifica della sezione.
- 2) Si individuano le sezioni di verifica e di controllo, poste ad una distanza l'una dall'altra ΔX . La sezione di controllo è quella, per la quale deve essere nota l'altezza idrometrica per la portata di calcolo o in cui si abbia una situazione di altezza critica. Si ha una condizione di altezza idrometrica critica, quando una determinata portata passa con la minima energia rispetto al fondo (situazione che si ha per esempio in corrispondenza di un salto di fondo). In quest'ultimo caso l'altezza idrometrica è ricavabile utilizzando la relazione:

$$\alpha_c \frac{Q^2 b}{g A^3} = 1$$

dove:

- Q(mc/s) = portata del corso d'acqua;
 b(m) = larghezza dell'alveo;
 g(m/s²) = accelerazione di gravità = 9.81;

A (mq) = area della sezione liquida;
 α_c = coefficiente di Coriolis.

Il coefficiente di Coriolis deve essere calcolato con la seguente formula:

$$\alpha_c = \frac{A_{tot} \sum_{i=1}^n \frac{C_i^3}{A_i^2}}{C_{tot}}$$

in cui:

n = numero punti del profilo della sezione –1
 A_i = area della sezione liquida compresa fra il punto (i) e il punto (i+1) della sezione;
 C_i = capacità di portata dell'alveo fra il punto (i) e il punto (i+1) della sezione, data da: $C_i = K_{si} A_i R_{hi}^{2/3}$, dove K_{si} è il coefficiente di scabrezza, sec. Gaukler-Strickler, dell'alveo e R_{hi} il raggio idraulico nel tratto (i);
 A_{tot} = area totale della sezione liquida;
 C_{tot} = capacità di portata totale dell'alveo, dato dalla sommatoria delle capacità di portata dei singoli tratti.

Se la corrente è di tipo rapido (numero di Froude > 1) la sezione di controllo dovrà essere quella di monte. Viceversa, nel caso di corrente lenta, la sezione di controllo dovrà essere scelta a valle.

- 3) Si calcola la velocità della corrente nella sezione di controllo attraverso la relazione:

$$v_c = \frac{Q}{A_{tot}}$$

- 4) Si stima la quota della linea di energia della sezione di controllo con la formula:

$$E_c = h + z + \alpha \frac{v^2}{2g}$$

dove:

h = altezza idrometrica rispetto al punto più profondo dell'alveo;

z = quota s.l.m. del punto più profondo dell'alveo.

- 5) Si calcola la pendenza della linea di energia J , sempre nella sezione di controllo attraverso il rapporto:

$$J_c = \frac{Q^2}{C_{tot}^2}$$

6) Si ipotizza un primo valore a tentativo di altezza idrometrica per la sezione di verifica (h_v); in genere si utilizza la stessa altezza inserita o calcolata per la sezione di controllo.

7) Si calcola il coefficiente di Coriolis della sezione di verifica, utilizzando la stessa procedura vista per la sezione di controllo.

8) Si stima la pendenza della linea di energia della sezione di verifica con la formula:

$$J_v = \frac{Q^2}{C_{tot}^2}$$

in cui, ovviamente C_{tot} è riferito alla sezione di verifica.

- 9) Si calcola la quota della linea di energia della sezione di verifica con la formula:

$$E_v = E_c + \frac{1}{2}(J_v + J_c)\Delta x$$

- 10) Si valuta la quota della linea di energia per il valore fissato di h_v con la formula:

$$E'_v = h_v + z_v + \frac{Q^2}{2gA_v^2}$$

dove:

z_v = quota s.l.m. del punto più profondo dell'alveo della sezione di verifica;

A_v = area della sezione bagnata nella sezione di verifica corrispondente all'altezza idrometrica h_v .

11) Si esegue la differenza fra E_v' e E_v . Se questa è inferiore a qualche millimetro si considera la verifica terminata e h_v è l'altezza idrometrica cercata. Se questa invece è superiore a qualche millimetro, si calcola una correzione Δy da applicare alla h_v . La correzione Δy è fornita dalla:

$$\Delta y = \frac{E_v' - \left[E_c + \frac{1}{2}(J_c + J_v)\Delta x + k \left| \alpha_v \frac{v_v^2}{2g} - \alpha_c \frac{v_c^2}{2g} \right| \right]}{1 - \alpha_v \frac{Q^2 b_v}{g A_v^3} \pm k \alpha_v \frac{Q^2 b_v}{g A_v^3}}$$

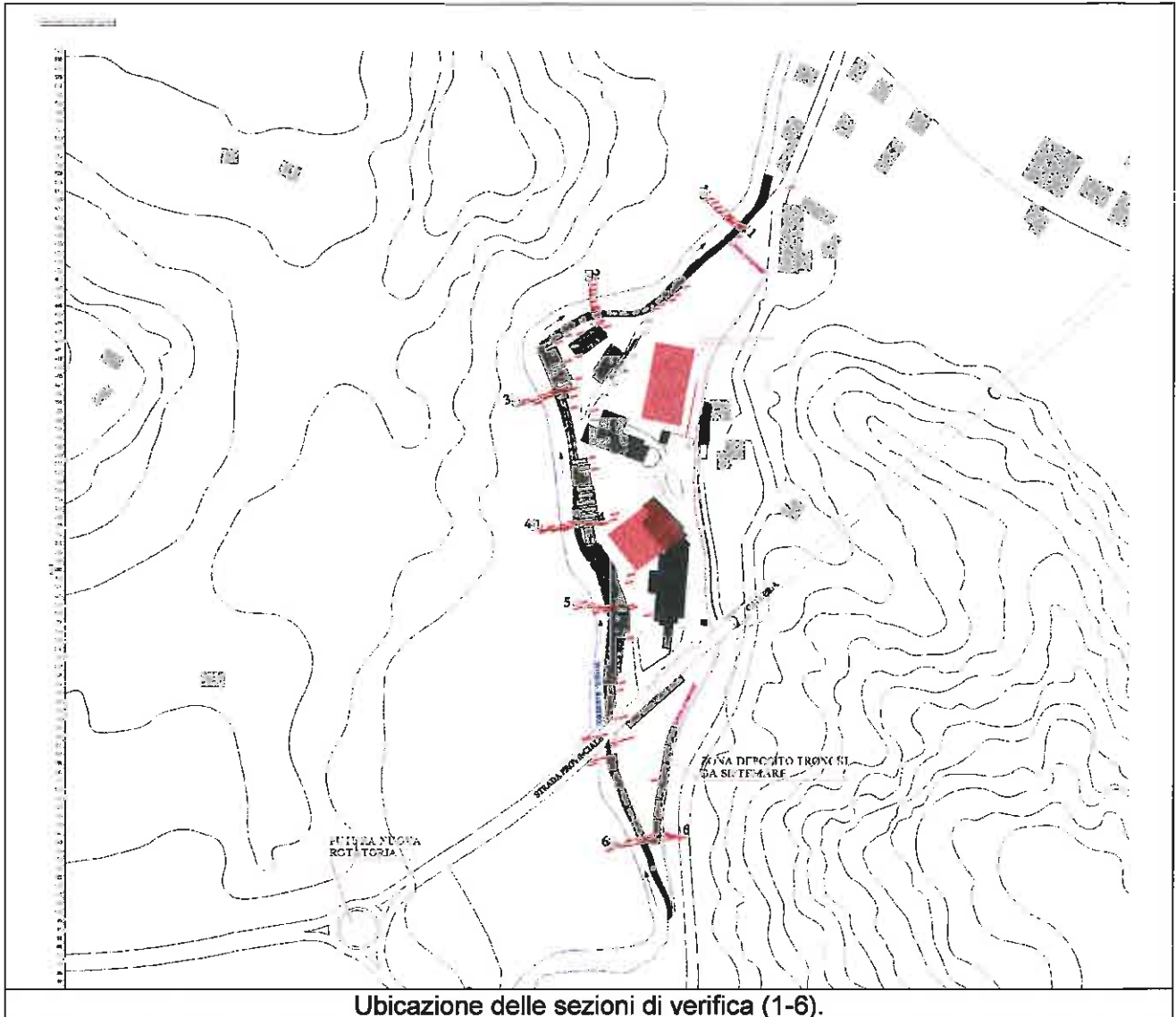
in cui:

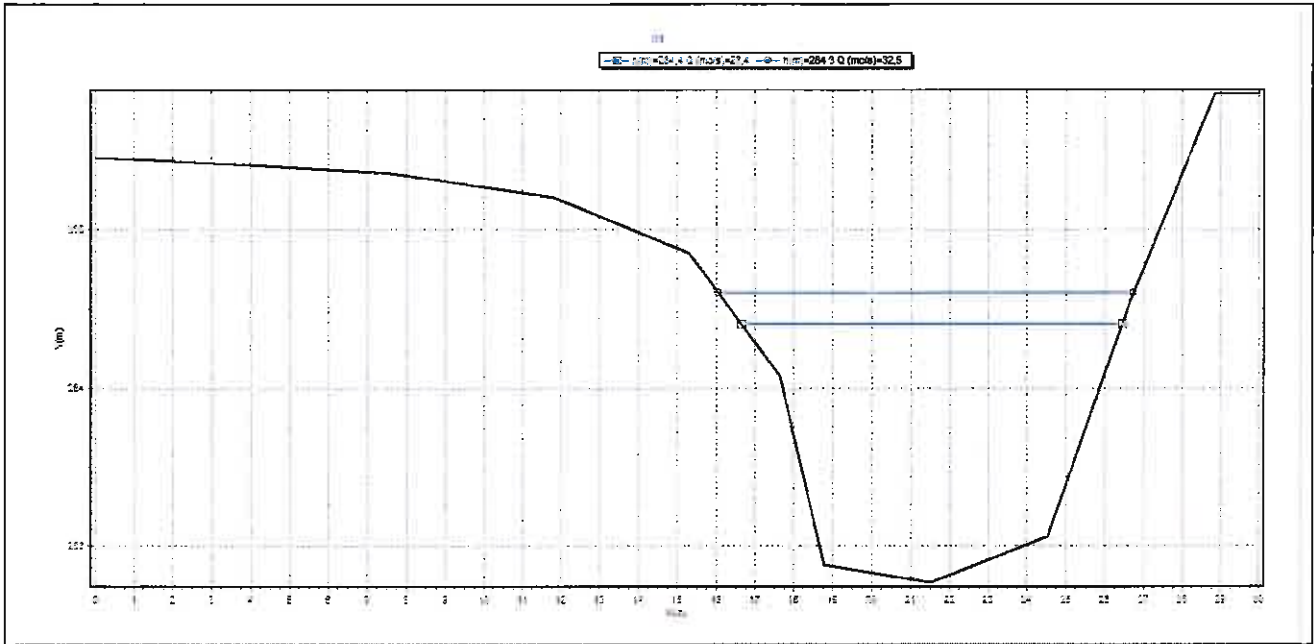
k = coefficiente che misura la perdita di energia per espansione o contrazione della corrente (per es. per restringimento o allargamento della sezione) e varia da 0.1 a 0.3 per le correnti in contrazione e da 0.3 a 0.5 per le correnti in espansione; ai valori più elevati corrispondono le variazioni più brusche;

b_v = larghezza della sezione di verifica.

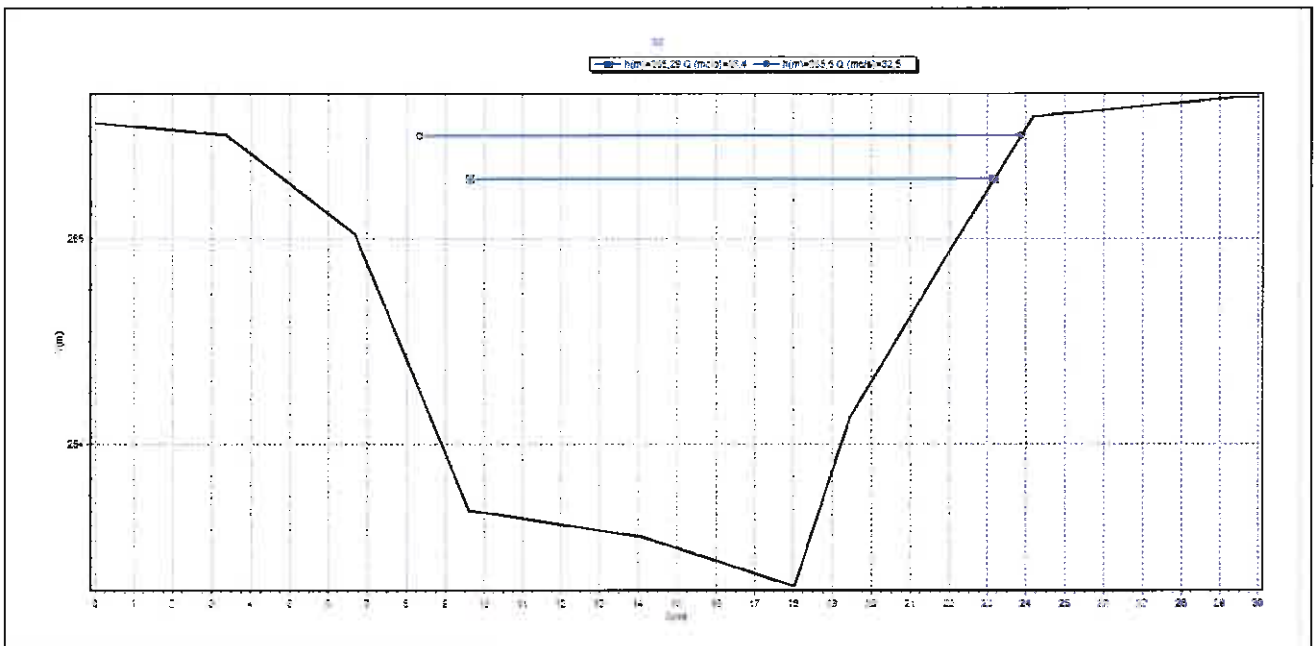
12) Si ottiene un nuovo valore corretto di altezza idrometrica sommando h_v e Δy e si ripete la sequenza di calcolo dal punto 7.

Nel caso in esame sono state prese in considerazione sei sezioni d'alveo, utilizzando come sezione di controllo quella posta più a valle (S1) (numero di Froude < 1). Si è utilizzato come dato iniziale nella sezione di controllo un'altezza idrometrica pari a quella ottenibile in condizioni di moto uniformi, con un valore di $K_{s1}=40$ e inclinazione dell'alveo del 0,5%, modificandola quindi a tentativi fino a ottenere una differenza $E_v' - E_v$ accettabile.

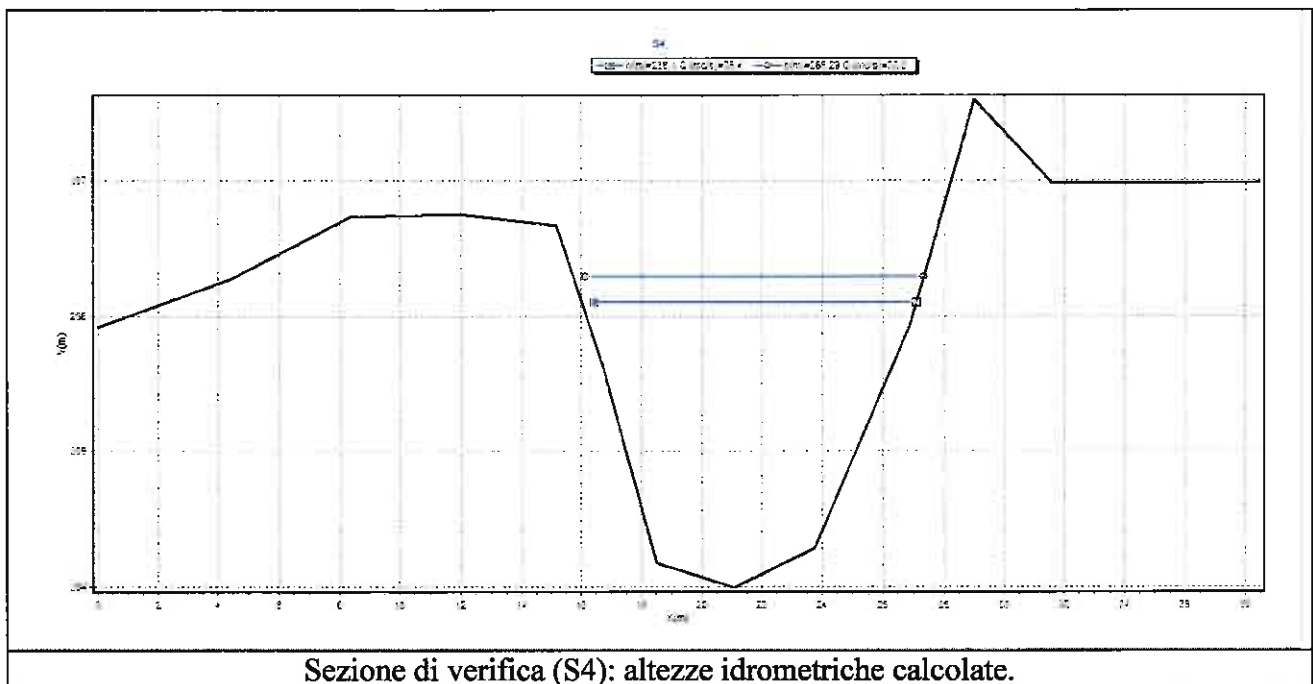
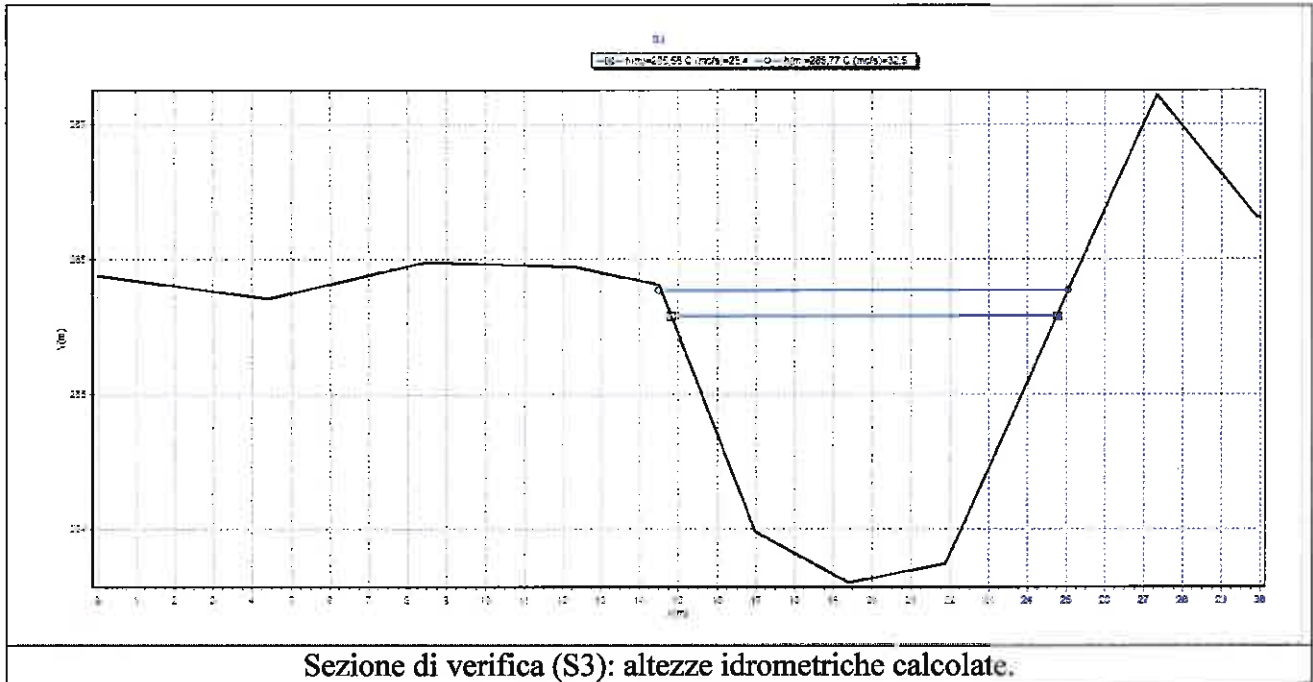


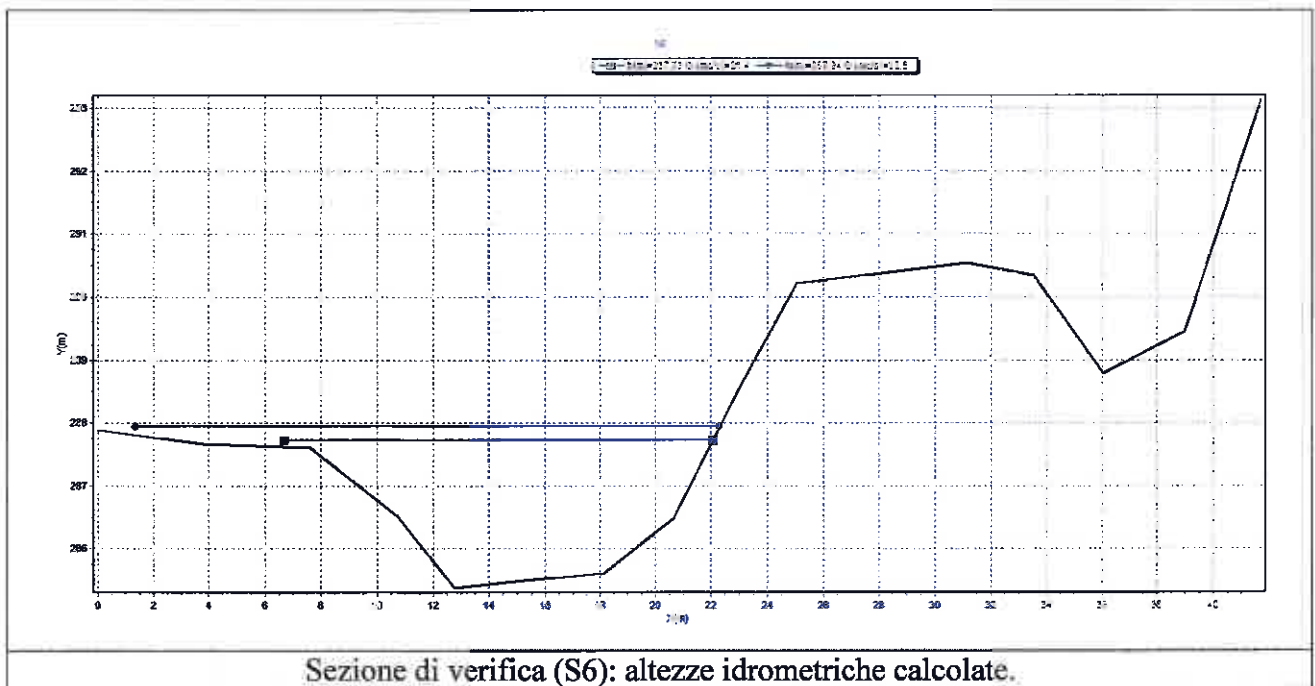
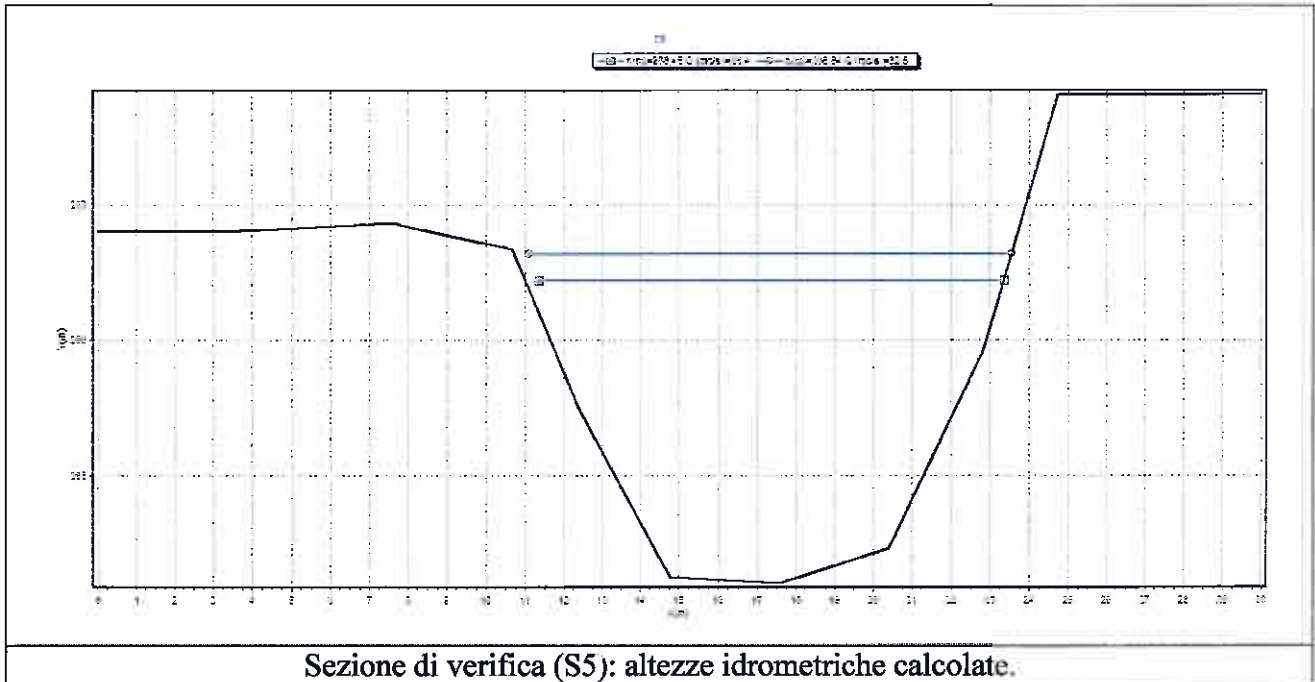


Sezione di controllo (S1): altezze idrometriche di riferimento iniziali.



Sezione di verifica (S2): altezze idrometriche calcolate.





La verifica ha permesso di calcolare le altezze idrometriche nelle sezioni di verifica in funzione delle portate di massima piena prese in considerazione per i tempi di ritorno di 50 e 100 anni. Il calcolo mette in evidenza che le sezioni 1, 2, 3, 4 e 5 sono verificate per tutte le portate considerate.

Non risulta invece verificata la sezione 6 non è invece verificata per la portata di massima piena corrispondente a un tempo di ritorno di 100 anni. Il calcolo evidenzia la possibilità di esondazione sulla sponda in sinistra idrografica, il cui argine è posto a una quota inferiore, di circa 2,60 m, rispetto alla sponda opposta che non risultano tuttavia di proprietà.

Le verifiche sono state effettuate con il programma di calcolo Piena 3D della dita Program GEO di Castenedolo (BS) in collaborazione con l'autore del programma dr. Aldo Di Bernardo.

Normativa di riferimento:

Legge Regionale 12/2005 e successive integrazioni.

- Caratterizzazione geometrica del bacino e stima del parametro CN (Curve Number) con il metodo S.C.S..
- Stima del tempo di corrivazione del bacino con la formula S.C.S..
- Calcolo delle precipitazioni di riferimento attraverso le curve segnalatrici di possibilità climatica per tempi di ritorno uguali a 50 e 100 anni e del coefficiente di ragguglio.
- Stima del coefficiente di afflusso del bacino e calcolo delle portate di massima piena al colmo, per tempi di ritorno di 50 e 100 anni, con la formula razionale.
- Verifica delle sezioni idrauliche con il criterio del moto permanente.



ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA
BELLOLI MARCO
n° 355