COMUNE DI CAIOLO

PROVINCIA DI SONDRIO

INDIVIDUAZIONE DEL RETICOLO IDRICO MINORE E DELLE RELATIVE FASCE DI RISPETTO, DEFINIZIONE DELLE ATTIVITÀ VIETATE O SOGGETTE AD AUTORIZZAZIONE COMUNALE

D.g.r. 25 gennaio 2002 n° 7/7868 e d.g.r. 1 agosto 2003 n° 7/13950

Allegato: **2**	Oggetto: **CRITERI GENERALI PER LE VERIFICHE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**
Scala:	
Data: **dicembre 2004**	A cura di:
Aggiornamento: **novembre 2005**	**Dott. Geol. Guido Merizzi** Via Piazzi, 17 - 23100 SONDRIO Tel. 0342/212603 **Ing. Alberto Bordoni** Galleria Campello, 4 - 23100 SONDRIO Tel. 0342/213617

INDICE

1 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DEI CORSI D'ACQUA Pag. 1
1.1 Premessa Pag. 1
1.2 Analisi morfometrica del bacino Pag. 1
1.3 Caratteristiche idrologiche e calcolo portata di piena Pag. 2
1.4 Calcolo delle portate per piccoli bacini Pag. 6

2 VERIFICHE IDRAULICHE Pag. 8
2.1 Verifiche idrauliche in moto uniforme Pag. 8
2.2 Verifiche idrauliche sezioni a stramazzo Pag. 8
2.3 Verifiche idrauliche in moto uniforme per tratti intubati Pag. 9
2.4 Franchi di sicurezza Pag. 9

1. CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA DEI CORSI D'ACQUA

1.1 PREMESSA

Nei capitoli seguenti viene esposta, in modo schematico, una procedura per il calcolo delle portate di piena di un corso d'acqua, utilizzando un modello afflussi-deflussi basato sul noto metodo razionale.

1.2 ANALISI MORFOMETRICA DEL BACINO

Le portate dei corsi d'acqua dipendono sicuramente dalla intensità e dalla distribuzione delle precipitazioni, ma anche dalle caratteristiche morfologiche e geologiche del bacino di alimentazione. In particolare, oltre alle dimensioni del bacino imbrifero, la portata di un corso d'acqua è influenzata dalla permeabilità dei terreni affioranti, dalla estensione della copertura vegetale, dalla pendenza dei versanti e dell'alveo, dallo sviluppo del reticolato idrografico nonché dalla forma del bacino.
La conoscenza di questi dati, che comportano anche rilievi diretti sul terreno, è molto più importante per ottenere risultati attendibili che la possibilità di utilizzare modelli matematici di trasformazione afflussi-deflussi molto complessi e sofisticati.
Nella tabella sottostante sono riportati i principali parametri morfometrici che influenzano la portata di un corso d'acqua.

PARAMETRI MORFOMETRICI BACINO TORRENTE SCHITTAROLO	
Superficie:	0,28 Kmq.
Lunghezza alveo esteso fino allo spartiacque:	1800 m
Fattore di forma;	3,00
Quota massima:	1140 m s.l.m.
Quota minima:	300 m s.l.m.
Altezza media sulla sezione di chiusura:	712 m s.l.m.
Pendenza media dei versanti:	53,34 %
Densità di drenaggio:	6,39 km/kmq
Tempo di corrivazione:	0,30 ore

1.3 CARATTERISTICHE IDROLOGICHE E CALCOLO PORTATA DI PIENA

Nei criteri generali per le verifiche di compatibilità idraulica, che saranno utilizzati nello studio del reticolo idrico minore del Comune di Caiolo, si propone una procedura relativamente semplice ma rigorosa per il calcolo delle portate di piena dei corsi d'acqua.
Si prevede innanzitutto uno studio morfometrico dettagliato del bacino idrografico e successivamente l'applicazione del metodo razionale, utilizzando i dati idrologici tratti dall'allegato 3 delle norme di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), che riporta la distribuzione spaziale delle precipitazioni intense per l'intero bacino idrografico dell'Adda. In particolare il territorio è suddiviso in celle quadrate di 2 km di lato aventi caratteristiche idrologiche omogenee. Per ogni cella sono definiti i parametri "a" ed "n" per tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni nonché le coordinate chilometriche UTM.
Il territorio comunale di Caiolo è compreso con un ampio intorno nelle seguenti celle, riportate nella tavola 1 del presente lavoro.

cella	a_{20}	n_{20}	a_{100}	n_{100}	Ubicazione
EA 44	22,92	0,412	29,92	0.397	Aree di fondovalle del territorio comunale.
EB 44	23,98	0,429	31,10	0,416	
EC 44	25,10	0,444	32,37	0,433	
EA 45	23,74	0,417	30,95	0,402	Aree di fondovalle e di bassa montagna del territorio comunale (fino a 700÷950 m di quota).
EB 45	24,97	0,437	32,32	0,425	
EC 45	26,17	0,455	33,67	0,446	
EA46	25,50	0,426	33,05	0,413	Aree di bassa e media montagna del territorio comunale.
EB46	26,52	0,447	34,17	0,437	
EC46	27,63	0,468	35,41	0,460	
EA47	27,78	0,436	35,72	0,426	Monte Pidocchio, Monte Vespolo, media Valle del Livrio, Valle della Chiesa, Valle della Casera
EB47	28,50	0,458	36,51	0,450	
EC47	29,40	0,480	37,51	0,475	
ED47	30,35	0,502	38,57	0,499	
EB 48	30,69	0,466	39,09	0,46	Cima Sasso Chiaro, Frazione La Costa in Val del Livrio, Pizzo Campaggio
EC48	31,40	0,490	39,87	0,488	
ED48	32,19	0,514	40,75	0,513	
EB49	32,98	0,470	41,79	0,465	Punta Cerech, Cime Bior-

EC49	33,52	0,493	42,40	0,490	che
EB50	35,27	0,469	44,52	0,465	Testata Valle Livrio Monte Corno Stella Lago del Publino
EC50	35,69	0,489	45,01	0,487	
EB51	37,54	0,463	47,25	0,460	Testata Valle Livrio, Monte Masoni
EC51	37,87	0,480	47,65	0,479	

In generale, per ogni corso d'acqua esaminato, sono stati presi in considerazione i valori dei parametri a e n relativi alla cella posta circa nella zona baricentrica del bacino.

In accordo a quanto indicato nel par. 3.2.1. della direttiva *"Criteri per la valutazione della compatibilità idraulica delle infrastrutture pubbliche e di interesse pubblico all'interno delle fasce A e B"* del Piano Stralcio delle fasce Fluviali, i valori delle precipitazioni critiche (h_C), cioè le precipitazioni di massima intensità e di durata uguale al tempo di corrivazione del bacino (t_C), che sono necessari per calcolare le portate di piena del corso d'acqua, sono calcolati tramite la nota formula:

$$h_c = a \cdot t_c^n$$

Per il calcolo del tempo di corrivazione si è utilizzato la nota relazione di Giandotti

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1{,}5\,L}{0{,}8\sqrt{H_m - H_c}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino in km^2,
- L è la lunghezza dell'asta principale del torrente in km,
- $H_m - H_C$ è l'altezza media del bacino rispetto alla sezione considerata in m,
- t_C è il tempo di corrivazione espresso in ore.

Secondo il cosiddetto "Metodo Razionale" la portata di piena di un corso d'acqua è valutata con la formula generale:

$$Q = \frac{C \times h_c \times S}{t_c}$$

dove:

- C è il coefficiente di deflusso
- h_C è l'altezza di precipitazione critica in m;
- A è la superficie del bacino in m^2;
- t_C è il tempo di corrivazione in secondi.

Le portate al colmo stimate con il metodo sopra esposto rappresentano unicamente l'effetto dello scorrimento superficiale e non tengono quindi conto di eventuali punte indotte dalla rottura di sbarramenti temporanei legati a frane e scoscendimenti difficilmente prevedibili in termini quantitativi ma che dovranno, comunque, essere considerati in fase di analisi del bacino.

Per un primo calcolo del coefficiente di deflusso C da utilizzare nella formula "razionale" si fornisce il metodo schematico indicato nella tabella seguente:

Parametri per la determinazione del coefficiente di deflusso C									
PARAMETRO A		**PARAMETRO B**		**PARAMETRO C'**		**PARAMETRO D**		**PARAMETRO E**	
*Formazioni impermeabili presenti nel bacino (**FI**)*		*Vegetazione V presente nel bacino (boschi e pascoli)*		*Pendenza media P_m del bacino*		*Sviluppo reticolo idrico superficiale (Densità di drenaggio **D**)*		*Forma del bacino (fattore di forma **F**)*	
Descrizione	**Valore**	**Descrizione**	**Valore**	**Descrizione**	**Valore**	**Descrizione**	**Valore**	**Descrizione**	**Valore**
FI > 80%	0.90	Molto bassa (**V**<20%)	0.90	P_m > 100%	1,00	Molto Sviluppato **D**>6,0 km/kmq	0,95	Raccolto 1<**F**<1,5	1,00
50%<**FI**<80%	0.80	Poco estesa 20%<**V**<50%	0.80	66 % < P_m <100%	0.90	Sviluppato 4<**D**<6 km/kmq	0.85	Mediam. allungato 1,5<**F**<2,0	0.95
20%<**FI**<50%	0.70	Mediam. estesa 50%<**V**<80%	0.70	33 %< P_m <66%	0.80	Mediamente svilup. 2,0<**D**<4,0 km/kmq	0.75	Allungato 2<**F**<3	0.90
FI < 20%	0.60	Molto estesa **V** > 80%	0.60	P_m < 33%	0.70	Poco sviluppato **D**<2,0 km/kmq	0.65	Molto allungato **F**> 3	0.85
Valore parametro C = Parametro A * Parametro B * Parametro C' * Parametro D* Parametro E = 0,27									

Note in merito all'uso della tabella soprastante:

1) Sono impermeabili: le rocce poco fratturate, i depositi morenici compatti (gisch) rocce e sedimenti argillosi, depositi di copertura aventi spessori inferiori al metro, superfici pavimentate, aree densamente abitate; sono invece drenanti: depositi alluvionali grossolani, detriti di falda, accumuli di frana, rocce molto fratturate o carsiche, i depositi eluvio-colluviali.
2) Per copertura vegetale s'intende in prevalenza boschi e pascoli in buone condizioni con copertura vegetale superiore al 75%, le colture agrarie dovrebbero essere escluse.
3) La pendenza media totale del bacino P_m, è ottenuta tramite la seguente formula (che rappresenta la media "pesata" delle pendenze relative a ciascun intervallo di altitudine con cui è stato suddiviso il bacino)

$$P_m = \sum \frac{\Delta h \cdot l_i}{A}$$

dove Dh è l'intervallo di quota considerato (in genere 100 o 200 m), l_i la lunghezza media delle isoipse nel medesimo intervallo di quota e A la superficie totale del bacino.

4) La densità di drenaggio D, espressa dal rapporto tra la lunghezza di tutti i collettori che costituiscono la rete idrografica e l'area del bacino, è calcolata sulla cartografia CTR in scala 1 : 10.000, eventualmente integrata con rilievi diretti sul terreno.
5) Il fattore di forma F, definito dal rapporto tra la lunghezza L dell'asta principale estesa fino alla linea di spartiacque e il diametro del cerchio di area A uguale a quella del bacino, è calcolato con la seguente formula

$$F = \frac{L}{\sqrt{\frac{4A}{\pi}}}$$

1.4 CALCOLO DELLE PORTATE PER PICCOLI BACINI (S < 0,5 Km²)

Nel caso di bacini idrici di modestissime dimensioni (< 0,5 Km^2) i metodi tradizionali dell'idrologia possono cadere in difetto. In questi casi può essere opportuno seguire i metodi utilizzati per stimare le piene nelle reti urbane di drenaggio (fognature), considerato che buona parte di tali bacini sono rappresentati da territori parzialmente antropizzati. Il calcolo presenta sempre qualche difficoltà, legata sia all'intensità della precipitazione presa in considerazione, sia a situazioni particolari di copertura del terreno (coefficienti di assorbimento). Il calcolo proposto in questa sede, pur abbastanza approssimativo, è da ritenersi senz'altro sufficiente ad un dimensionamento ragionevolmente cautelativo delle opere oggetto di autorizzazione.
Per il calcolo ci si avvale del metodo dell'Ing. De Martino, che, per bacini e reti di drenaggio di modesta portata dà i risultati più affidabili. Il calcolo si basa sulla determinazione del coefficiente udometrico tramite la seguente formula:

$$u_b = \lambda \cdot \frac{\Psi * Jo}{0,36}$$

dove:
u_b : è la portata unitaria espressa in l/s*ha
Ψ : è il coefficiente di assorbimento medio che dipende dalla permeabilità e dalle caratteristiche dell'area
Jo : è l'intensità di pioggia corrispondente alla durata di 15', espressa in mm per Tempo di ritorno di 100 anni
λ : è il cosiddetto coefficiente di ritardo che risulta funzione di A, Jo, Ψ, i (pendenza media della rete) e W2 (invaso specifico nei piccoli specchi e sul terreno). Di questo coefficiente di ritardo il De Martino ha fornito un'ampia messe di valori, dai quali, per interpolazione, si sono ricavati i valori raccolti in letteratura, ciascuna corrispondente ad un differente valore dell'invaso specifico W2 delle piccole canalizzazioni e sul terreno.

Si può suddividere il territorio del bacino in singole aree scolanti che, schematicamente, possono essere suddivise in:

A. Aree scolanti caratterizzate da notevole percentuale di superfici pavimentate e/o coperte, terreni in forte pendenza sostanzialmente rocciosi e con poca capacità di invaso specifico; il coefficiente udometrico assunto vale 104 l/s*ha.
B. Aree scolanti caratterizzate da minore percentuale di superfici pavimentate e/o coperte, qualche area verde, terreni in pendenza solo parzialmente rocciosi e con buona capacità di invaso specifico; il coefficiente udometrico vale 62 l/s*ha.
C. Aree scolanti caratterizzate da minime superfici coperte, aree quasi totalmente a verde, buone capacità di invaso; il coefficiente udometrico vale 24 l/s*ha.

Per quanto concerne il valore da attribuire all'intensità di pioggia Jo si sono assunti i parametri della curva di possibilità climatica relativa all'abitato di Caiolo (cella EB45): applicando, per Tr = 100 anni, i valori di a = 32.32 e n = 0.425 nella formula

$$Jo = \mathbf{h/t_c} \text{ con } \mathbf{h} = a\, t_c^n$$

per tc = 15 ‘ (0,25 h), si ottiene Jo = 72 mm

CALCOLO PORTATE PER AREE DI TIPO A

Per queste sono stati assunti ad esempio i seguenti valori:

$\psi = 0,7$

invaso specifico W2 = 20 mc/ha

pendenza media rete > 5%

Dalle tabelle summenzionate (non riportate per brevità) si ottiene:

$\lambda = 0,74$

Jo, = 72 mm

Applicando la formula del De Martino, si ottiene:

$u_A = 0,74*0,7*72/0,36 = 104$ l/s*ha

CALCOLO PORTATE PER AREE DI TIPO B

Analogamente a sopra si assumono i seguenti valori:

$\psi = 0,5$

invaso specifico W2 = 30 mc/ha

pendenza media rete > 5%

Si ottiene:

$\lambda = 0,62$

Con la stessa intensità di pioggia, si ottiene: $u_B = 0,62*0,5*72/0,36 = 62$ l/s*ha

CALCOLO PORTATE PER AREE DI TIPO C

Analogamente a sopra si assumono i seguenti valori:

$\psi = 0,3$

invaso specifico W2 = 40 mc/ha

pendenza media rete < 5%

Si ottiene:

$\lambda = 0,41$

Con la stessa intensità di pioggia, si ottiene: $u_C = 0,41*0,3*70/0,36 = 24$ l/s*ha

2. VERIFICHE IDRAULICHE

2.1 VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO UNIFORME

Le verifiche idrauliche possono essere condotte per le sezioni significative del corso d'acqua in moto uniforme tramite la nota formula di Strickler:

$$Q = k \cdot S \cdot \sqrt[3]{r^2} \cdot \sqrt{i} \qquad (1)$$

dove k è il coefficiente di Strickler che caratterizza la scabrezza del fondo, S è la sezione di flusso, r il raggio idraulico e i la pendenza del fondo.

VALORI PRATICI PER IL COEFFICIENTE "K"	
VALORE	TIPO DI ALVEO
12÷17	Torrenti di montagna con letto irregolare e formato da grossi massi
20	alveo naturale con letto ghiaioso senza variazioni di percorso
25	alveo parzialmente naturale con andamento regolare e arginature in pietrame
30	alveo artificiale con rivestimento del fondo e pareti con andamento regolare

N.B. i valori possono essere mediati sul contorno bagnato in caso di parti con scabrezza notevolmente diversa (es. fondo sconnesso e pareti arginate in cls)

Più in dettaglio, è possibile definire il coefficiente di scabrezza k utilizzando la seguente formula di Butera e Sordo, valida per alvei a media scabrezza.

$$k = 2{,}41 \cdot \left[1 - 0{,}45 \cdot \left(\frac{h}{d_{50}}\right)^{-1{,}06}\right] \ln\left[2{,}73 \cdot \left(\frac{h}{d_{50}}\right)\right] \cdot \sqrt{g} \cdot r^{(-1/6)}$$

dove d_{50} è il diametro medio dei sedimenti, h l'altezza della corrente idrica e r il raggio idraulico.

2.2 VERIFICHE IDRAULICHE SEZIONI A STRAMAZZO

Le verifiche idrauliche per le sezioni con opere trasversali al corso d'acqua possono essere condotte tramite la formula speditiva dello stramazzo.
Nel caso in cui l'opera trasversale non rallenta la corrente idrica (alveo compensato a monte) la portata defluente si può valutare tramite la formula:

$$Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h + k)} \qquad (2)$$

dove :

$$k = V_0/2 \cdot g$$

Vo = velocità nel tratto di alveo a monte dello stramazzo calcolata con la (1)
h = tirante idraulico (altezza pelo libero a monte della traversa)
A = area bagnata della sezione

g = accelerazione di gravità = 9,81 m/s^2
m = coefficiente di efflusso che in prima approssimazione può essere assunto pari a 0,35/0,45

Nel caso in cui l'opera trasversale rallenta la corrente idrica (alveo non compensato – briglia vuota di materiale) la portata defluente si può valutare tramite la formula:

$$Q = A \cdot \mu \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad (3)$$

con il consueto significato dei simboli.

Per l'altezza del pelo libero in corrispondenza della traversa, tenendo conto della componente cinetica della corrente, si ha $h_0 = 2/3\ h$

Tali verifiche vanno estese per un tratto di alveo a monte e a valle della sezione in esame sufficientemente lungo, in relazione al contesto topografico, alla presenza di criticità ecc ed in funzione del tipo di corrente (veloce o lenta) al fine di garantire l'assenza di effetti negativi indotti sulle modalità di deflusso in piena; in particolare dovrà essere verificato il profilo idrico di rigurgito eventualmente indotto dall'insieme delle opere di attraversamento.

2.3 VERIFICHE IDRAULICHE IN MOTO UNIFORME PER TRATTI INTUBATI

In caso di tratti intubati le verifiche idrauliche possono essere condotte in moto uniforme tramite ancora la formula di Strickler

$$Q = k \cdot S \cdot \sqrt[3]{\bar{r}^2} \cdot \sqrt{i} \qquad (4)$$

dove il raggio idraulico $\bar{r}$ = S/P, con tubazioni a sezione circolare si può calcolare con la seguente formula:

$$\bar{r} = \frac{S}{P} = \frac{\left[2 \cdot \arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) \cdot \pi r^2\right]/360 \; - \; (r-h) \cdot \sqrt{2rh - h^2}}{\arccos\left(\frac{r-h}{r}\right) \cdot 2\pi r \cdot \frac{1}{180}} \qquad (5)$$

S = area bagnata i = pendenza , r = raggio del tubo, h = altezza della corrente all'interno del tubo, P = perimetro bagnato, $\bar{r}$ = raggio idraulico e k = 65÷70 (scabrezza tubazioni pvc o gres o cemento)
La portata defluente a massimo riempimento (circa portata massima) per le diverse tratte viene calcolata tramite la (4) e la (5);

2.4 FRANCHI DI SICUREZZA

Le verifiche idrauliche si devono intendere soddisfatte se il calcolo idraulico effettuato coi criteri di cui sopra porta a franchi di sicurezza rispetto alle quote minime di sponda pari a 100 cm per tempi di ritorno ventennali e 50 cm per tempi di ritorno centennali, su tutto il tratto di corso

d'acqua influenzato dall'opera oggetto di autorizzazione. Nei tratti intubati deve passare una portata pari al 150% di quella centenaria. Ciò vale per tutti i corsi d'acqua del reticolo minore, ad eccezione di quelli di categoria D, E ed F, per i quali è ritenuto sufficiente che nella sezione considerata passi la portata centenaria senza franchi di sicurezza.
Fanno altresì eccezione le verifiche di compatibilità per strutture importanti (ponti, attraversamenti aerei di metanodotti o altri sottoservizi e in altri eventuali casi significativi su richiesta del Tecnico Comunale) per i quali si richiede un franco di sicurezza di cm 100 per tempi di ritorno centennali, indipendentemente dalla categoria dei corsi d'acqua.

Geol. Guido Merizzi Ing. Alberto Bordoni