

CONSORZIO BONIFICA MUZZA BASSA LODIGIANA

Lodi: Via Nino dall'Oro n° 4 - tel. 0371/420189 - fax: 0371/50393
e-mail cmuzza@muzza.it PEC: consorzio.muzza@pec.regione.lombardia.it



**Convenzione tra Regione Lombardia e Consorzio Bonifica Muzza Bassa Lodigiana per attività da svolgersi sul reticolo idrico principale presente all'interno del territorio comprensoriale.
Programma di attività ed interventi di cui alla
Delibera X/7759 del 17/01/2018**



RegioneLombardia

Attività n. C.1 - Nuova realizzazione di aree di laminazione per il colatore Sillaro nell'ambito del relativo bacino idrografico, per la mitigazione del rischio idraulico insistente sui terreni di Lodivecchio, Pieve Fissiraga, Borgo San Giovanni, Villanova del Sillaro e Borghetto Lodigiano

PROGETTO DEFINITIVO RELAZIONE SPECIALISTICA IDROGEOLOGICA, IDROLOGICA ED IDRAULICA

Edizione:
Luglio 2020

Il Responsabile del Procedimento
Dott. Ing. Marco Chiesa

I Progettisti: dott. ing. Marco Chiesa

geom. Ernesto Davidi

dott. ing. Andrea Mazzi

dott. ing. Giuseppe Meazza

aree laminazione Sillaro

Introduzione

In questa relazione specialistica destinata all'acqua, oggetto primario dell'intervento, verranno approfonditi, nell'insieme generale e nelle singole parti i criteri di natura idrologico-idraulica che sono di fondamento al progetto; essi, in parte già introdotti dalla relazione generale descrittiva sono dettagliati nelle relazioni idrologica ed idraulica estesa a tutto il corso del colatore Sillaro di cui alla attività A3 della citata delibera X/7759 del 17/01/2018, allegate al presente progetto definitivo. In dette relazioni, riprese a seguire negli aspetti generali, si espongono, su base scientifica, le ragioni delle scelte effettuate. Il principio pregiudiziale del discernimento progettuale e quindi del modello applicativo adottato è tutto contenuto nella così detta laminazione "leggera". La laminazione idraulica è un condizionamento, spontaneo (naturale) o imposto (artificiale) di un colmo di piena lungo un corso d'acqua, se artificiale generalmente la finalità è di contenere un colmo di piena per la riduzione di un rischio idraulico. Nella fattispecie si tratta evidentemente di azione artificiale (quella propria o naturale è comunque presente lungo il corso del colatore) che può essere fatta, come in effetti è stata fatta, con un diversivo (a gravità e/o per sollevamento come realizzati per Villanova con Sillaretto e roggia Frata: vedasi relazioni idrologica ed idraulica richiamate) che comporta il trasferimento di portate in altri luoghi meno a rischio, ovvero, con il trattenimento temporaneo di volumi idrici, generalmente quelli espressi nei momenti più intensi dell'evento; alla fine della manifestazione critica detti volumi vengono ritornati al recapito da cui sono stati prelevati ipotizzando, ovviamente, che lo stesso abbia avuto il tempo di recuperare le condizioni di normalità. Pertanto la laminazione idraulica di trasposizione temporale volumetrica definita leggera si caratterizza come principio applicativo con esecuzioni di invasi relativamente piccoli, specificatamente destinati alla riduzione di criticità puntuali quindi con ubicazione molto prossima alle zone vulnerabili, inoltre, generalmente, le soglie di immissione vengono adattate per tempi di ritorno $\leq T_{20}$, fermo restando che la loro efficacia si manifesta anche per eventi di minor frequenza, quindi di maggior impatto, sarà l'organizzazione responsabile della regolazione (oggi il MoPAI) a decidere sulla base delle previsioni meteorologiche i tempi e modi di riempimento delle vasche. Va da sé che dal riempimento controllato stesso ne traggono beneficio le aree a rischio locali ma altresì quelle di valle, trattasi infatti di un colmo di piena che viene trattenuto per qualche ora producendo in ogni caso un riduzione della manifestazione alluvionale. Quindi sono due i concetti importanti da richiamare per le due vasche di laminazione in progetto:

- a) Sono singolarmente funzionali, ovvero, ancorché regolabili sinergicamente con ottimale efficacia, la singola laminazione (limitata ad una o l'altra vasca in modo autonomo) determina un significativo beneficio tanto nella specifica tratta coniugata ad un area particolarmente vulnerabile, quanto diffusamente lungo tutto il tragitto del Colatore Sillaro di valle e, a ben vedere, indirettamente, anche di monte dai cui, in definitiva, vengono generati i deflussi.
- b) La regolazione, preferibilmente, sarà orientata a riempire la/le vasche con la maggior frequenza utile possibile, quindi adattandone la funzionalità a bassi tempi di ritorno; in ogni caso la loro funzionalità, singola o coniugata, darà luogo a un indubbio beneficio anche per manifestazioni straordinarie ($> T_{20}$) in quanto potrà essere sottratto alla piena un volume "statico" di quasi 40.000m^3 ed altrettanti con l'azione in linea (complessivamente circa 80.000m^3).

La struttura funzionale dei due invasi è affine, si basa infatti su un manufatto/i che preleva dal corso d'acqua una portata ascendente che sta per generare un colmo di piena e, a partire da un

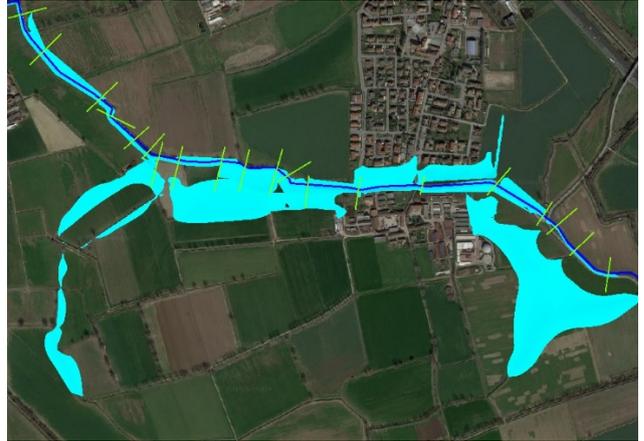
predefinito valore comunque modificabile in base alle valutazioni effettuate di volta in volta all'atto pratico, la immette in modo idraulicamente autonomo (lo sfioratore ha un comportamento di "automatismo" legato al livello raggiunto dall'acqua) o tramite specifica manovra manuale esercitabile con la paratoia, nella vasca di laminazione; eventualmente raggiunta la massima capienza di riempimento i livelli nell'invaso e quelli del colatore si pareggiano e termina l'effetto di contenimento. Come spiegato nella relazione generale, l'effetto stesso di contenimento può essere definitivo totale o parziale a seconda dell'entità del colmo di piena rimosso, in ogni caso il benefico indotto dall'azione regolatrice e sempre alto. Terminato l'evento si provvede allo svuotamento della vasca che può essere totalmente o parzialmente per sollevamento.

1.0 Aspetti idrologici ed idraulici generali

Il presente progetto definitivo si riferisce alla esecuzione di due vasche di laminazione che, come già detto, pur progettate secondo valutazioni di singolarità, produrranno beneficio nella riduzione del rischio tramite una funzionalità coordinabile tra loro e in sinergia con tutte le opere di regolazione già presenti lungo il corso del colatore. Più risulterà stretta l'unitarietà coordinativa dell'organizzazione di regolazione in essere e maggiore sarà l'efficacia dell'esito. Tutto ciò appare evidente dalle risultanze riportate nel sopramenzionato lavoro di indagine e modellazione effettuato per il bacino sotteso dal Sillaro e lungo il corso del Sillaro stesso. L'attività sviluppata è stata ampia ed impegnativa, eseguita secondo procedure e mezzi tra i più attuali e meglio rispondenti alla fattispecie. Per un approfondimento si rimanda agli elaborati richiamati che fanno parte integrante del progetto definitivo, tuttavia, volendo tradurre pur "banalmente" il processo operativo si può riassumere il tutto nei seguenti passaggi:

- a) identificazione dei bacini e sottobacini del colatore con indagine delle loro caratteristiche (dimensioni, forma ed orientamento, litologia, idrogeologia, uso del suolo ecc)
- b) rilievo plano altimetrico del corso d'acqua eseguito su supporto GPS, con restituzione dell'andamento principale, delle sezioni trasversali, del profilo e dei manufatti presenti
- c) modellazioni: *idrologica* degli eventi di piena nella così detta trasformazione "afflussi-deflussi" sulla base del complesso processo di analisi del bacino e dei sotto-bacini che si avvia in una serie ordinata e conseguente di operazioni a partire dalla stima delle curve di possibilità pluviometrica per ultimarsi nella valutazione della portata idrologica ovvero quella portata "potenzialmente" producibile dal territorio sotteso; *idraulica* che definisce la sostanza del lavoro nelle onde di piena prodotte che percorrono il corso d'acqua, sezionato in 10 tratte significative alle quali corrispondono le aree allagabili secondo più scenari ricondotti ai classici tempi di ritorno T100, T50 e T20.
- d) analisi e proposta, sulla base degli scenari individuati, delle possibili opere migliorative che, in convergenza sinergica con quelle già eseguite, possano contribuire alla ulteriore riduzione dei rischi idraulici tanto in generale quanto nella specificità di alcune aree vulnerabili individuate, appunto, nei territori di Borgo San Giovanni e Pieve Fissiraga a cui si associano due vasche di laminazione rispettivamente per convenzione chiamate (V1) e (V2)

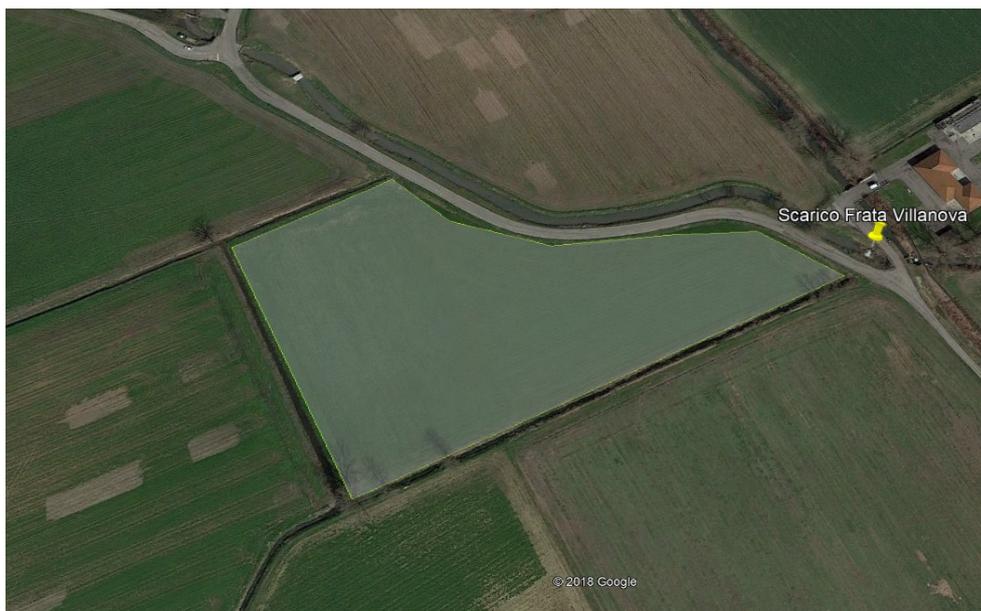
Nella relazione idraulica, ancor più specificatamente all'oggetto del nostro interesse diretto, si rappresenta, oltre alle aree allagate di Borgo e Pieve e le posizioni individuate per V1 e V2, anche un quadro sinottico generale del sistema in cui si rappresenta graficamente la configurazione di regolazione nelle 10 tratte di sviluppo dell'asta principale del Sillaro, dall'incile alla foce in Lambro. Nella tratta 4 e nella 6 sono inserite le due vasche secondo i criteri generali spiegati e quelli particolari specifici riportati a seguire.



Aree allagate a Borgo San Giovanni e Pieve Fissiraga per Tempo di ritorno 100 anni



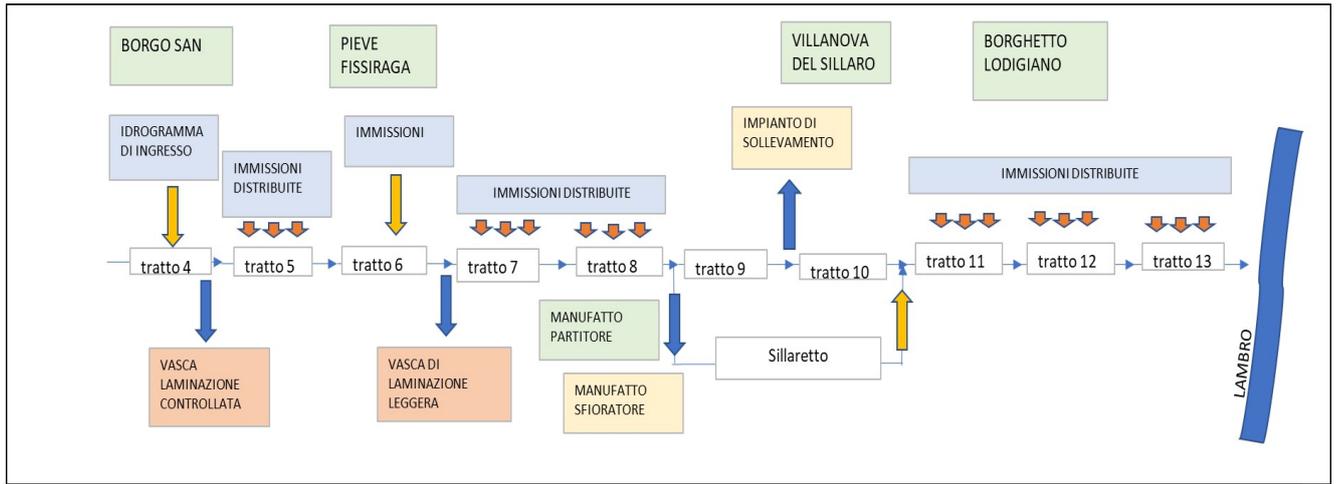
Ipotesi di laminazione controllata a Borgo San Giovanni (V1)



Ipotesi di laminazione leggera a Pieve Fissiraga (V2)

Anno di realizzazione o previsione di realizzazione	Interventi per la salvaguardia di	Borgo San Giovanni	Pieve Fissiraga	Villanova del Sillaro	Borghetto Lodigiano
	nessun intervento realizzato	esondazioni per evento soglia 1 tempo di ritorno =20 anni	esondazioni per evento soglia 2 tempo di ritorno = 50 anni	esondazioni per evento soglia 1 tempo di ritorno =20 anni	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100
2016	1. Deversione delle portate di piena del colatore Sillaro in canale Sillaretto a monte dell'abitato di Villanova del Sillaro in canale Sillaretto a monte dell'abitato di Villanova del Sillaro, a salvaguardia dello stesso. Nell'ambito dei lavori della presente convenzione questo manufatto è stato migliorato rendendo lo scarico di piena automatico con la realizzazione di uno sfioratore.	esondazioni per evento soglia 1 tempo di ritorno =20 anni	esondazioni per evento soglia 2 tempo di ritorno = 50 anni	esondazioni per evento soglia 2 tempo di ritorno = 50 anni	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100
2018/2019	2. Impianto di sollevamento con portata di 1 mc/s a monte dell'abitato di Villanova del Sillaro, a salvaguardia dello stesso.	esondazioni per evento soglia 1 tempo di ritorno =20 anni	esondazioni per evento soglia 2 tempo di ritorno = 50 anni	esondazioni per evento soglia 3 tempo di ritorno =100	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100
2020	3. Laminazione dei colmi di piena del Colatore Sillaro in corrispondenza dell'abitato di Borgo San Giovanni a salvaguardia di quest'ultimo – Vasca 1 4. Laminazione dei colmi di piena del Colatore Sillaro in corrispondenza dell'abitato di Pieve Fissiraga a salvaguardia di quest'ultimo – Vasca 2	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100	nessuna esondazione per evento soglia 3 tempo di ritorno =100

Prospetto degli interventi, eseguiti e da eseguire, per la riduzione del rischio idraulico



Quadro sinottico dello stato idraulico generale del colatore Sillaro dopo l'esecuzione di V1 e V2

2.0 Procedimenti di verifica idraulica

Le necessarie verifiche effettuate per l'accertamento delle dinamiche idrauliche che riguardano specificatamente le vasche in progetto e i relativi manufatti, sono riconducibili a procedimenti comunemente applicati e universalmente presenti nella letteratura tecnico-scientifica specialistica come riferimenti affidabili per il dimensionamento di opere analoghe a quelle in oggetto. La classificazione dei manufatti che interessano il progetto si distinguono in : sfioratori, scarichi di fondo e canalizzazioni.

2.1 Sfiatori

Il manufatto sfioratore è uno stramazzone idraulicamente appartenente alle luci libere sul lato debordante (quindi con vena contratta su tre pareti, le due laterali e quella di soglia) la cui legge di deflusso, escludendo il caso limite di condizione rigurgitata che può verificarsi nel momento di massimo invaso della vasca di laminazione a cui conferisce le acque, si comporta con modalità "semimodulari", ovvero, dipendenti esclusivamente dal variare del carico idrico di monte. Si distinguono inoltre per il passaggio d'acqua: sopra parete larga o sottile che differenzia il valore da attribuire al coefficiente di deflusso. Come meglio spiegato a seguire, sono due i manufatti sfioratori presenti, tutti in V1.

I manufatti sfioratori "A" destinato al riempimento di V1 è considerato stramazzone a soglia sottile in quanto risulta che il massimo carico previsto sia $H_W > 2t$ essendo "t" lo spessore della soglia stessa. Per struttura e geometria i tre manufatti sono identici, dotati di una parete laterale sfiorante dello sviluppo di 12,00m, regolabile in altezza con il posizionamento di panconi metallici, quindi a geometria variabile. La portata sfiorabile, fino allo stato di rigurgito totale che avviene a riempimento completo, dipende dal carico che si stabilisce a monte della soglia, la legge di deflusso è espressa con la seguente relazione numerica

$$(Q_{SF})_{A-B} = \eta L H_W (2 g H_W)^{1/2}$$

essendo

(Q_{SF}) = portata sfiorata nella vasca di laminazione espressa in m^3/sec

η = coefficiente di deflusso in soglia sottile = 0,40

L = lunghezza convenzionale della soglia ridotta a 11,00m per tener conto degli ingombri e delle contrazioni di vena dovuti alle gargamature presenti sul profilo per consentire l'inserimento dei panconi

H_W = altezza del carico idrico utile sopra alla soglia

g = accelerazione di gravità assunta pari a $9,81m/s^2$

Il manufatto "C" esclusivo a V1, contrariamente ai precedenti, è uno stramazzone a larga soglia; ha la funzione di sfioratore di sicurezza (troppo pieno) che da luogo al debordamento raggiunta la massima quota di regolazione. Esso è in pietra per una lunghezza di 20,00m senza possibilità di modificare la geometria di deflusso. L'altezza utile d'acqua raggiungibile sopra la soglia (che determina la quota di massima regolazione) risulta sempre $< 0,5t$ con

$t=2,50m$. La legge del passaggio dell'acqua sopra lo sfioratore è analoga alla precedente, definibile dalla relazione:

$$(Q_{SF})_C = \eta L H_W (2 g H_W)^{0,5} \text{ con } \rightarrow \eta = 0,385; L=20,00m$$

2.2 Scarichi di fondo e manufatto di scarico Vasca V2

Ogni sfioratore è dotato di scarico di fondo per funzionalità totale (con sfioratore inattivo), integrativa (a supporto dello sfioratore) ovvero per svuotamento della vasca (nel caso dello stramazzo in pietrame a larga soglia). Strutturalmente trattasi di una paratoia metallica con apertura a partire dal fondo del manufatto che consente quindi di intercettare tutta la portata in arrivo.

L'immissione del Colatore Sillaro in vasca V2 è costituita da 3 manufatti di sezione rettangolare posti in parallelo e dalle dimensioni $1,50 m * 0,40 m$ ciascuno, con una dinamica di deflusso da luce ad efflusso a battente rigurgitata. La legge di deflusso è funzione della apertura H della paratoia stessa, a corrente libera ($H \geq H_W$) il funzionamento è analogo allo stramazzo a larga soglia fino al raggiungimento della quota di massima regolazione dopo di che risulta rigurgitato, sotto battente invece ($H < H_W$) essendo costante la luce di passaggio $L_A=L_B=L_C=1,50m * 3$ è la seguente:

$$(Q_{SCA}) = \eta L H [2 g (H_W - 1/2H)]^{0,5}$$

Essendo

$(Q_{SCA}) = \text{portata scaricata in } m^3/\text{sec}$

$\eta = \text{coefficiente di deflusso} = 0,61$

$L = \text{larghezza della bocca di scarico} = 1,50m$

$H = \text{carico a monte della bocca}$

$g = \text{accelerazione di gravità assunta pari a } 9,81m/s^2$

2.3 Canalizzazioni

Entrambe le vasche di laminazione dispongono di tratte di canalizzate funzionali direttamente o meno al riempimento o allo svuotamento delle vasche stesse. Si distinguono due tipologie divergenti tanto per geometria che per struttura, trattandosi infatti di sezioni rettangolari con pareti in conglomerato cementizio e trapezoidali con profilo parzialmente rivestito con pietrame. Le prime sono previste nei punti singolari (nodi idraulici, diversioni, collegamenti con manufatti sfioratori e scarichi di fondo) le seconde nel resto degli sviluppi canalizzati.

Le verifiche idrauliche sono eseguite con lo stesso procedimento nell'ipotesi di deflusso in moto uniforme applicando la classica relazione:

$$Q_W (m^3/s) = [A_W (m^2) V_W (m/s)] = A_W K_{(G-S)} (2 g H_W)^{0,5}$$

Con il seguente significato dei simboli

$H_W = \text{altezza idrica nella sezione massima regolazione}$

B = base della sezione rettangolare o base minore della sezione trapezoidale

B' = base maggiore della sezione trapezoidale

$K_{(G-S)}$ = coefficiente di scabrezza secondo la relazione di Gauckler-Strickler (30÷55)

J = cadente motrice coincidente con i = pendenza del fondo (moto uniforme)

A_W = area liquida in $m^2 = (BH_W)$ ovvero $H_W(B+B')/2$

V_W = velocità media della corrente in m/s

Q_W = portata defluente in m^3/s

Per tutti i tratti canalizzati sono disponibili pendenze modeste, tipiche del reticolo irriguo idraulico di pianura; inoltre, tenuto conto della ciclicità degli interventi manutentivi, mediamente di frequenza semestrale, si ipotizza la possibilità della formazione di depositi e ostruzioni nella sezione utile che possono pregiudicare il normale defluire delle acque. La scelta quindi dei parametri idraulici, assunti a base di verifica è stata cautelativa, ovvero:

$K_{(G-S)}$ = coefficiente di scabrezza secondo la relazione di Gauckler-Strickler è assunto pari a 55 per le pareti in conglomerato cementizio e 30 per gli alvei con sponde rivestite in pietrame

J = cadente motrice coincidente con i = pendenza del fondo (moto uniforme) è stata assunta pari a (0,03-0,04)%

Gli schemi grafici riportati a seguire riassumono le caratteristiche idrauliche e geometriche che esprimono le potenzialità di deflusso di ogni singola sezione significativa, il confronto tra la portata (Q_{sf}) sfiorata o (Q_W) defluita espresse in m^3/s è confrontabile con il valore di progetto Q_{PROG} assunto alla base delle verifiche, ovvero, con la capacità di deflusso attesa. L'adeguatezza del dimensionamento è confermata dal confronto tra i valori potenziali e quelli attesi, cioè:

$$(Q_{sf}) \text{ o } (Q_W) \geq Q_{PROG}$$

3.0 La funzionalità delle vasche

Circa la funzionalità delle vasche è opportuno ribadire i seguenti concetti già in parte espressi.

(*) la regolazione delle vasche avverrà all'atto pratico in relazione alle evoluzioni del processo alluvionale. In questo frangente progettuale, sempre assumendo a base di progetto le "esperienze" in proposito registrate, soprattutto quelle recenti, si possono effettuare simulazioni che ipotizzano uno stato di piena e la risposta del sistema all'uopo predisposto per la difesa idraulica del territorio (non solo opere); sarà però l'organizzazione di regolazione (attualmente il Mo.P.A.I.) che assumerà, fatte le valutazioni del momento, le decisioni ritenute più adeguate. Va da sé infatti che la dinamica completa non sarà mai definitivamente nota se non verso l'esaurimento del processo idrologico idraulico, ovvero, dalle piogge cadute agli scorrimenti territoriali e quindi al passaggio dell'onda di piena all'interno del colatore e, a ben vedere, nemmeno in quel tempo, si avrà la certezza assoluta degli sviluppi successivi in quanto molteplici evenienze (ostruzioni, smottamenti, cedimenti di manufatti, malfunzionamenti di dispositivi e quant'altro) potrebbero rendere necessaria una modifica indifferibile di una manovra o dell'intera strategia di *resilienza* idraulica programmata che, in definitiva, è il senso del sistema progettato. Quanto sopra a significare come l'idraulica teorica possa, pur nella sua grande utilità, differenziarsi da quella che si manifesta a volte drammaticamente sul territorio. Saranno quindi i tecnici che con la loro capacità, esperienza, osservazione, impegno e, perché no, anche coraggio, determineranno all'atto pratico le condizioni più favorevoli o, se si vuole, meno sfavorevoli possibile e tutto ciò come già praticato con successo in passato.

(*) l'inciso precedente vuole richiamare l'attenzione sulla innegabile utilità delle opere previste in progetto che non può e non deve in nessun modo essere messa in discussione sulla base di

congetture aprioristiche teoriche; si potrà discutere sulle curve scelte, sui coefficienti più o meno adeguati ecc, ma non può essere messa in discussione l'efficacia della laminazione conseguente che, pur essendo posizionate specificatamente all'utilità locale, produrranno, degli innegabili benefici a valle. Il regolatore potrà decidere di riempire le vasche singolarmente, in serie o in parallelo, in modo autonomo dal resto del sistema oppure in sinergia con le altre opere, ma, in ogni caso, sempre e comunque queste opere una volta eseguite, tratterranno ~80.000m³ di invaso d'acqua che vengono risparmiate ai centri abitati prioritariamente, alle infrastrutture e alle campagne (la graduatoria non è casuale).

(*) l'efficacia ottimale della regolazione propria e del sistema, già di per sé apprezzabilmente ottenuta con i lavori eseguiti a partire dal 2016, sarà aumentata progressivamente dall'esperienza così detta di "campo" sulla base del numero e della violenza degli eventi futuri; l'invaso delle vasche sarà deciso sulla base delle previsioni meteo in ordine al possibile sviluppo dell'evento nel senso che, il regolatore, preferibilmente, tenderà a riempire V1 e V2 ad ogni manifestazione cercando di riservare l'apertura a riduzione del colmo di piena per attenuare gli effetti più pericolosi dell'evento. Il volume trattenibile infatti può sembrare molto piccolo rispetto ai volumi prodotti dalle piogge (gli eventi di piena verranno analizzati a seguire), come in effetti è (~1/7), tuttavia l'utilità è riconducibile proprio al contenimento del citato picco che si manifesta in quel pur breve intervallo di tempo però sufficiente a provocare i debordamenti dagli argini.

(*) in caso di piene previste o prevedibili di lungo tempo di ritorno, si potrà decidere, sempre per le ragioni sopra espresse, di riservare V1 e V2 ovvero la laminazione del sistema o parte di esso alle portate di colmo attese.

(*) la regolare ed adeguata manutenzione delle vasche, dei manufatti e dei dispositivi è azione imprescindibile per conservare inalterata efficienza ed efficacia del sistema.

Preliminarmente alla descrizione funzionale dei due invasi è opportuno richiamare i così detti periodi idrologici idraulici che identificano l'esercizio del Sillaro.

1-assenza di precipitazioni al di fuori del periodo di irrigazione: siamo in una condizione così detta di "magra", le presenze idriche nei corsi d'acqua sono marginali, nell'intorno di 1,00m³/sec o poco più; la regolazione, tendenzialmente stabile, è finalizzata a direzionare gli scorrimenti naturali con minime variazioni di qualche diecina di l/s, verso i rami che presentano le maggiori necessità di un deflusso minimo.

2-assenza di pioggia nel corso della irrigazione: le presenze idriche nel corso d'acqua sono dovute al drenaggio di irrigazioni di monte, raccolte e regimate appositamente per le esigenze minime dei territori agrari di valle sottesi direttamente o indirettamente dal Sillaro (le relazioni idrologica ed idraulica allegata evidenziano la complessa azione distributiva con acque di riuso che sono una peculiarità comprensoriale); le acque drenate dal Sillaro di Bargano (vedasi schema della vasca V1) sono > di quelle del Sillaro di Villanova, viceversa, le necessità irrigue da direzionare lungo la tratta 0-4-5 sono < di quelle necessarie per 0-3, quindi, usualmente, durante l'irrigazione avviene un trasferimento tramite la paratoia del manufatto "o" per equilibrare le portate secondo gli usi, pur in un contesto di deflussi oscillanti generalmente nei seguenti intorni:

$$Q_{0-4} = (1,00-2,00) \text{ m}^3/\text{sec}; Q_{0-3} = (0,50-1,20) \text{ m}^3/\text{sec}.$$

E' importante rilevare che la portata Q_{0-3} direzionabile nel ramo irriguo del Sillaro di Bargano secondo le intenzioni di progetto sarà determinante per integrare significativamente l'azione laminante di V1 estromettendo dal sistema del Sillaro di Villanova portate $Q_{0-3} \leq 1,00\text{m}^3/\text{sec}$,

ovvero: il ramo irriguo che si origina dal manufatto “o” in caso di necessità potrà essere utilizzato anche come scolmatore per integrare la laminazione statica con quella in linea fino a portate di $1,00\text{m}^3/\text{sec}$ e anche poco oltre se necessario

Nel periodo irriguo è ipoteticamente prevedibile la sovrapposizione di piogge con i deflussi agrari che nel qual caso dovranno opportunamente essere interrotti per liberare gli specchi dalle corrivazioni pluviali.

3-manifestazione pluviale in corso al di fuori della stagione irrigua: le presenze idriche nei corsi d’acqua sono quelle di deflusso minimo di mantenimento, alterate più o meno intensamente dalle acque prodotte dalle piogge con estrema variabilità; detta mutabilità, nel caso specifico di colatori interni è convenzionalmente espressa dalle curve T_{100} , T_{50} e T_{20} , ottenute secondo le procedure indicate nel corso delle analisi idrologiche ed idrauliche più volte richiamate. Le prime due (T_{100} , T_{50}) si manifestano statisticamente in primavera e soprattutto in autunno, quindi non in sovrapposizione alla pratica irrigua, T_{20} invece, come accennato, ha anche una rarissima possibilità di verificarsi in concomitanza alla distribuzione idrica alle campagne ($T > 100$).

Le condizioni generali testé richiamate vengono di seguito apposte alle specificità fisiche ed idrauliche delle due vasche al fine di definirne, pur in ambiti codificati, la funzionalità propria.

3.1 La vasca di Borgo San Giovanni (V1)

Come detto l’ubicazione prevista è prossima alla zona produttiva di Borgo San Giovanni, soggetta, unitamente ad una parte del nucleo residenziale ad allagamenti sia del Sillaro di Villanova che di quello di Bargano, suo diretto immissario tramite il manufatto “o” (vedasi schemi grafici riportati a seguire). L’invaso è posizionato subito a valle di detto manufatto, quest’ultimo già esistente e non facente parte degli interventi previsti dal presente progetto, tuttavia funzionalmente essenziale per la vasca, in quanto consente l’immissione unilaterale controllata delle acque dal Sillaro di Bargano a quello di Villanova. Da questo manufatto le portate vengono direzionate in base alla necessità del caso, parte lungo il percorso 0-1-2-3 (Sillaro di Villanova) e parte lungo 0-3’-4 (Sillaro di Bargano), dove, nei punti 3 e 3’, tramite specifici manufatti, rispettivamente “A” e “B”, può avvenire l’immissione in vasca; questa quindi risulta alimentabile contemporaneamente o separatamente in due precisi punti idraulicamente presidiabili, posti lungo i due corsi d’acqua su cui si intende agire allo scopo di condizionarne i colmi di piena per ridurre il rischio idraulico individuato nelle aree limitrofe. Al riempimento, come accennato, si procede o tramite immissione di fondo con paratoia ovvero con una soglia sfiorante, oltre il cui livello le acque debordano in vasca. Le quote di prelievo del manufatto A è a quota 72,40; anche i livelli di avviamento dello sfioro possono essere diversi, attuabili (fermo restando tutti i criteri espressi in 3.0) quando nel tratto 0-1-2-3-4’ le portate assumono valori $\geq 1,00\text{m}^3/\text{sec}$, mentre nel tratto 0-3’-4 valori $\geq 0,80\text{m}^3/\text{sec}$. La regimazione, sulla base del predetto assunto, ammette la possibilità di divergere nelle due direzioni portate, per così dire, “ammissibili” dalla regolazione di valle, la differenza sostanziale è che mentre $Q_{(0-1-2-3-4’)} \geq 1,00\text{m}^3/\text{sec}$ resta all’interno del bacino del Sillaro di Villanova andando quindi a contribuire al colmo delle tratte successive, $Q_{(0-3’-4)} \geq 0,80\text{m}^3/\text{sec}$ fino a valori $\sim 1,00\text{m}^3/\text{sec}$ ma anche leggermente maggiori se necessario, è a tutti gli effetti una componente (significativa) della laminazione (in questo caso in linea) in quanto direzionata extra bacino secondo condizioni di accertata sicurezza (condizioni limite si raggiungono con $Q_{(0-3’-4)} \geq 1,50\text{m}^3/\text{sec}$). La vasca di forma pseudo rettangolare ha il fondo posto alla quota costante di 72,40m (slm), i due lati dello stesso fondo si sviluppano per 125m e 98m con una superficie di $\sim 12.000\text{m}^2$. Le sponde sono inclinate

di 45° e raggiungono quota massima di 74,30m(slm) che si mantiene costante lungo tutto il perimetro. Convenzionalmente il volume di regolazione è fissato nell'intervallo tra quota 72,40 e quota 73,75 di sfioro del manufatto "C" che funge da troppo pieno. Il massimo invaso è invece esteso alla quota che consente lo scarico massimo di 4,00m³/s (corrispondente alla portata T100 defluente a monte di V1) da parte dello sfioratore "C" a ~74, a detta quota si raggiunge il massimo invaso cui viene assegnato un valore di 19.360m³.

Quindi, all'eventuale completo esaurimento del volume netto disponibile, il livello in vasca raggiunge la quota della soglia sfiorante di emergenza (73,75m slm-manufatto "C") da cui le acque debordano nella sottostante vasca di dissipazione posta alla confluenza del canale 4'-4 (estranea alla vasca) alimentato dalla vicina area produttiva (manufatto "D") e dalla tratta di deviazione del Sillaro di Villanova direzione 3-4'; i due tronchi di canale e lo sfioratore di emergenza confluiscono nel nuovo segmento del Sillaro di Villanova 4'-5 che ha una portanza idraulica >5,00m³/sec, contro i 4,50m³/sec che in T100 si producono alla confluenza 4' che, come accennato, sono così distinti:

-(Q)_{T100} all'incile della tratta 4'-5 =4,50m³/sec

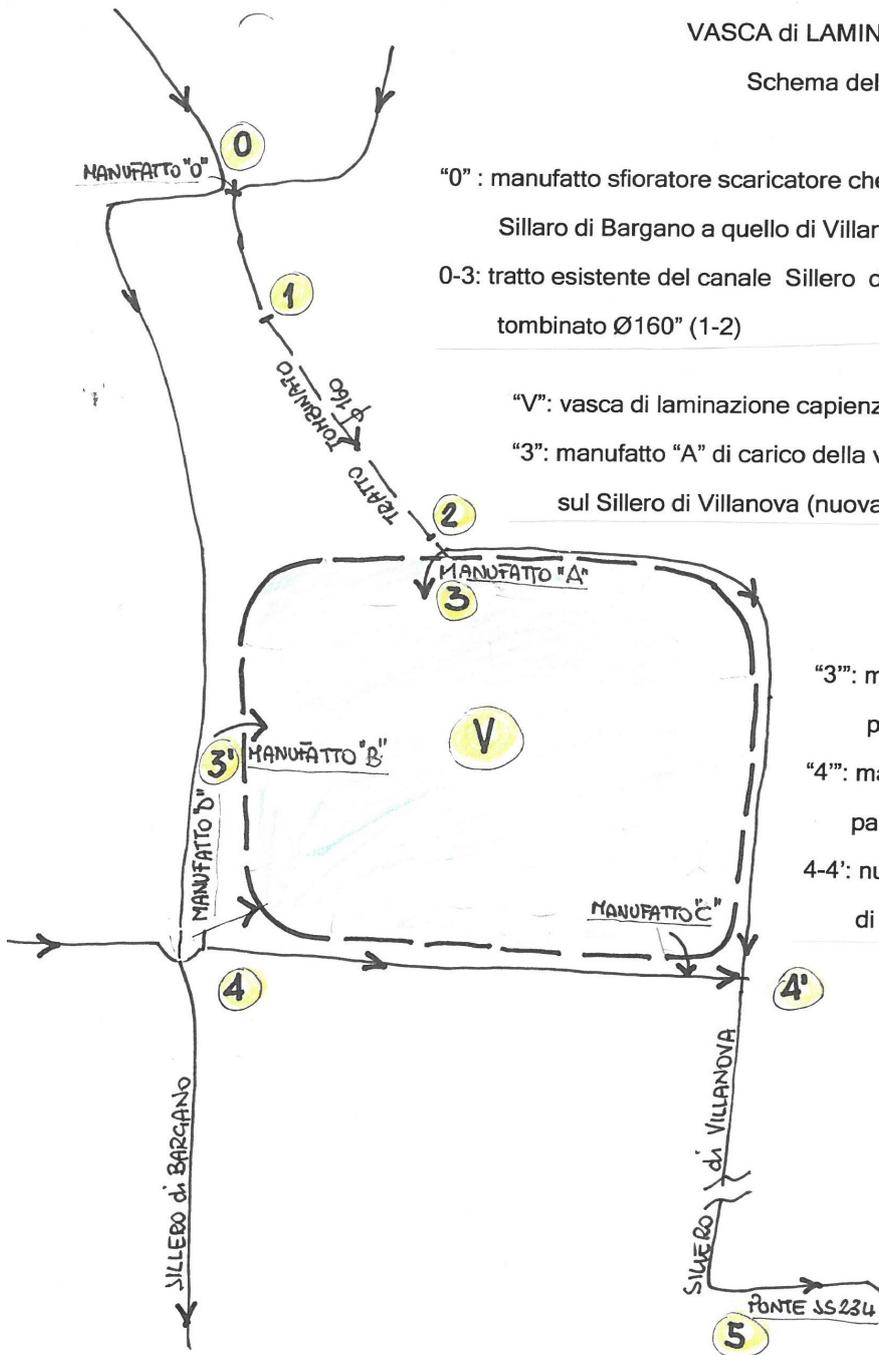
-(Q)_{T100} defluenti dal canale 4-4' =0,50m³/sec

-(Q)_{T100} defluenti dal bacino posto a monte di V1=4,00m³/sec

In un episodio di piena che produce volumi eccedenti la capienza di laminazione (19.360m³) allor quando sopra lo sfioratore del manufatto "C" si raggiunge quota 74~ di massimo invaso, l'azione di trattenimento volumetrico di V1 si esaurisce istaurandosi una sorta di equilibrio dell'invaso. Nella circostanza la soglia di sfioro di "A" risulta rigurgitata ed il canale 3-4' raggiunge la massima altezza di deflusso (Hw=1,60m) che si allinea in cadente pressoché costante lungo gli sviluppi di 3-4' e quindi di 4'-5 alimentato anche dalle immissioni di 4-4' e dallo sfioratore di emergenza "C"; la tratta 1-4'-5 di nuova esecuzione assicura, rispetto ad oggi una potenzialità idraulica superiore La fascia di servizio attigua a tutto lo sviluppo perimetrale dell'invaso resta accessibile in ogni circostanza con un margine di sicurezza (franco) ≥0,25cm, ciò consente di presidiare il sistema e, fermo restando il posizionamento delle soglie mobili e l'eventuale integrazione e o abbassamento delle stesse, si potrà anche decidere di attivare l'invaso con la paratoia, questa modalità, pur richiedendo per ora la presenza del manovratore, consente una regolazione sicuramente più adattabile alla contingenza. All'esaurimento dell'evento si potrà procedere allo svuotamento a gravità dell'invaso tramite uno scarico di fondo inserito nel manufatto "C" in grado di rimuovere tutto il volume d'acqua accumulato in ~ 5 ore, immettendolo nel tratto 4'-5.

VASCA di LAMINAZIONE di BORGO SAN GIOVANNI

Schema delle opere esistenti ed in progetto



"0" : manufatto sfioratore scaricatore che direziona le acque dal Sillero di Bargano a quello di Villanova

0-3: tratto esistente del canale Sillero di Villanova con tratto tombinato Ø160" (1-2)

"V": vasca di laminazione capienza utile 22.800m³

"3": manufatto "A" di carico della vasca di laminazione posto sul Sillero di Villanova (nuova tratto 3-4'-5)

"3'": manufatto "B" di carico della vasca posto ramo esistente di Bargano

"4'": manufatto "C" di troppo pieno e di parziale svuotamento di "V"

4-4': nuovo tratto di immissione nel ramo di Villanova

"4": manufatto "D" di scarico in "V" del canale 4-4' connesso con il sottopasso Al ramo del Sillero di Bargano

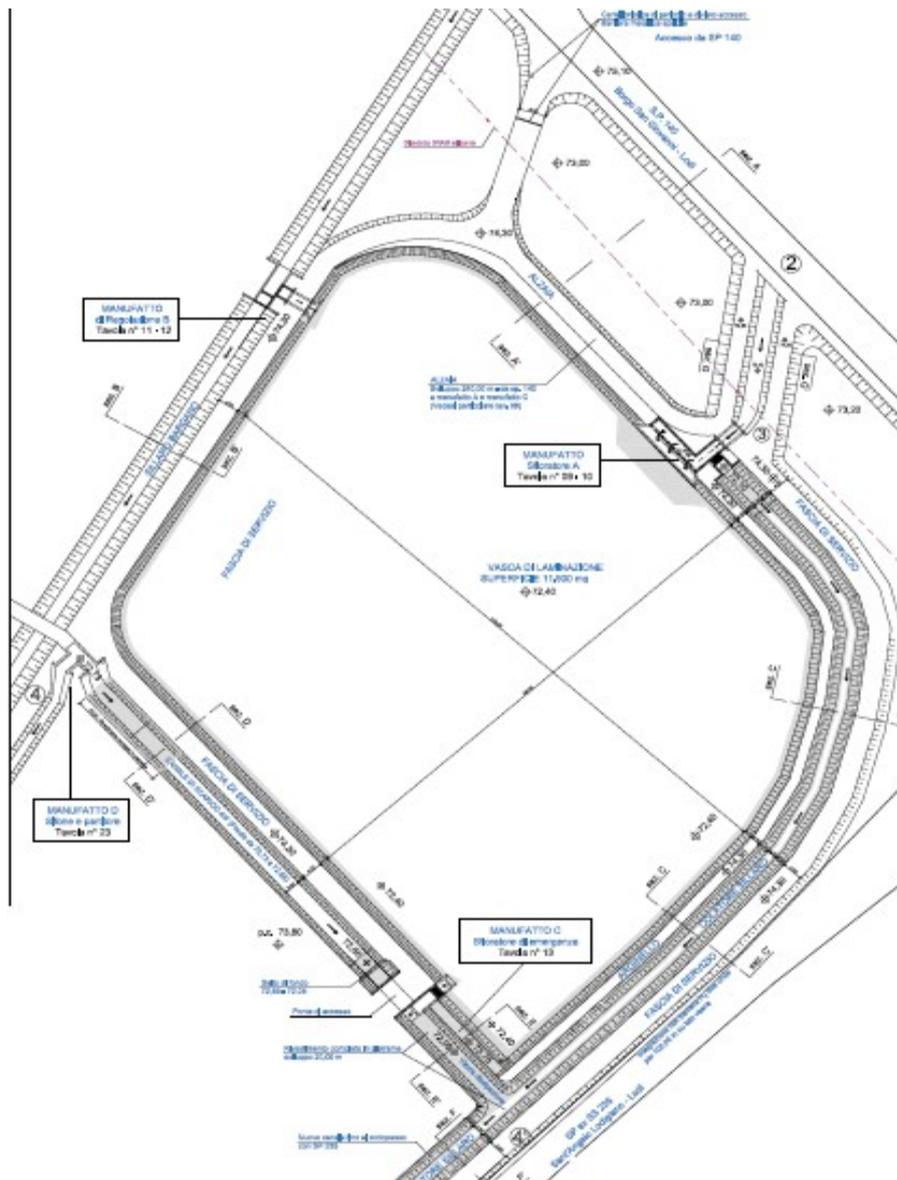
0-3'-4: tratto esistente del ramo di Bargano da ricalibrare



Parte terminale del collettore che collega il manufatto "o" con l'invaso V1



Manufatto "o" di regolazione tra le portate dei colatori Sillero Bargano e Sillaro Villanova



V1 vasca di laminazione di Borgo San Giovanni: planimetria

3.2 La vasca di Pieve Fissiraga

L'ubicazione della vasca di Pieve Fissiraga è stata scelta lungo la sponda destra del Sillaro di Villanova, approssimativamente 1Km a valle dello scarico principale del omonimo comune che, dopo ~500m è integrato dell'ingresso dal Sillaretto di Pieve che drena ampie aree impermeabili di una zona commerciale. Lungo detta tratta, in determinate circostanze (vedasi relazioni idrologica ed idraulica) le acque del colatore, possono dar luogo a diffusi allagamenti (anche di rigurgito delle immissioni del reticolo di drenaggio urbano) tanto nelle zone residenziali del comune citato che su un tratto della provinciale 188, interrompendone la percorribilità. La posizione dell'invaso, quindi, subito a valle di dette immissioni, favorirebbe un apprezzabile abbattimento del colmo di piena riducendo sensibilmente gli effetti sulle aree vulnerabili sopra descritte. La vasca sarà alimentabile da uno specifico manufatto costituito da tre bocche di scarico di larghezza 1,50 metri e altezza 0,40 m, da eseguire in fregio alla citata strada provinciale. La quote di fondo di questo canale di collegamento è di 71,0m (slm) quando nel Sillaro si raggiungono valori di portata $\geq 2,00\text{m}^3/\text{sec}$, Il manufatto è governato da una paratoia di altezza pari un metro che può essere opportunamente regolata. Il fondo della vasca che, come spiegato nella relazione generale, sarà nuovamente coltivabile, è previsto a quota 71 (mslm).

possibile. Dal più volte citato studio idrologico ed idraulico che definisce sul bacino e sul corso d'acqua in oggetto ogni elemento caratterizzante la classica dinamica afflussi-deflussi, ovvero:

piogge → scorrimenti-trattenimenti sul territorio → deflussi nel colatore → onde di piena

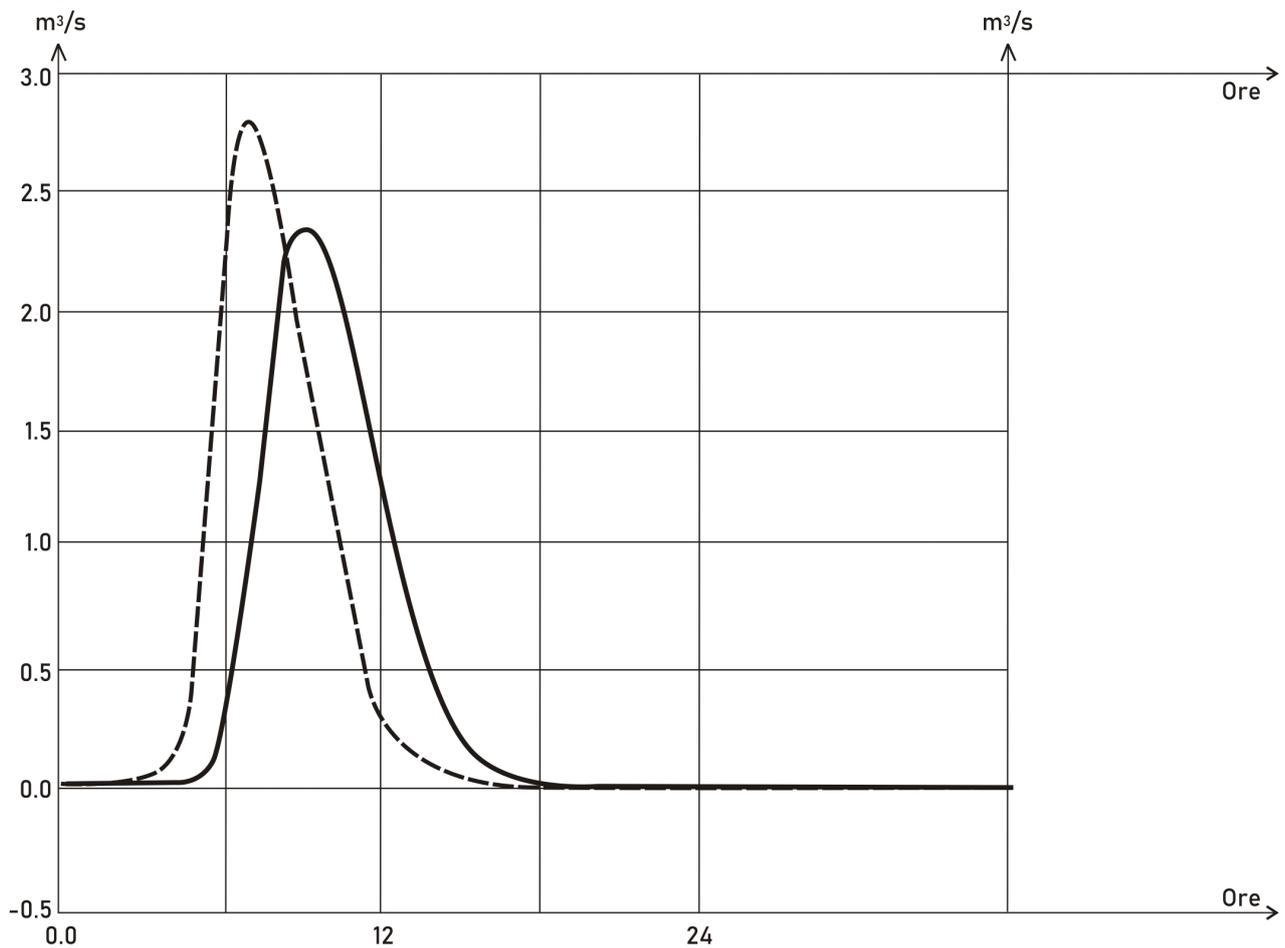
si estrae l'episodio forse più "classico" per un colatore interno come il Sillaro di Villanova, cioè l'evento T20, quello verificabile quindi almeno una volta nel ventennio. Lo scenario supposto è circoscritto alla tratta in cui si manifestano le dinamiche idrauliche che originano il processo del sistema laminante connesso a V1 e V2, anche se, a margine si evidenzieranno i vantaggi prodotti a valle. Confermando che una piena non può essere valutata aprioristicamente e che l'approssimazione previsionale tende a diminuire con l'avvicinarsi del colmo secondo lo sviluppo idrologico-idraulico sopra richiamato, si propongono a seguire un paio di ipotesi di laminazione con la finalità, come detto, di aprire il più possibile alla percezione comune.

4.1 Gli idrogrammi di piena

Premettendo che nel contesto del possibile verificarsi di una manifestazione T20 la così detta preallerta (nella fattispecie del citato Mo.P.A.I) è generalmente già in atto al momento delle previsioni di pioggia, le dinamiche che si potranno verificare lungo il corso d'acqua sono rappresentate dagli idrogrammi (T20) riportati successivamente.

La prima curva (A) riguarda il tratto 4, nella sezione posta immediatamente a monte di V1, in corrispondenza del manufatto "o" , caratterizzabile come segue:

- arco temporale complessivo della manifestazione (T_{TOT}) ~ 22 ore;
- colmo di piena (Q_{MAX}) pari a 2,30 m³/sec raggiunti in 9 ore ($T_{Q_{max}}$) permanenti per poco meno di un'ora ($t_{Q_{max}}$);
- volume d'acqua complessivo (V_{MAX}) defluibile nelle 22 ore, pari a ~ 63.000 m³;
- tempo di permanenza di portate $\leq 1,00$ m³/sec è di ~ 16ore cui corrispondono volumi di ~ 44.000m³;
- tempo di permanenza di portate $> 1,00$ m³/sec è di ~ 7ore cui corrispondono ~ 19.000 m³.

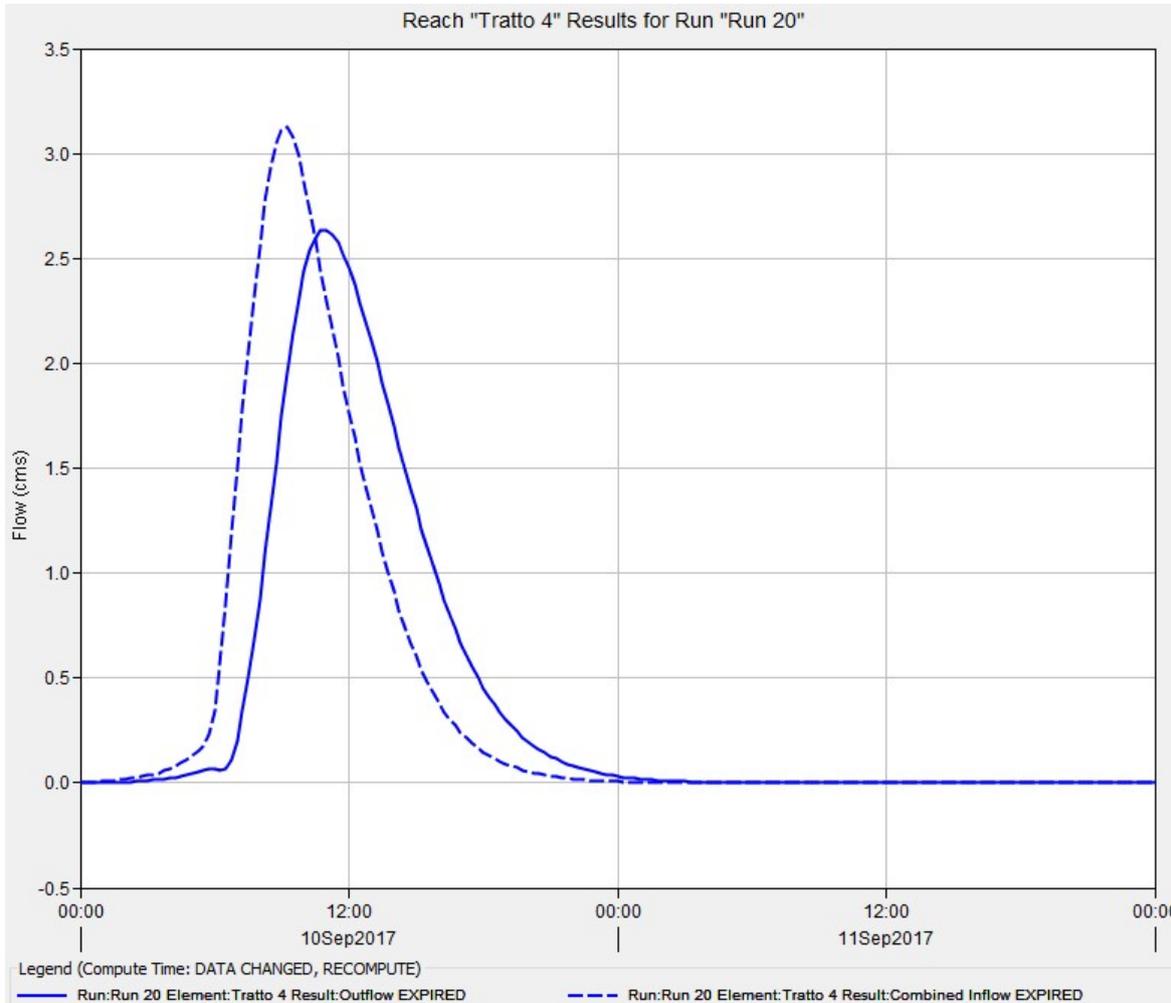


Idrogramma (A) di piena T20- sezione di chiusura a monte di V1

La seconda curva (B) riguarda ancora il tratto 4, ma nella sezione posta immediatamente a valle di V1, in corrispondenza del punto 4' ovvero alla confluenza delle portate dei canali 3-4', 4-4' e dello sfioratore manufatto "C"; rispetto alla precedente la diversità sta nell'integrazione del colmo di piena con la portata immessa da 4-4' stimata in 0,3 m³/sec. non considerato nell'idrogramma come scarico puntuale. Esso è caratterizzato come segue:

- arco temporale complessivo della manifestazione (T_{TOT}) ~ 23 ore;

- colmo di piena (Q_{MAX}) pari a 2,60 m³/sec raggiunti in 10,5 ore (T_{Qmax}) permanenti per poco meno di un'ora (t_{Qmax});
- volume d'acqua complessivo (V_{MAX}) defluibile nelle 23 ore, pari a poco più di 68.000 m³;
- tempo di permanenza di portate $\leq 1,00$ m³/sec è di ~ 17 ore cui corrispondono volumi di ~ 43.000 m³;
- tempo di permanenza di portate $> 1,00$ m³/sec è di ~ 6 ore cui corrispondono ~ 25.000 m³.



Idrogramma (B) di piena T20- sezione di chiusura a valle di V1

La terza curva (C) è relativa alla sezione di chiusura del tratto 6 in corrispondenza di V2, dove, in buona sostanza, si intende laminare con il sistema V1-V2 quanto più possibile dei volumi prodotti a monte ovvero che defluiscono in T20 nelle tratte da 1 a 6 compresa e quindi più a valle. Di detti volumi l'idrogramma "C" ne sintetizza le dinamiche composite di due curve (vedasi grafico):

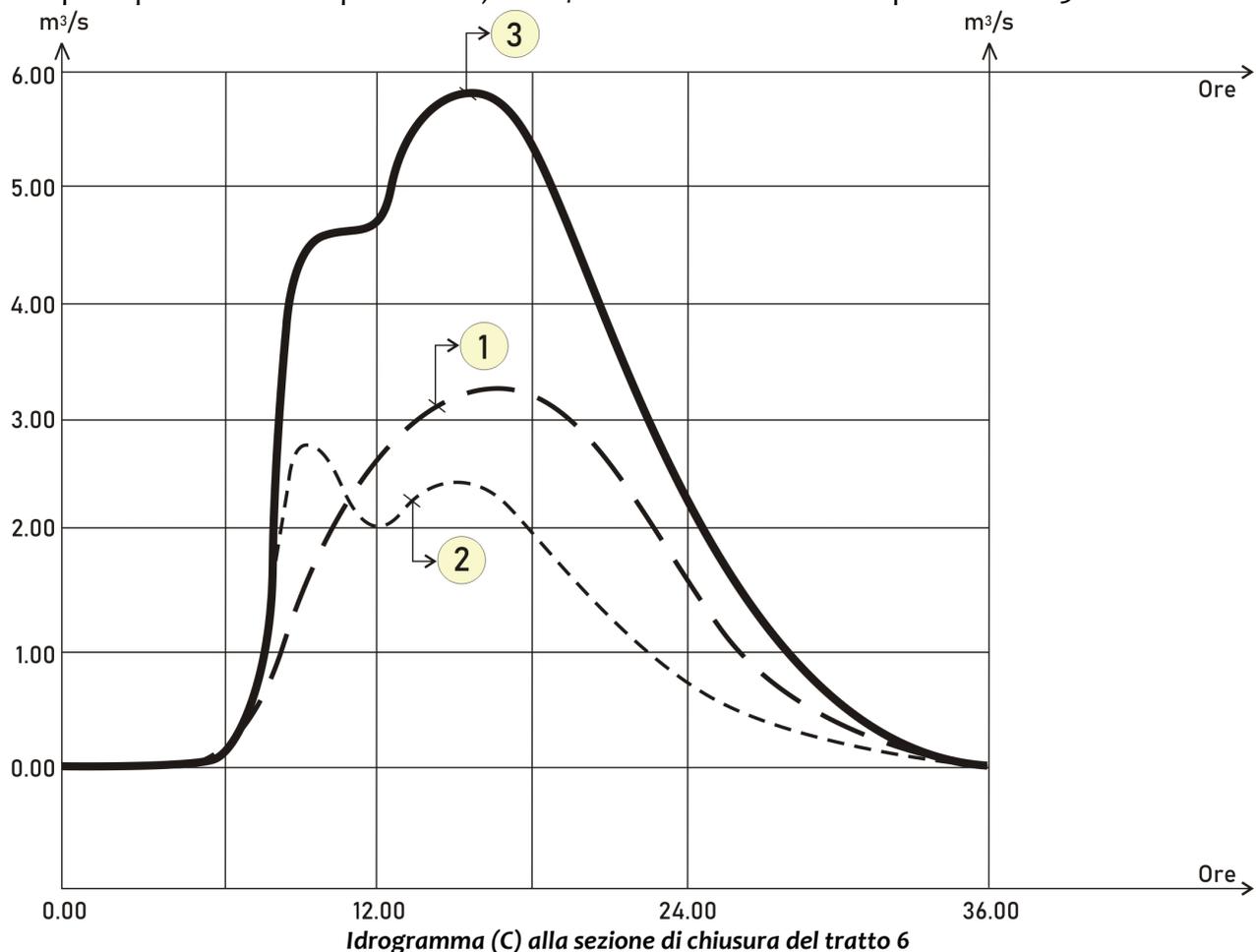
- (1c) che rappresenta in sostanza l'evoluzione di "B" in uscita da V1; l'onda di piena, nel tragitto 4-5, si è dilatata per volume complessivo e per permanere del colmo che raggiungerebbe 3,30m³/s, stazionario sopra il valore di 3m³/s per oltre 6ore in virtù degli incrementi dovuti alle immissioni diffuse delle campagne attraversate dal Sillaro seguite dai contributi dell'abitato di Pieve Fissiraga. Come meglio approfondito a seguire, detto apice, apparentemente ininfluenza (0,30m³/s per un volume di ~ 3500 m³) di fatto rappresenta già un rischio di rigurgito per le condotte di immissione urbane che infatti si avvia (senza produrre danni) a partire da portate

$>3\text{m}^3/\text{s}$. La curva (1c) ha una durata di ~ 27 ore di cui ~ 19 ore con deflussi $>1,00\text{m}^3/\text{s}$ e chiude un volume $\sim 160.000\text{m}^3$ di cui $\sim 75.000\text{m}^3$ generati da portate $\leq 1,00\text{m}^3/\text{s}$.

-(2c) è l'idrogramma che identifica l'immissione del Sillaretto di Pieve (da non confondere con l'altro Sillaretto, ovvero, quello di Villanova) lungo la sponda sinistra del Sillero sostanzialmente alla sezione di chiusura della tratta 6 poco a monte di V2. La curva (2c) raggiunge molto repentinamente il colmo di piena a poco meno di $3\text{m}^3/\text{s}$ producendo nella stessa evoluzione temporale di (1c) un volume di $\sim 139.000\text{m}^3$ di acqua; apparentemente anomala l'evoluzione caratterizzata da due picchi relativamente vicini entrambi $>2\text{m}^3/\text{s}$ (dipendenti dai tempi e volumi del bacino sotteso dal Sillaretto) che influenzano con evidenza la curva definitiva (3c).

-(3c) è l'idrogramma che identifica gli effetti congiunti dei due precedenti, ovvero (1c)+(2c) che da luogo ad una piena origine di allagamenti, soprattutto per rigurgito dei condotti dei due centri urbani (Borgo e Pieve) che si immettono nel percorso. La curva (3c) raggiungerebbe un colmo di $5,80\text{m}^3/\text{s}$ mantenendolo per l'apprezzabile tempo di oltre $10\text{ora}\frac{1}{2}$. La rappresentazione di sintesi mette in evidenza le seguenti particolarità esprimibili strumentalmente al successivo passaggio che tratta della laminazione (i valori sono arrotondati):

- arco temporale complessivo della manifestazione (T_{TOT}) ~ 30 ore;
- colmo di piena (Q_{MAX}) pari a $5,80\text{ m}^3/\text{sec}$ raggiunti in ~ 8 ore ($T_{Q_{\text{max}}}$) permanenti per $10\text{ora}\frac{1}{2}$ o poco più ($t_{Q_{\text{max}}}$);
- volume d'acqua complessivo (V_{MAX}) defluibile nelle 30 ore è pari a poco più di 310.000 m^3 ;
- tempo di permanenza di portate $\leq 1,00\text{ m}^3/\text{sec}$ è di ~ 21 ore cui corrispondono volumi di $\sim 43.000\text{m}^3$;
- tempo di permanenza di portate $> 1,00\text{ m}^3/\text{sec}$ è di ~ 6 ore cui corrispondono $\sim 25.000\text{ m}^3$.



Idrogramma (C) alla sezione di chiusura del tratto 6

3.3.1 Una ipotesi di laminazione

Il tentativo riportato a seguire è la riproduzione pratica, ancorché ipotetica, del processo di regolazione che potrebbe essere attuato in occasione di un evento di piena. Si è detto di assumere alla base delle valutazioni una manifestazione T20, ovvero, riconducibile ad un episodio che ha la probabilità di verificarsi almeno una volta nel ventennio, circostanza quindi tutt'altro che solita anche se non eccezionale. Si è detto anche che l'allerta idro-meteo dovrebbe già essere stata attivata almeno dalle precedenti 24 ore, tempo più che sufficiente per stabilizzare i deflussi (per esempio escludendo quelli eventualmente presenti per l'irrigazione) e/o gli apparati di regolazione (profili e sezioni degli scarichi); detto altrimenti: Sillaro di Villanova e Sillaro Bargano dovrebbero essere pronti alla esclusiva destinazione di drenaggio. Lo scenario atteso è quello già visto alla sezione di chiusura del tratto 6 in corrispondenza di V2, dove si intende laminare con il sistema V1-V2 quanto più possibile dei volumi prodotti a monte (~310.000m³) ma soprattutto "tagliare" gli apici di piena che a Pieve Fissiraga, dopo l'immissione del Sillaretto, sfiorano i 6m³/s: sono queste le circostanze problematiche.

L'idrogramma già visto (3c) identifica l'evoluzione della manifestazione alluvionale che dovrebbe esaurirsi in ~ 30 ore, producendo un volume d'acqua complessivo di ~310.000 m³, con portate che sfiorano valori di 6m³/s, sono i livelli corrispondenti che, pur non oltrepassando gli argini, rappresentano il problema citato del rigurgito.

La regolazione ha luogo a partire dalla vasca di Borgo San Giovanni che, come quella di Pieve è vuota. L'evento atteso al manufatto "0" (curva "A") dovrebbe presentarsi con un colmo di piena pari a 2,30 m³/sec ed un volume d'acqua complessivo esauribile in ~22 ore di ~63.000 m³; ai deflussi >1,00m³/sec corrispondono ~18.000m³, ovvero un volume molto prossimo alla capacità di trattenimento di V1 (~19.360 m³). Le soglie dello sfioratore-scaricatore "0" sono predisposte per direzionare verso il Sillero Bargano (0-4) portate ≤1,00 m³/sec, quelle eccedenti quindi fino a 1,30m³/sec, vengono direzionate totalmente in V1 che viene quindi destinata alla laminazione del colmo di piena (si ripete che trattasi di un'ipotesi magari smentita all'atto pratico dalla regolazione attuata).

Se le attese sono confermate in 22-23 ore si esaurisce la piena con una laminazione totale dei volumi intercettati dal sistema a monte di V1; ~63.000m³ sono stati trattenuti o direzionati diversamente dai deflussi del Sillaro di Villanova, estromettendoli dal contesto di rischio crescente altrimenti sviluppabile lungo il Sillaro stesso. Anche il livello del Sillaro Bargano è stato contenuto entro i limiti 1,00m³/sec sotto la soglia di criticità che caratterizza tanto le aree di recapito delle portate deviate con la laminazione in linea, quanto gli insediamenti di Borgo San Giovanni posti a monte soggetti a rigurgiti.

A valle di V1, lungo la tratta 4'-5 in direzione Pieve Fissiraga verso la tratta 6, sono defluite portate massime di 0,30 m³/sec corrispondenti a ~5.000,00 m³ con apprezzabile riduzione del colmo di piena (1c) e conseguentemente di (3c). L'azione di V2 è destinata alla riduzione dei due picchi di piena originati dall'immissione del Sillaretto (2c). Lo specifico idrogramma e i relativi schemi grafici riportati a seguire riassumono l'ipotetica ma alquanto verosimile simulazione di laminazione :

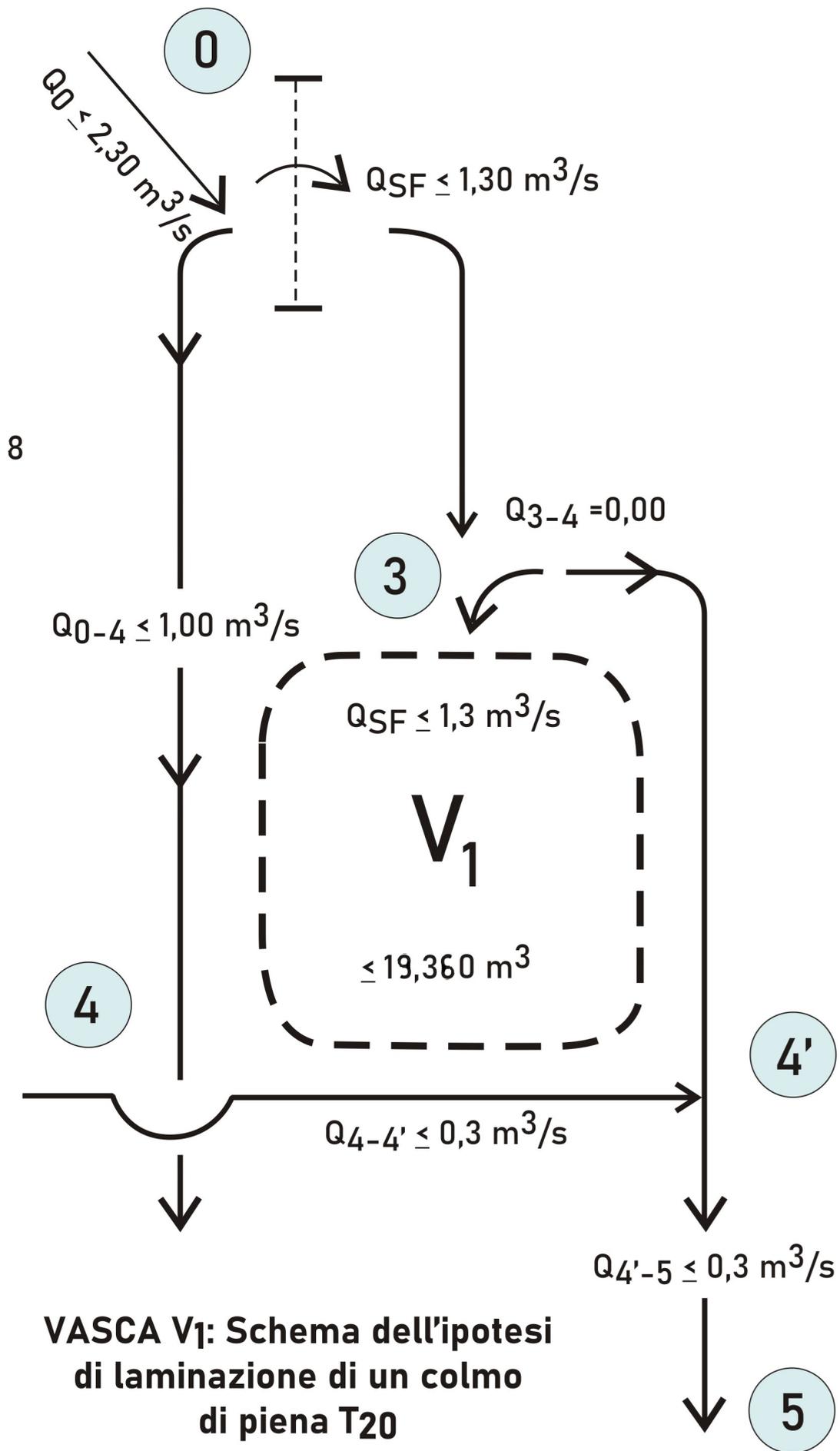
V_T = volume d'acqua complessivo prodotto dalla piena ~310.000 m³.

V_{DEF} = volume defluente verso valle ~230.000m³

V_{LAM} = volume laminato dall'azione di regolazione Vasca e deviazione in Sillaretto ~80.000 m³

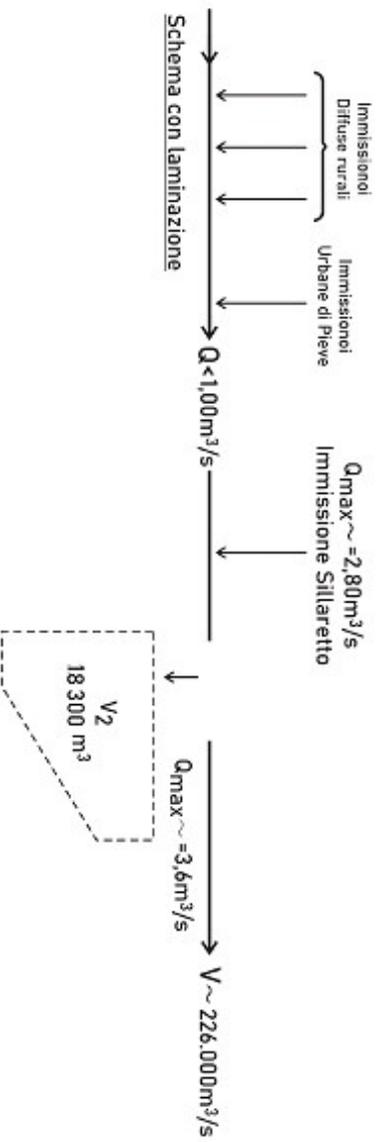
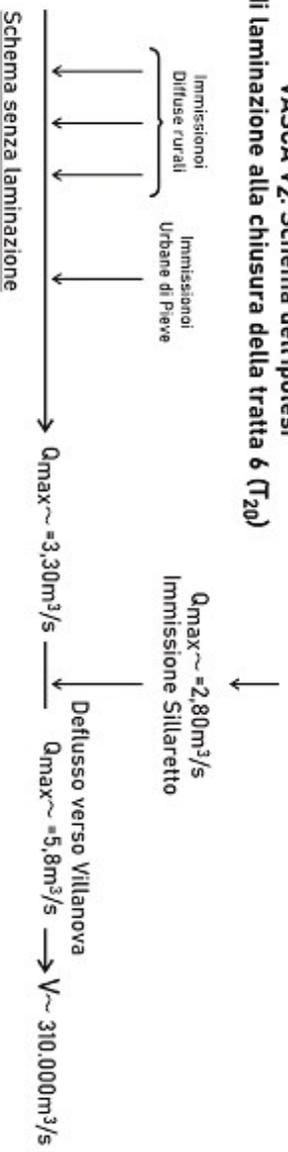
Oltre all'apprezzabile riduzione volumetrica è importante, in particolare localmente, l'abbassamento ottenibile dei picchi di piena. L'idrogramma in uscita dal tratto 6 dovrebbe

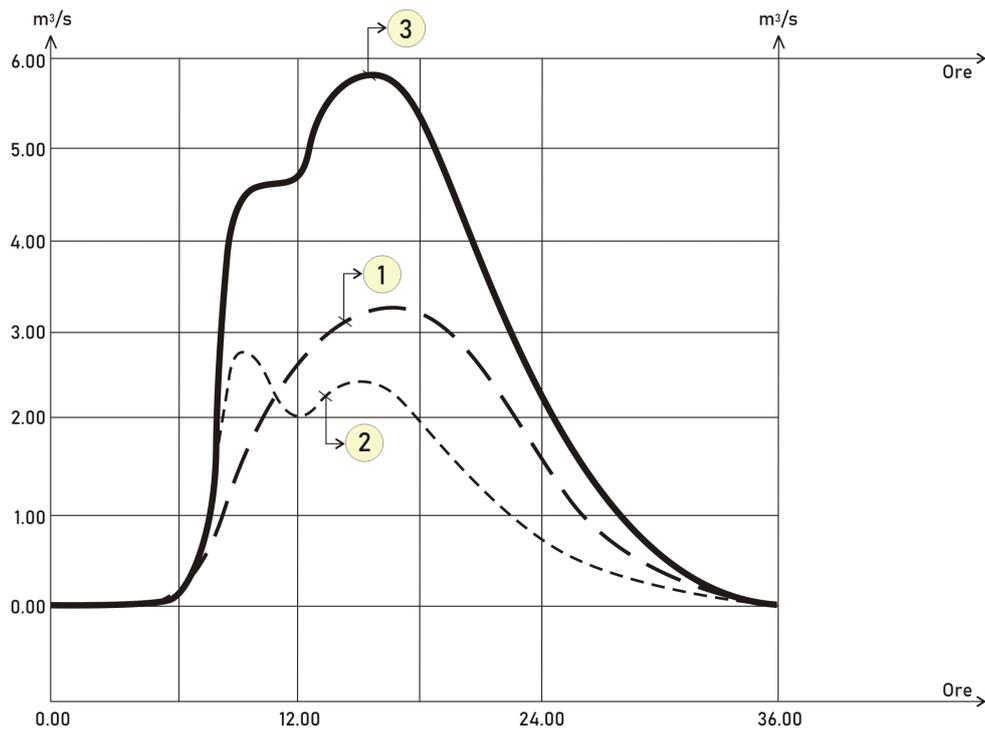
risultare considerevolmente meno accentuato, con un colmo che da 5,80m³/sec si riduce a 3,60m³/sec. Anche più a valle rilevante tanto per i centri urbani (Villanova, Borghetto e Casoni), quanto per infrastrutture e campagne. Il prospettato nuovo sistema di regolazione, integrerebbe l'azione di regolazione già in atto, ampliando le possibilità di organizzazione e di scelta strategica, riducendo i costi (le due vasche corrispondono a 24ore di funzionamento dell'impianto idrovoro di Villanova) ed ottimizzando l'intero apparato di difesa idraulica di un ampio territorio che, da area a forte criticità, si avvia progressivamente con apprezzabili risultati già conseguiti a trasformarsi in area relativamente sicura.



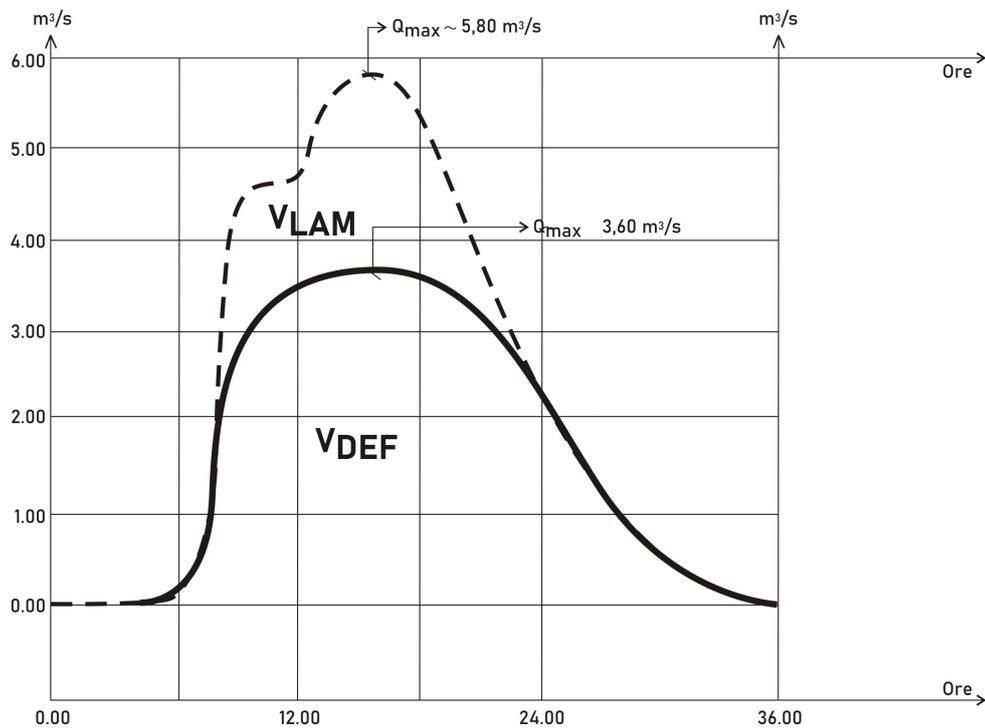
**VASCA V₁: Schema dell'ipotesi
 di laminazione di un colmo
 di piena T20**

VASCA V2: Schema dell'ipotesi di laminazione alla chiusura della tratta 6 (T₂₀)





**Gli idrogrammi di piena T₂₀ con il confronto
a seguito della laminazione con il sistema delle vasche V1 e V2**



$V_t \approx 310.000 \text{ mc}$ (Volume totale T₂₀)

$V_{LAM+SIL} \approx 80.000 \text{ mc}$ (Volume laminato)

$V_{DEF} \approx 230.000 \text{ mc}$ (Volume defluente a valle)