



CONSORZIO DI BONIFICA VENETO ORIENTALE

Portogruaro-San Donà di Piave

www.bonificavenetorientale.it



COMUNE DI TEGLIO VENETO

Città Metropolitana di Venezia

Via Roma, 9 - 30025 Teglio Veneto VE



PIANO DELLE ACQUE COMUNE DI TEGLIO VENETO - OPERE DI RIORDINO ED ASSETTO DELLA RETE IDRAULICA MINORE DEL TERRITORIO

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

ALLEGATO

13

TITOLO

SCALA

RELAZIONE TECNICA

DATA

12/11/2021

IL PROGETTISTA



Ing. Andrea de Götzen
Via dei Paleoveneti, 66
30023 Concordia Sagittaria (VE)
Mail: studio@degoetzeningegneria.it
P.E.C.: andrea.degotzen@ingpec.eu



IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Geom. Carmelo Franco

REV. N.	DATA	MOTIVO DELL'EMISSIONE	REDATTO	VERIFICATO
00	12/11/2021	Prima emissione	ADG	ADG
CODICE DOCUMENTO		1199.3-RC02-00		

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Indice

1. Premesse	3
1.1 Criticità idrauliche riscontrate	4
2. Rilievi eseguiti	5
3. Caratteristiche dei bacini	6
3.1 Bacino del Teglio Comugne	6
3.2 Bacino canale Saccon	10
4. Descrizione della modellazione numerica	13
4.1 Modellazione del bacino del Teglio Comugne	13
4.2 Modellazione del bacino canale Saccon	15
5. Analisi idrologica	16
5.1 Analisi delle precipitazioni	16
5.2 Teglio Comugne: definizione dei parametri idraulici inseriti in SWMM	22
6. Stato di fatto Teglio Comugne	25
7. Stato di progetto Teglio Comugne	27
7.1 Risultati simulazione Stato di progetto: paratoia aperta a ½	29
7.2 Risultati simulazione Stato di progetto: paratoia completamente chiusa	32
7.3 Confronto portate scaricate con le diverse aperture della paratoia	35
8. Stato di fatto canale Saccon	37
8.1 Canale Saccon: geometria e parametri per lo Stato di Fatto	37
8.2 Canale Saccon: simulazione dello stato di fatto	39
9. Stato di progetto canale Saccon	40
9.1 Geometria e parametri per lo Stato di Progetto	40
9.2 Simulazione dello stato di progetto	40
10. Conclusioni	42
11. Appendice – Descrizione del modello di calcolo SWMM	43

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale 	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

11.1	Generalità	43
11.2	Descrizione matematica del modello di calcolo	43
12.	Appendice – Descrizione del programma di calcolo hecras	52
12.1	Dati di input.....	52

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

1. PREMESSE

La presente relazione tecnica ha lo scopo di approfondire gli aspetti idrologici e idraulici, i criteri di dimensionamento e di definizione degli interventi adottati per il progetto definitivo/esecutivo “*Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio*”.

Per rappresentare le condizioni del sistema di drenaggio minore del comune di Teglio Veneto si è fatto ricorso al software di calcolo EPA SWMM versione 5.1; tale programma è in grado di effettuare modellazioni idrauliche a moto vario di reti di drenaggio. Gli eventi meteorici utilizzati nella modellazione hanno tempi di ritorno pari a 50 anni. Sono state implementate diverse simulazioni cercando la precipitazione in grado di mettere in crisi la rete di drenaggio al variare del tempo di pioggia (0.5 ore, 1 ora, 2 ore...) in modo da considerare la precipitazione più critica per il bacino.

Limitatamente al corso del capofosso Saccon si è fatto uso del software Hec-Ras versione 5.0.7: tale programma è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua in regime di moto permanente e/o in regime di moto vario.

L'utilizzo di due software diversi è dovuto essenzialmente al tipo di rete modellata: il Saccon è un fossato senza apporti laterali rilevanti da parte di altri corsi d'acqua; risulta quindi a favore di sicurezza e senza eccessivi sovradimensionamenti l'utilizzo della portata di piena data da un idrogramma triangolare per simulare il comportamento idraulico. Viceversa, il Teglio Comugne risulta interessato dagli apporti del Comugne Cintello e del fossato laterale alla SP93, oltre che presentare diversi manufatti in alveo. Risulta quindi necessario utilizzare un modello in grado di effettuare una trasformazione afflussi-deflussi realistica considerando anche lo sfasamento delle diverse onde di piena derivanti dai vari fossati affluenti.

Lo studio è stato strutturato svolgendo le seguenti attività:

- è stata preliminarmente svolta un'attività di indagine tramite sopralluoghi e rilevazioni GPS delle sezioni dei canali della rete di drenaggio. Nel dettaglio si è provveduto ad acquisire le quote del piano campagna, le sezioni dei fossati, le quote di scorrimento delle condotte, il loro diametro e materiale;
- analisi idrologica per ottenere la precipitazione di progetto tramite l'utilizzo di distribuzioni di pioggia triangolari;
- analisi delle criticità del bacino e del sistema di drenaggio a partire dalla documentazione e degli allagamenti pregressi;

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

- formulazione di una proposta progettuale volta a risolvere il problema degli allagamenti e dell'insufficienza idraulica del sistema;
- modellazione idraulica dello stato di progetto con eventi di tempo di ritorno pari a 50 anni con particolare attenzione alla situazione di via Viola.

1.1 Criticità idrauliche riscontrate

La Relazione Illustrativa del Piano delle Acque di Teglio Veneto descrive le criticità idrauliche del territorio comunale allo stato attuale; per il bacino del Teglio Comugne si evidenzia la presenza di estesi allagamenti della sede stradale di via Viola per *“rigurgito dal sistema di smaltimento Teglio Comugne, afferente al bacino del Lemene”*.

Tale problematica viene evidenziata anche nella tavola 10 del Piano delle Acque comunale che mostra le aree soggette ad allagamento.

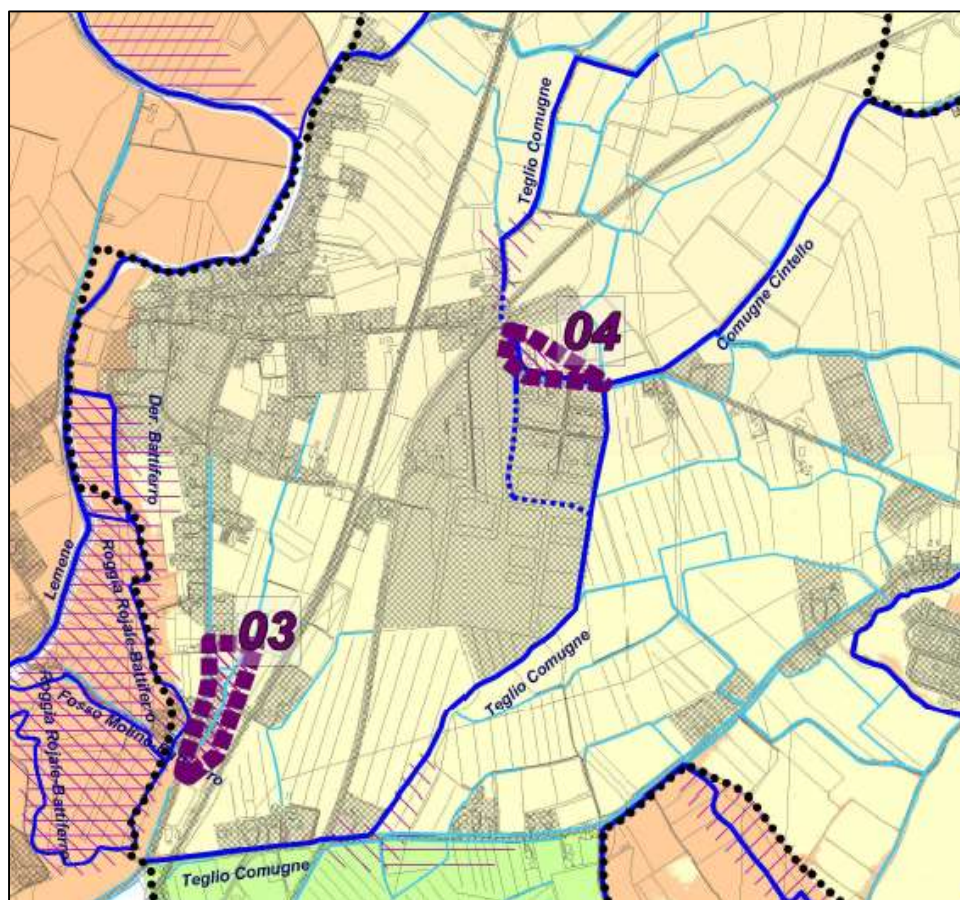


Figura 1. Estratto dalla Tavola 10 “Pericolosità” del Piano delle Acque comunale.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

2. RILIEVI ESEGUITI

A seguito di vari sopralluoghi, ricerche e campagne di rilievo sono stati ottenuti i dati necessari per l'implementazione del modello idraulico. In particolare:

- Con strumentazione GPS sono state rilevati i corsi d'acqua di gestione comunale presenti nel territorio oggetto di studio: canale Teglio Comugne, canale Comugne Cintello, Saccon, e fossato laterale a SP93. Sono state rilevate al riguardo un totale di 75 sezioni trasversali lungo il tracciato dei corsi d'acqua con le dimensioni e le quote di tutti i ponti e tombinamenti.
- Il Comune di Teglio Veneto ha condiviso la documentazione relativa a progetti di viabilità in fase di redazione nel territorio comunale ed interventi di recente adeguamento idraulico. In dettaglio ha trasmesso:
 - le planimetrie del progetto definitivo esecutivo di due rotatorie lungo la strada SP93 negli incroci di via Viola e via Portogruaro;
 - lo Studio di fattibilità tecnico-economica relativa al progetto di una pista ciclabile parallela a via Cintello, denominato "Piste ciclabili del Veneto Orientale. Ambito portogruarese. Comune di Teglio Veneto";
 - la documentazione relativa ai recenti interventi di Manutenzione del capofosso Cesiol privato comune a più fondi in località omonima del Comune di Fossalta di Portogruaro e Teglio Veneto.
- La Città Metropolitana di Venezia ha fornito un elenco dei tombinamenti catalogati per la strada Portogruaro-Udine SP93 nel tratto di interesse nel comune di Teglio Veneto.

Come si può evincere dalla Figura 6 estratta dalla planimetria “Uso del suolo” del Piano delle Acque l’area oggetto di intervento è utilizzata a scopo prevalentemente agricolo seminativo; sono presenti anche aree residenziali classificate come “tessuto urbano continuo” soprattutto nella parte nord e ovest del bacino verso il fiume Lemene. È presente anche un’ampia area industriale ad alta impermeabilità posta all’incirca al centro del bacino stesso. Le aree rurali sono caratterizzate dalla presenza di campi con scoline ed una fitta rete di fossati che raccolgono le acque di pioggia recapitandole ai capifosso.

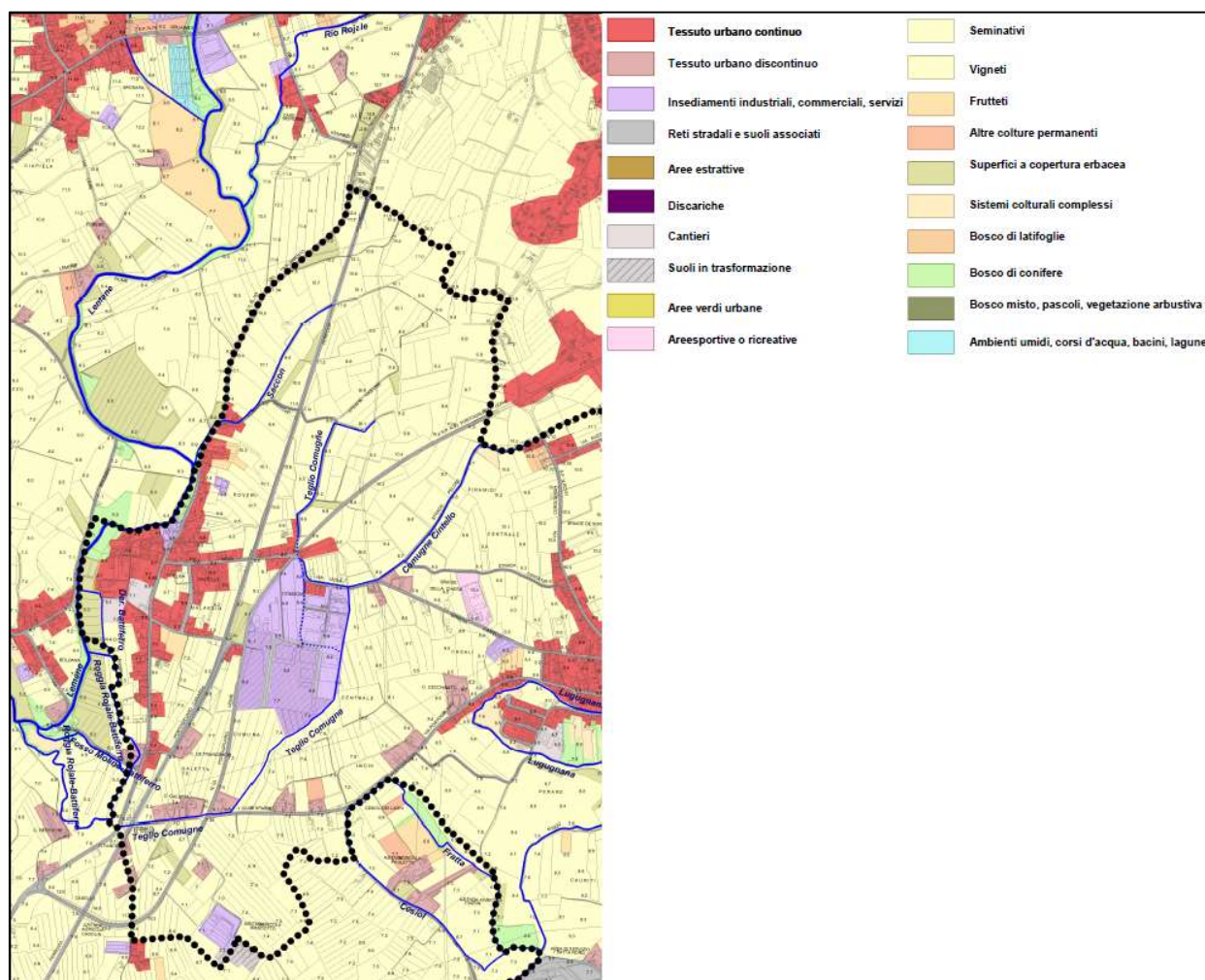


Figura 3. Estratto da Tavola 04 “Uso del suolo” del Piano delle Acque.

Nella progettazione si prende in considerazione la parte del bacino del Teglio Comugne con sezione di chiusura presso il ponte ferroviario che interseca via Portogruaro. Il Teglio Comugne presenta una lunghezza di circa 3.18 km e drena le acque di un’area pari a 2.92 km² alla sezione di chiusura presso il ponte ferroviario parallelo alla SP463. La quota massima di piano campagna del bacino è pari a 15.2 m s.l.m. mentre la quota alla sezione di chiusura è pari a 5.4 m s.l.m. La superficie del bacino è caratterizzata da pendenze ovunque inferiori al 0.6%. Dalla distribuzione delle quote si può

notare come nell'area oggetto di intervento si verifichi un progressivo e rapido abbassamento in direzione sud, pari a circa 10 m tra gli estremi del bacino idraulico.

La zona con le maggiori pendenze è localizzata a nord con valori prossimi al 0.5%; la pendenza cala di circa un ordine di grandezza nella parte sud dove si stabilizza attorno allo 0.02%.

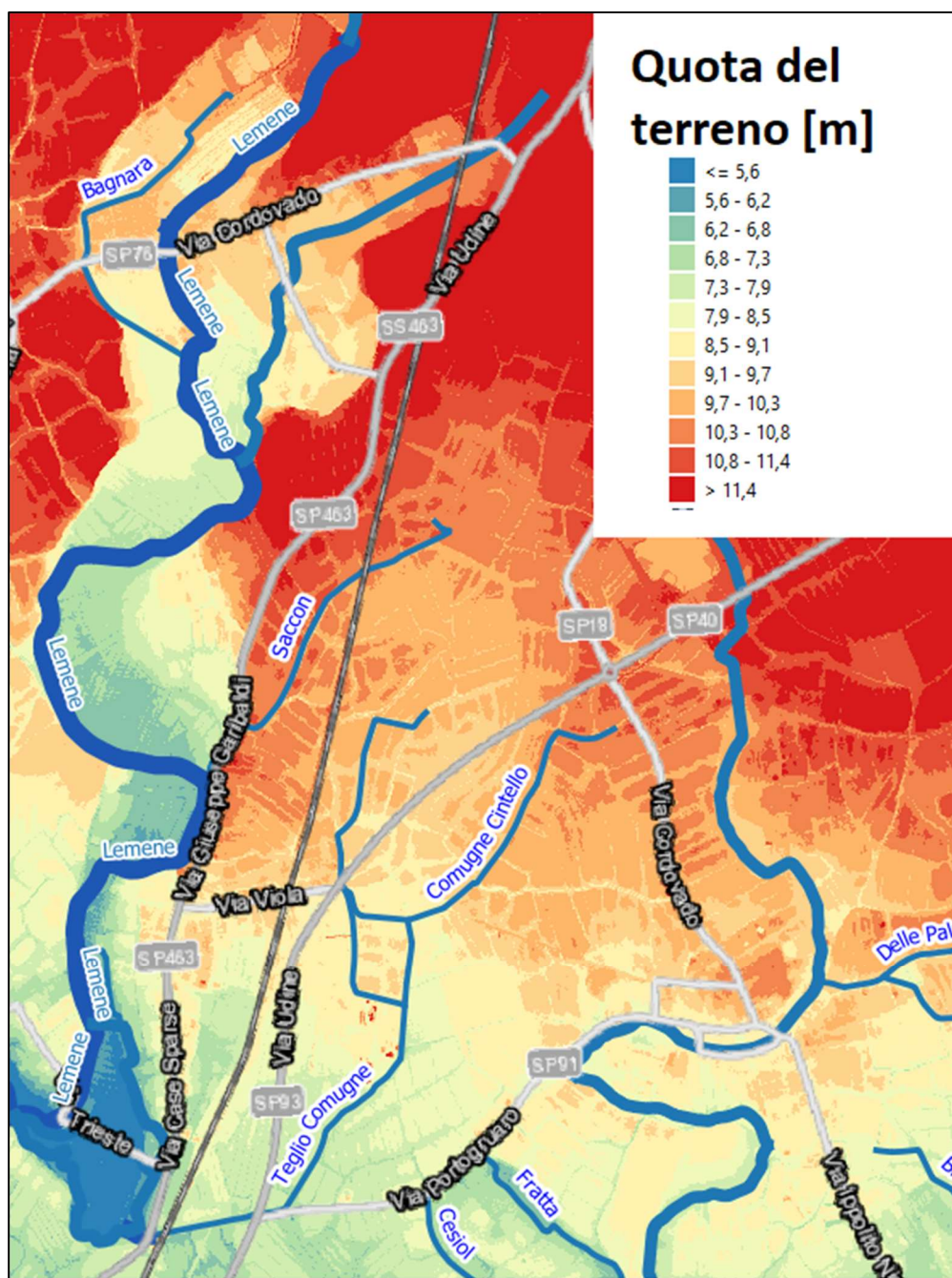


Figura 4. Modello digitale del terreno.

Di seguito si rappresenta il bacino idraulico con evidenziati i corsi d'acqua Teglio Comugne e Comugne Cintello ed il fiume Lemene quale recapito finale. Per il presente progetto si è considerato

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

il bacino con sezione di chiusura rappresentata dal ponte ferroviario come mostrato nella foto satellitare.



Figura 5. Foto satellitare con evidenziati il bacino ed i canali Teglio Comugne e Comugne Cintello e la sezione di chiusura del bacino. (fonte: Google Maps)

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Il Teglio Comugne è un affluente del fiume Lemene in sinistra idrografica; esso ha origine a sud della strada rurale Saccon a seguito della convergenza di vari fossati agricoli che raccolgono e drenano le acque di tutta la zona nord del bacino; esso interseca poi la SP93 in corrispondenza dell'incrocio della stessa con via Viola. Il Teglio Comugne segue poi via Viola fino a ricevere le acque del Comugne Cintello al confine est della zona industriale; procede poi in direzione sud raccogliendo le acque dell'intera zona industriale e della campagna fino a raggiungere via Portogruaro che costituisce il limite sud del bacino idraulico. In direzione ovest, sottopassando la SP93 via Udine, quindi la ferrovia Portogruaro-Casarsa, infine la SS463, si immette nel fiume Lemene.

3.2 Bacino canale Saccon

Per il presente progetto si considera il bacino del canale Saccon avente sezione di chiusura posta in corrispondenza del ponte del canale stesso lungo la strada SS 463. Il bacino si sviluppa per una superficie di circa 75,24 ettari, tra i comuni di Teglio Veneto e Cordovado. Il bacino ha conformazione pianeggiante e presenta aree prevalentemente a destinazione agricola. Non comprendendo zone urbanizzate, le zone impermeabili sono costituite unicamente dalla viabilità stradale e da alcuni edifici sparsi.

Nell'immagine che segue (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) si rappresenta il bacino idraulico con evidenziati il canale Saccon ed il fiume Lemene, quale recapito finale.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------



Figura 6. Planimetria con evidenziato il bacino del Canale Sagron.

La quota massima del bacino è pari a circa 15 m s.l.m., mentre la quota alla sezione di chiusura è pari a circa 9 m s.l.m.

Per la stima del tempo di corrivazione si fa riferimento alla formula di *Giandotti modificata* (Aronica e Paltrinieri) che tiene conto di due fattori in funzione di copertura e permeabilità dei terreni, e che ben si adatta a bacini di dimensioni contenute. La relazione è di seguito descritta.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

$t_c = \frac{1}{Md} \sqrt{A} + 1,5L$ $0,8\sqrt{H_m}$	M e d sono valori che dipendono dal tipo di copertura e permeabilità del terreno, e assumono i valori della tabella riportata in seguito <table border="1" data-bbox="475 432 1182 779"> <thead> <tr> <th colspan="2">Valori costanti M e d della formula di Aronica e Paltrinieri.</th></tr> <tr> <th>Tipo di copertura</th><th>M</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Terreno nudo</td><td>0,667</td></tr> <tr> <td>Terreni coperti con erbe rade</td><td>0,25</td></tr> <tr> <td>Terreni coperti da bosco</td><td>0,2</td></tr> <tr> <td>Terreni coperti da prato permanente</td><td>0,167</td></tr> <tr> <th>Permeabilità</th><th>d</th></tr> <tr> <td>Terreni semi-permeabili</td><td>1,27</td></tr> <tr> <td>Terreni poco permeabili</td><td>0,96</td></tr> <tr> <td>Terreni mediamente permeabili</td><td>0,81</td></tr> <tr> <td>Terreni molto permeabili</td><td>0,69</td></tr> </tbody> </table> A è l'area del bacino in km² L è la lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino in km H_m è il dislivello tra sezione di chiusura e altezza media del bacino in m	Valori costanti M e d della formula di Aronica e Paltrinieri.		Tipo di copertura	M	Terreno nudo	0,667	Terreni coperti con erbe rade	0,25	Terreni coperti da bosco	0,2	Terreni coperti da prato permanente	0,167	Permeabilità	d	Terreni semi-permeabili	1,27	Terreni poco permeabili	0,96	Terreni mediamente permeabili	0,81	Terreni molto permeabili	0,69
Valori costanti M e d della formula di Aronica e Paltrinieri.																							
Tipo di copertura	M																						
Terreno nudo	0,667																						
Terreni coperti con erbe rade	0,25																						
Terreni coperti da bosco	0,2																						
Terreni coperti da prato permanente	0,167																						
Permeabilità	d																						
Terreni semi-permeabili	1,27																						
Terreni poco permeabili	0,96																						
Terreni mediamente permeabili	0,81																						
Terreni molto permeabili	0,69																						

Considerato che per il bacino in esame si può considerare un tipo di copertura come “prato permanente” e, viste le indagini geotecniche che evidenziano la presenza di terreno prevalentemente argilloso, pertanto poco permeabile, si ricavano i corrispondenti valori dei coefficienti M e d (rispettivamente 0,167 e 0,96).

Si definisce la portata alla sezione di chiusura per Tempo di Ritorno pari a 50 anni.

Canale	Superficie S [ha]	Tempo di corrivazione Tc [ore]	Altezza di precipitazione di progetto h [mm]	Portata di progetto alla sezione di chiusura Q [m ³ /s]
Saccon	75,24	5,44	103	1,19

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

4. DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE NUMERICA

4.1 Modellazione del bacino del Teglio Comugne

La modellazione idraulica è realizzata tramite impiego del software di calcolo sviluppato dall'Agenzia Ambientale Americana EPA SWMM 5.1 (per la descrizione del software si veda l'Appendice). Sulla base delle conoscenze acquisite mediante i rilievi effettuati in campo e l'analisi della documentazione descritta nel paragrafo 2 è stato possibile simulare il comportamento del sistema di drenaggio del bacino.

La geometria del modello idraulico è stata implementata a partire dalle sezioni di progetto dei canali principali: si è provveduto a inserire nodi idraulici con quote opportune ricavate dalle sezioni imponendo quindi la geometria del canale/collettore verso il nodo di valle. I fossati rappresentati in tal modo nel modello sono:

- Teglio Comugne
- Comugne Cintello
- Fossato laterale alla SP93
- Fossato di via Portogruaro
- Collettore dell'area industriale

È stato poi necessario suddividere il bacino in più sottobacini ed assegnare le acque di drenaggio di ogni sottobacino ad un nodo: la suddivisione è stata fatta seguendo la pendenza del terreno cercando di considerare anche l'effetto dei fossati minori nel trasferire i deflussi verso la rete idrografica principale. Per la suddivisione si è cercato di realizzare aree di forma regolare in modo da facilitare la definizione del parametro “width” da inserire nel modello e rendere il modello aderente al comportamento reale del bacino.

Sono stati inseriti anche i manufatti presenti in alveo quali tombinamenti, attraversamenti, tubazioni limitatamente alle sezioni rilevate.

Di seguito si riporta graficamente il modello implementato: sono indicati i nodi idraulici, il punto di recapito a valle dell'attraversamento ferroviario, la rete di drenaggio, la suddivisione in bacini elementari di raccolta delle acque con relativa percentuale di impermeabilizzazione.

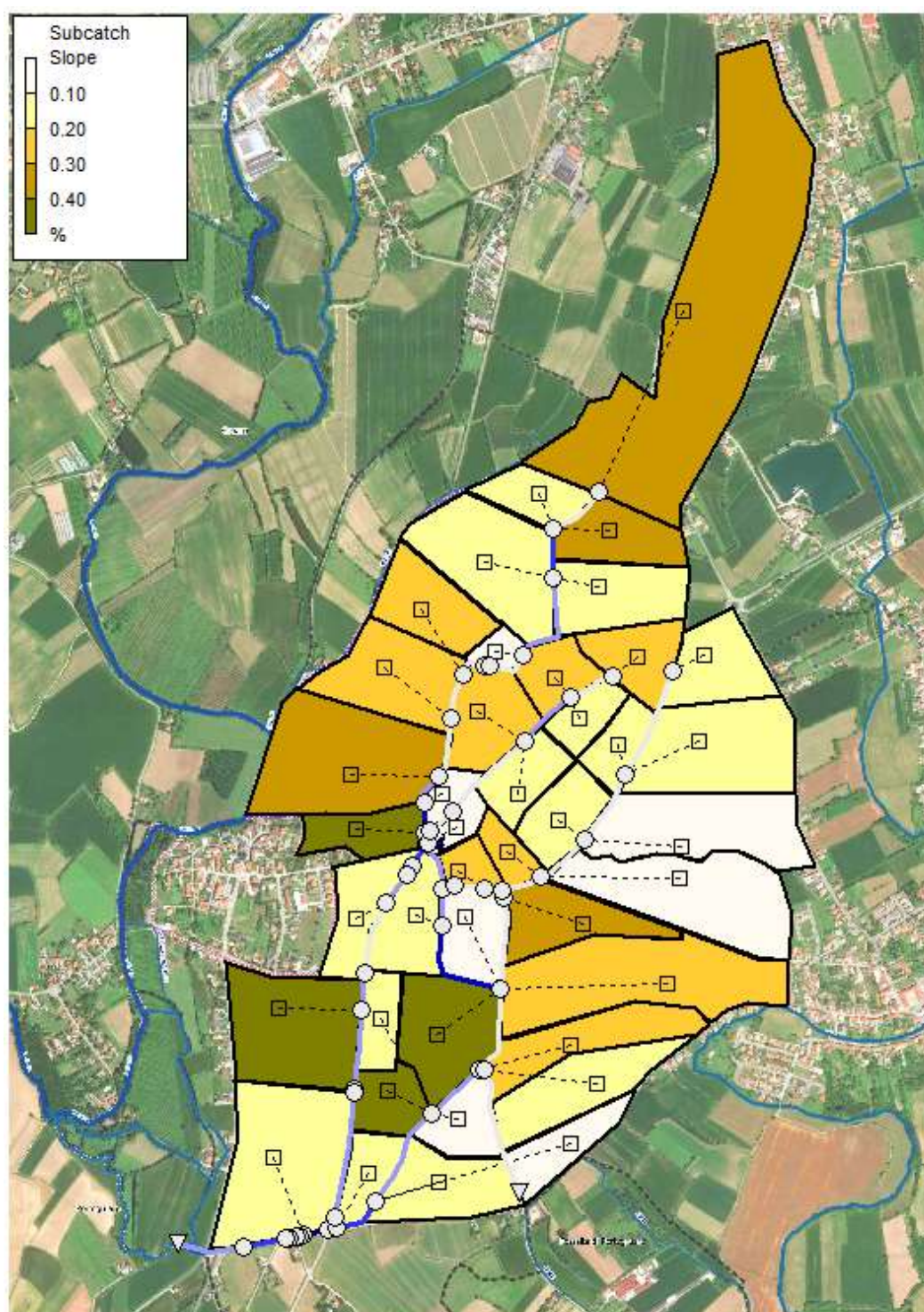


Figura 7. Planimetria esportata dal modello SWMM con caratterizzazione dei sottobacini in base alla pendenza del terreno assegnata

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

4.2 Modellazione del bacino canale Saccon

Il modello idraulico del Canale Saccon è stato sviluppato con HEC-RAS versione 5.0.7. Il codice, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers, è in grado di analizzare e risolvere i calcoli legati al tracciamento del profilo idrico di un corso d'acqua in regime di moto permanente e/o in regime di moto vario, sia in corrente lenta che veloce, oltre che fenomeni di trasporto solido e qualità dell'acqua.

In questo specifico caso, si è scelto di svolgere una simulazione a moto permanente, sulla base di valutazioni relative alle condizioni operative del modello, nonché all'entità dell'intervento in oggetto. In particolare, si è considerato che il canale Saccon è un corso d'acqua a pelo libero, a sezione pressoché costante, con portate di entità contenuta. Sono inoltre assenti, sia per lo stato di fatto che per quello di progetto, elementi che possano richiedere specifiche simulazioni a moto vario (e.g. bacini di laminazione).

Si è quindi ritenuto sufficiente per la determinazione delle criticità idrauliche e per la verifica della loro risoluzione svolgere la simulazione a moto permanente con la portata di picco di piena, che ha inoltre la qualità di essere in favore di sicurezza.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

5. ANALISI IDROLOGICA

Per lo studio delle criticità idrauliche è stato indispensabile partire da una corretta analisi idrologica che interpreta i dati pluviometrici e stima, per uno specifico tempo di ritorno, l'altezza di precipitazione prevista in occasione di un evento meteorico. Il comune di Teglio Veneto si inserisce all'interno del comprensorio del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale: per la procedura di analisi idrologica, quindi, si è fatto riferimento al documento ufficiale pubblicato dal Consorzio "Analisi idrologiche-idrauliche per l'applicazione dell'invarianza idraulica nel Comprensorio del Veneto Orientale" (anno 2012).

5.1 Analisi delle precipitazioni

Per le simulazioni idrauliche della rete di drenaggio urbano è stato necessario definire uno o più eventi di pioggia specifici per la zona, caratterizzati da un certo tempo di ritorno. A tal fine si fa ricorso, come già accennato, alle curve pluviometriche disponibili in letteratura generalmente utilizzate dai Consorzi di bonifica.

In genere la curva di possibilità pluviometrica assume la forma:

$$h = a \cdot t^n$$

Con:

- a , n parametri da determinare per regressione dei dati di pioggia;
- t il tempo di pioggia [ore];
- h la quantità di pioggia attesa [mm].

La determinazione dei parametri a ed n avviene, secondo il metodo di Gumbel, quantificando rispettivamente l'intercetta e la pendenza della retta che secondo il metodo dei minimi quadrati meglio approssima i punti sperimentali:

$(\log(t); \log(h))$.

$$h = \log(a) + n \log(t)$$

Per meglio interpolare eventi di durate diverse si può prevedere l'utilizzo di una curva di forma triparametrica:

$$h = \frac{a}{(t + b)^c} t$$

Con:

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

- a,b,c, parametri da determinare per regressione dei dati di pioggia;
- t il tempo di pioggia [minuti];
- la quantità di pioggia attesa [mm].

Tali curve presentano, per lo stesso metodo con cui sono state elaborate, numerosi vantaggi ed in particolare:

- sono affidabili anche per tempi di ritorno elevati (oltre 50 anni a partire da circa 15 anni di osservazioni);
- risentono meno della presenza di valori eccezionali (non si studiano separatamente i dati di ciascuna stazione ma se ne fa un'indagine sinottica);
- hanno carattere regionale (sono validi per un'intera area omogenea);
- esprimono correttamente le maggiori sollecitazioni odierne (precipitazioni intense) rispetto a previsioni basate su serie storiche di notevole lunghezza che portano con sé il rischio di una caratterizzazione media dei fenomeni nel periodo di osservazione.

Le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (CPP) sono quelle determinate nell'ambito dell'Analisi regionalizzata condotta per l'Unione Veneta Bonifiche (Bixio V. et al, Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento, Nordest Ingegneria S.r.l.- UVB, 2011). Per le valutazioni di calcolo, sono stati utilizzati i parametri del Consorzio di Bonifica Veneto Orientale considerando la stazione pluviometrica più prossima al Comune di Jesolo e cioè quella di Cavallino Treporti, lungo la zona costiera.

Le stazioni utilizzate per la regionalizzazione delle piogge nell'area Veneto Orientale sono state 11, di seguito individuate:

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	--

Nome stazione	Quota [m s.l.m.]	Anno attivazione	Interno all'area
Cavallino	1	1992	Si
Eraclea	-1	1992	Si
Fossalta di Portogruaro	4	1992	Si
Lugugnana di	0	1992	Si
Mogliano Veneto	5	1997	No
Noventa di Piave	2	1992	Si
Oderzo	8	1992	Si
Ponte di Piave	6	1995	No
Portogruaro Lison	2	1992	Si
Roncade	6	1992	No
Venezia Cavanis	20	2000	No

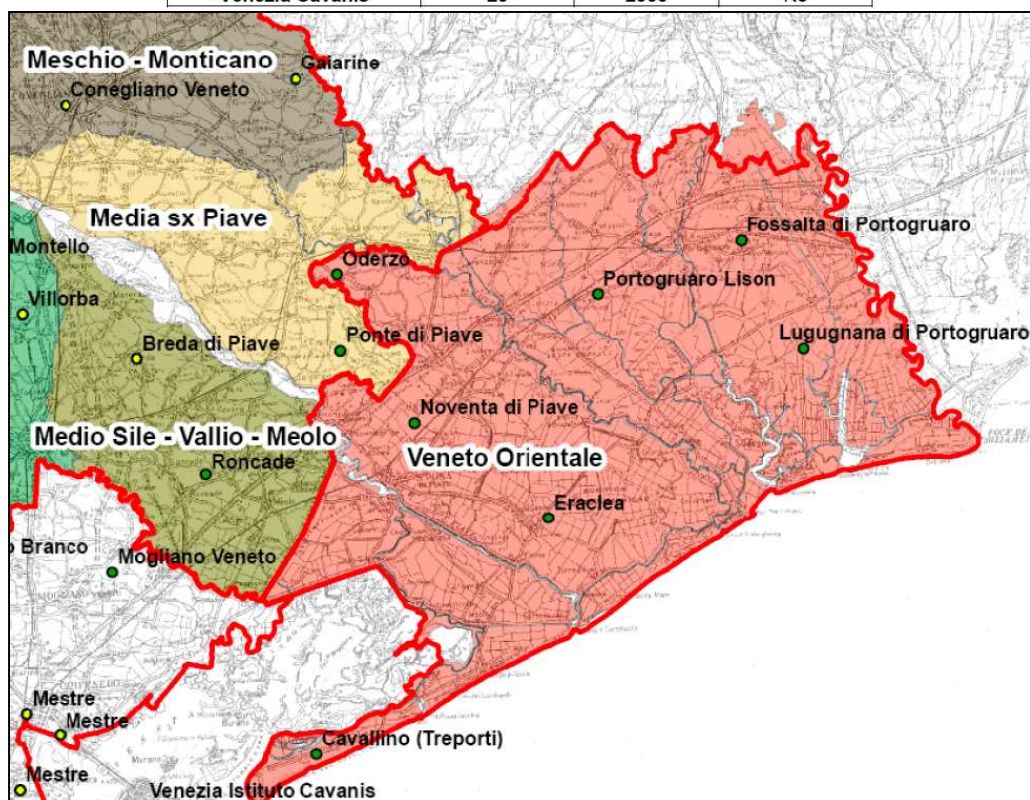


Figura 8. Comprensorio del Consorzio Veneto Orientale e individuazione delle stazioni pluviometriche.

La stima dei coefficienti della formula a tre parametri è stata eseguita mediante ottimizzazione numerica: per analogia con il metodo descritto per la classica formula bi-parametrica, si è quindi provveduto a minimizzare la somma dei quadrati degli errori relativi, in modo che tutte le durate da 5 minuti a 24 ore pesino in misura simile sulla procedura di calcolo, a differenza di quanto sarebbe accaduto considerando gli errori assoluti di ciascuna stima.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
---	---	---------------------------------

T _R anni	Durata di precipitazione									
	5 minuti	10 minuti	15 minuti	30 minuti	45 minuti	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2	9,2	15,7	15,9	27,5	31,5	33,7	42,0	49,5	59,6	72,5
5	11,5	19,6	52,2	35,4	40,9	44,0	57,4	66,3	79,3	97,3
10	13,0	21,8	28,3	39,9	46,1	49,9	67,0	78,2	92,9	114,5
20	14,4	23,7	30,9	43,6	50,4	54,9	76,1	90,3	106,2	131,6
30	15,2	24,6	32,2	45,5	52,7	57,6	81,3	97,5	114,1	141,8
50	16,1	25,8	33,8	47,7	55,2	60,7	87,9	106,8	124,1	154,8
100	17,3	27,1	35,7	50,3	58,3	64,5	96,6	120,0	137,9	172,8
200	18,5	28,3	37,4	52,6	61,0	67,9	105,4	133,7	152,1	191,5

Altezze attese per i diversi TR e durate per la zona omogenea Veneto Orientale.

T	a	b	c
2	18.5	10.8	0.819
5	23.8	11.8	0.813
10	25.4	11.7	0.799
20	25.9	11.3	0.781
30	25.8	10.9	0.769
50	25.4	10.4	0.754
100	24.5	9.6	0.732
200	23.2	8.7	0.709

Tabella 1. Coefficienti per la formulazione della CPP a tre parametri 5 minuti-24 ore

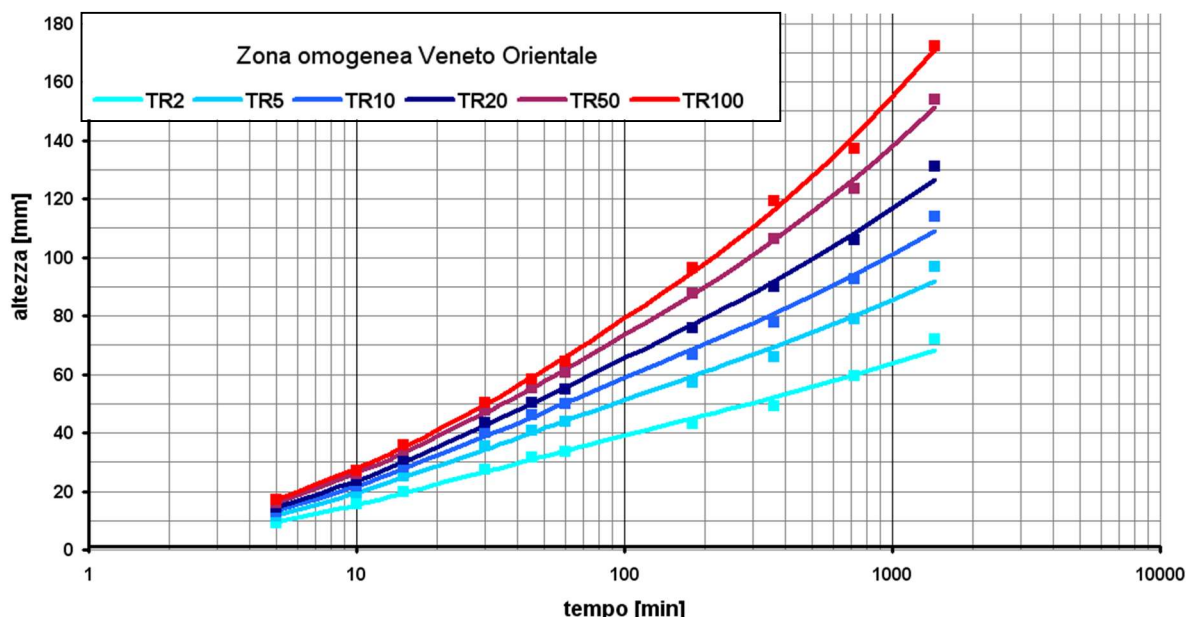


Figura 9. Curve di possibilità pluviometrica a tre parametri ricavate dall'analisi regionalizzata.

La scelta del tempo di ritorno per condurre le indagini verso lo scopo prefissato è di primaria importanza: si precisa, intanto, che il tempo di ritorno (T o Tr) è la media dell'intervallo temporale che bisogna attendere affinché un evento critico di una certa intensità, all'interno di una sequenza di eventi equispaziata temporalmente, sia uguagliato o superato. Il dimensionamento degli interventi individuati nel presente studio deve soddisfare le esigenze di sicurezza idraulica per eventi meteorici con tempo di ritorno di 50 anni. In ogni caso, è bene verificare e stimare quanto risulta dalle simulazioni con tempi di ritorno più brevi come 10 e 30 anni.

La pioggia di progetto per il bacino del Teglio Comugne è stata simulata utilizzando uno ietogramma di tipo triangolare, con il picco di intensità a metà della durata dell'evento. Fissato il tempo di ritorno della precipitazione sono stati implementati diversi ietogrammi triangolari per ogni tempo di precipitazione considerato. Lo ietogramma triangolare è concepito per introdurre l'effetto di un picco di precipitazione (trascurato dallo ietogramma rettangolare) ed è caratterizzato da un'intensità media pari a quella ricavabile dalla curva pluviometrica per la stessa durata, da un'intensità di punta pari al doppio dell'intensità media e da un rapporto tra istante del picco e durata dell'evento stimato in base agli eventi storici.

Usando i parametri idrologici sopra riportati e utilizzando la curva triparametrica, si ottengono i seguenti risultati:

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	--

Tempo di ritorno (anni)	Durata (ore)	Altezza di pioggia (mm)
50	0.5	46.8
	1	61.6
	1.5	70.7
	2	77.5
	2.5	82.8
	3	87.3
	3.5	91.2
	4	94.7
	4.5	97.9
	5	100.7

Tabella 2. Stime delle altezze di pioggia per diversi Tr e diverse durate

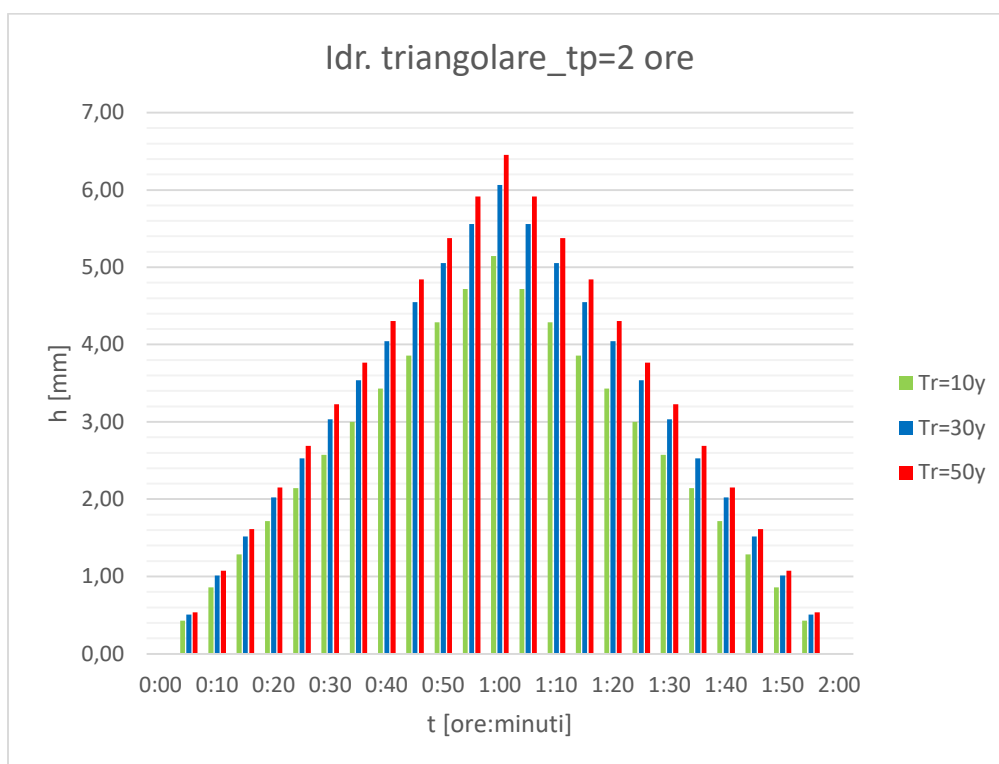


Figura 10. Esempio di diagramma triangolare per tempo di pioggia di 2 ore

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Tali ietogrammi triangolari stanno alla base, come si vedrà nei prossimi paragrafi, delle simulazioni effettuate tramite software di calcolo SWMM al fine di valutare la durata dell'evento di precipitazione che consenta di evidenziare una massimizzazione delle condizioni di crisi del sistema di drenaggio. Per il bacino del canale Saccon si è utilizzata una pioggia con tempo di pioggia pari al tempo di corrvazione del bacino (5.44 ore).

5.2 Teglio Comugne: definizione dei parametri idraulici inseriti in SWMM

I principali parametri di simulazione idraulica utilizzati per il modello sono:

- Coefficiente di Manning per la scabrezza delle tubazioni di calcestruzzo: $0,01 \text{ s/m}^{1/3}$;
- Coefficiente di Manning per la scabrezza dei fossati a sezione trapezia pari a $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ per il fondo e a $0.04 \text{ s/m}^{1/3}$ per le sponde;
- Valori fissati di: “*N-imperv*” = 0.013, “*N-perv*” = 0.06, per le aree agricole; “*N-imperv*” = 0.013, “*N-perv*” = 0.15 per le aree industriali
- Per tutti i subcatchement valori fissati di: “*Dstore-Imperv*” = 5, “*Dstore-Perv*” = 4, “*%Zero-imperv*” = 25;
- Limitatamente alle aree agricole con scoline evidenti regolari si è portato il solo valore “*Dstore-Perv*” = 5;
- Valore di pendenza percentuale desunta dal DTM e variabile tra 0.03% e 0.7% a seconda del sottobacino considerato;
- La scelta della “*Dynamic Wave*” come “*Routing Model*” che risolve l'equazione completa di de Saint Venant;
- Viene permesso l'allagamento nei nodi grazie alla spunta di “*Allow Ponding*”;
- Vengono scelti un tempo di calcolo di 10 s e un tempo di simulazione pari o superiore al precedente.

Per quanto riguarda la stima della capacità d'infiltrazione nelle aree permeabili è stato utilizzato il metodo di Horton. Tale capacità di infiltrazione per Horton è funzione del tempo: essa è massima all'istante iniziale e tende asintoticamente ad un valore costante. La capacità di invaso idrico superficiale del suolo, detta anche “storage” superficiale, è la capacità di immagazzinamento temporaneo di acqua piovana o di irrigazione nelle depressioni locali e nelle irregolarità della superficie. Nelle condizioni tipiche di eventi idrologici di bassa e media magnitudine essa contribuisce in modo non trascurabile alla riduzione dei volumi di deflusso e parallelamente ad aumentare la capacità di infiltrazione.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	--

L'espressione della formula di Horton, che descrive un andamento esponenziale di decadimento del tasso di infiltrazione, è la seguente:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) e^{-kt}$$

dove

- f_0 è l'infiltrazione massima che si verifica nel tempo $t=0$;
- f_c è il valore di infiltrazione raggiunto asintoticamente ad un tempo infinito;
- k è la costante di decadimento della curva.

I parametri dipendono dalla tipologia del terreno che è stata desunta dalla Relazione del Piano delle Acque di Teglio Veneto: si evince la presenza dominante di terreni sabbiosi ad eccezione delle aree contigue al corso del Lemene in cui sono presenti terreni limoso-sabbiosi, limosi e sabbioso-argillosi.

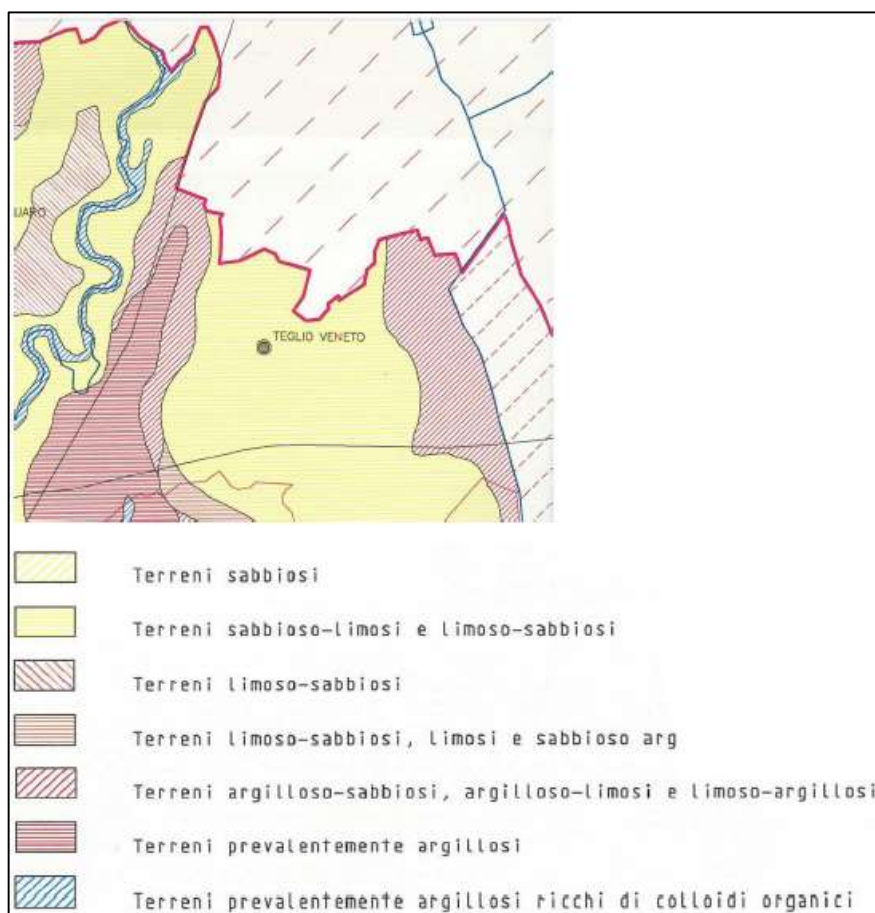


Figura 11. Estratto del Piano Generale di Bonifica con mappatura dei terreni presenti nel comune di Teglio Veneto

L'area in cui si localizza l'intervento in oggetto risulta essere a breve distanza dal corso del fiume Lemene, in corrispondenza quindi di suoli con un livello di impermeabilità medio alto. Nella stima

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

dell'infiltrazione si è fatto uso dei parametri nella classe: "Potenzialità di deflusso moderatamente alta". I valori dei parametri sono stati tratti da dati disponibili in letteratura, e assunti pari a:

Terreni con potenzialità di deflusso moderatamente alta
$f_0 = 125 \frac{mm}{h}$ $f_c = 6.3 \frac{mm}{h}$ $k = 2 \ h^{-1}$

Tabella 3. Parametri di Horton

Il modello afflussi-deflussi, utilizzato per ricavare gli idrogrammi di piena si basa sulla simulazione di un evento di piena conseguente ad una precipitazione valutata come la più pericolosa tra quelle aventi un dato tempo di ritorno. La variazione dell'intensità di pioggia nel tempo, durante un evento piovoso prende il nome di "ietogramma di pioggia". Gli ietogrammi triangolari precedentemente calcolati sono stati inseriti nel software di calcolo attraverso l'elemento "*Rain Gage*" che permette di simulare qualsiasi evento di pioggia. L'applicazione del modello matematico di generazione degli afflussi in deflussi e la separazione di questi ultimi attraverso il modello di Horton hanno permesso di definire, come vedremo in seguito attraverso le simulazioni, l'evento pluviometrico di progetto.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

6. STATO DI FATTO TEGLIO COMUGNE

Lo stato di fatto del bacino del Teglio Comune viene desunto dai documenti del Piano delle Acque comunale, dallo studio di compatibilità idraulica del PAT, in ordine alle zone soggette ad allagamento.

Si denota in particolare:

- Perdita della capacità di invaso dei fossati nella zona nord del bacino per effetto di sezioni insufficienti a trattenere e convogliare la portata derivante dalle zone agricole a nord;
- Allagamento della zona a nord di via Viola con interessamento della sede stradale per rigurgito del Teglio Comugne, dimensioni insufficienti del corso d'acqua e per effetto della giacitura della zona rispetto alle aree poste a nord;
- Allagamento anche a nord della SP93 lungo il Teglio Comugne per le medesime cause viste sopra, come risulta dalla mappa allegata al Piano Comunale delle Acque.

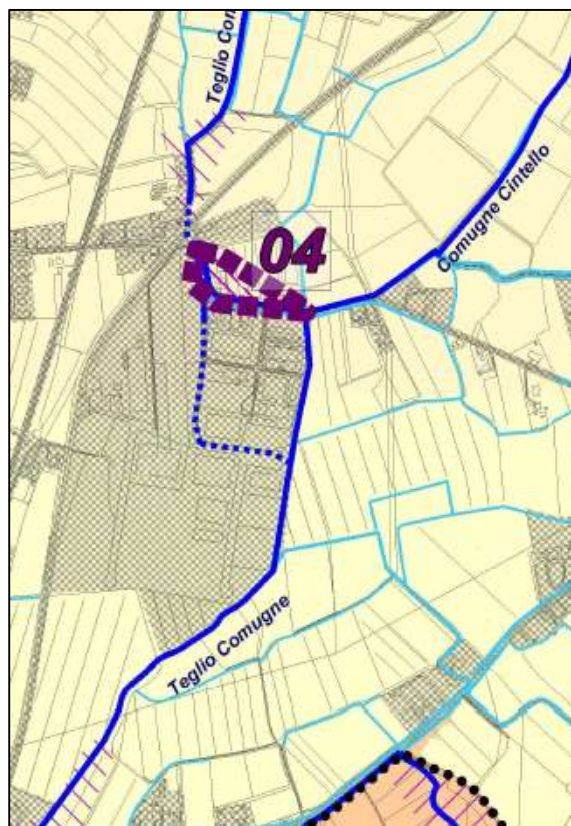


Figura 12. Estratto del Piano delle Acque con evidenziata l'area soggetta ad allagamento a monte di Via Viola

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

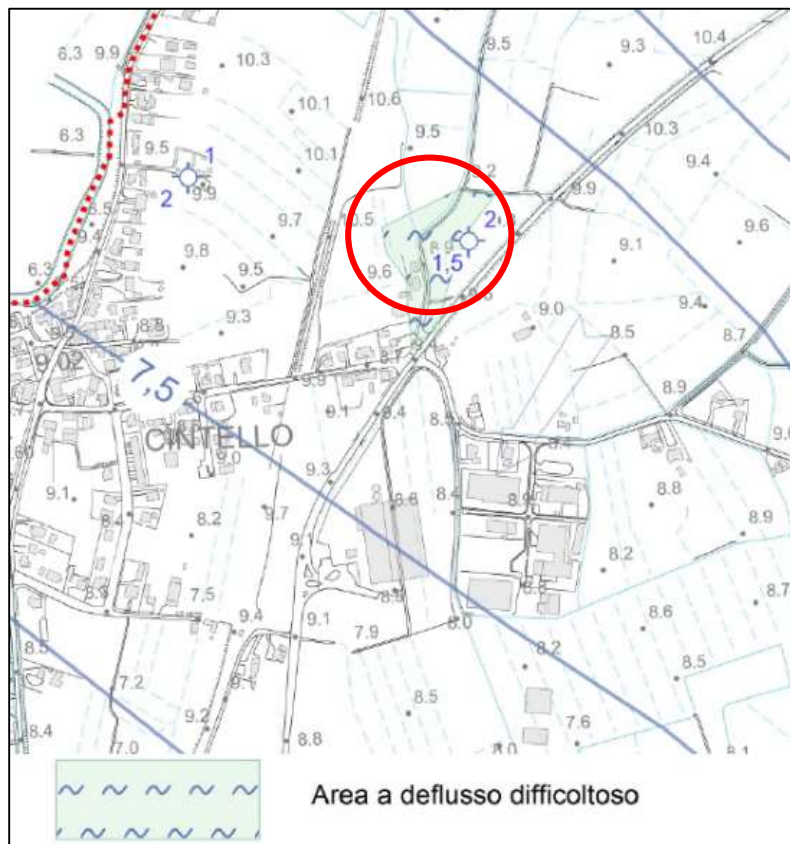


Figura 13. Estratto della Carta Idrogeologica allegata al PAT del comune di Teglio Veneto con evidenziata l'area a drenaggio difficoltoso a nord di Cintello

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

7. STATO DI PROGETTO TEGLIO COMUGNE

La proposta progettuale prevede i seguenti interventi:

- Rizezionamento del fossato lungo l'intera SP93 con lo scopo di raccogliere le acque provenienti dall'area a nord di via Viola, anche oltre confine comunale, potendo quindi ridurre i deflussi verso il canale Teglio Comugne in prossimità di Via Viola. Si prevede l'impiego di una sezione trapezia di base 50 cm e pendenza delle scarpate 3:2. Il tratto a nord di via Viola di tale nuovo collettore recapiterà le sue acque verso un pozzetto di regolazione posto all'incrocio tra Via Viola e la SP93, dove verranno convogliate anche le acque provenienti dallo stesso Teglio Comugne. Il pozzetto sarà dotato di una paratoia metallica per la regolazione della portata verso via Viola. Le acque in eccesso potranno essere indirizzate lungo il nuovo collettore parallelo alla SP93, riducendo in tal modo l'apporto verso il Teglio Comugne nella zona di via Viola. La regolazione della paratoia permetterà di gestire i deflussi con la massima flessibilità verso via Viola, come anche verso il nuovo collettore lungo la SP93, in ragione delle condizioni di piena in atto;
- Rifacimento dell'attraversamento di via Viola per il Canale Comugne Cintello con sostituzione delle due tubazioni esistenti DN 800 mm con uno scatolare in CLS con sezione 1,60x1,00 m;
- Realizzazione di bocche tarate con dimensioni pari a DN20cm presso tutti gli attraversamenti della SP93, che attualmente consentono alle acque di attraversare la stessa strada provinciale per allagare la campagna a sud;
- Pulizia generale dei canali Teglio Comugne e Comugne Cintello con eliminazione di tutte le ostruzioni presenti attualmente in alveo (alberi, tronchi, arbusti) che vanno a ridurre la sezione utile.

Si riporta di seguito l'analisi tramite modello matematico, avendo considerato come evento di progetto una precipitazione con ietogramma triangolare di durata di 180 minuti e tempo di ritorno 50 anni al fine di massimizzare le portate che si realizzano nei vari tratti del sistema idraulico. Avendo inserito una paratoia regolabile nel pozzetto P1 si è provveduto ad effettuare diverse simulazioni considerando questi gradi di apertura:

- paratoia aperta a $\frac{1}{2}$ con sezione circolare equivalente utile al deflusso di diametro 850 mm;
- paratoia aperta a $\frac{1}{4}$ con sezione circolare equivalente utile al deflusso di diametro 600 mm;
- paratoia completamente chiusa con deviazione totale del flusso verso la SP93;

I risultati ottenuti vengono analizzati per le diverse aperture ipotizzate, con particolare riferimento agli incrementi di portata del fossato lungo la SP93 e lungo il tratto terminale del Teglio Comugne.

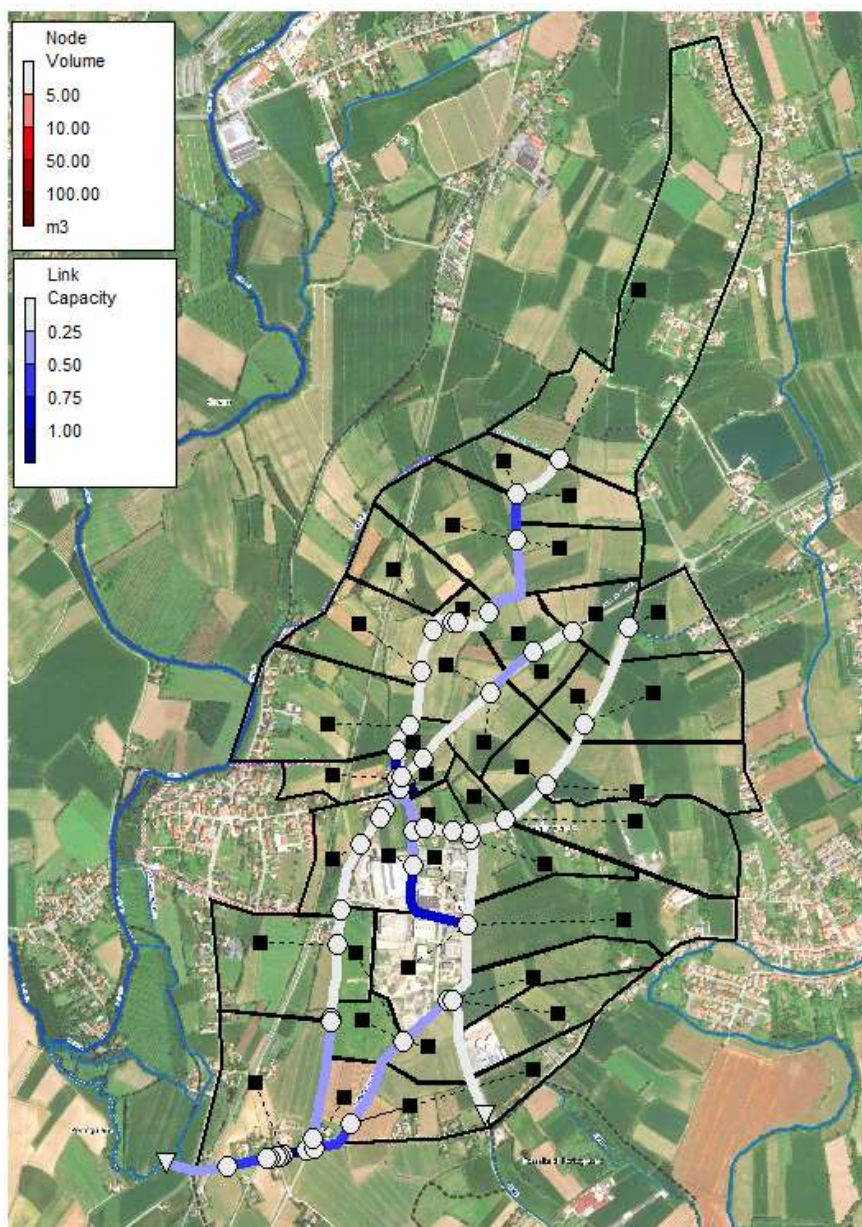


Figura 14. Simulazione idraulica di progetto con evento di durata 180 minuti, $T_r = 50$ anni: grado di riempimento condotte e volumi di allagamento

In tutte le simulazioni si evidenzia il mantenimento della linea piezometrica al di sotto del piano campagna, seppure si venga ad instaurare un regime di deflusso in pressione in corrispondenza di alcuni attraversamenti privati e dello scatolare che permette il superamento dell'incrocio del Teglio Comugne con la SP93.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

7.1 Risultati simulazione Stato di progetto: paratoia aperta a ½

Si riportano i seguenti grafici:

- profilo longitudinale del Teglio Comugne
- profilo longitudinale della SP93
- profilo longitudinale di via Viola
- profilo longitudinale del Comugne Cintello
- grafico portata-tempo nel tratto terminale della SP93
- grafico portata-tempo nel tratto terminale del Teglio Comugne

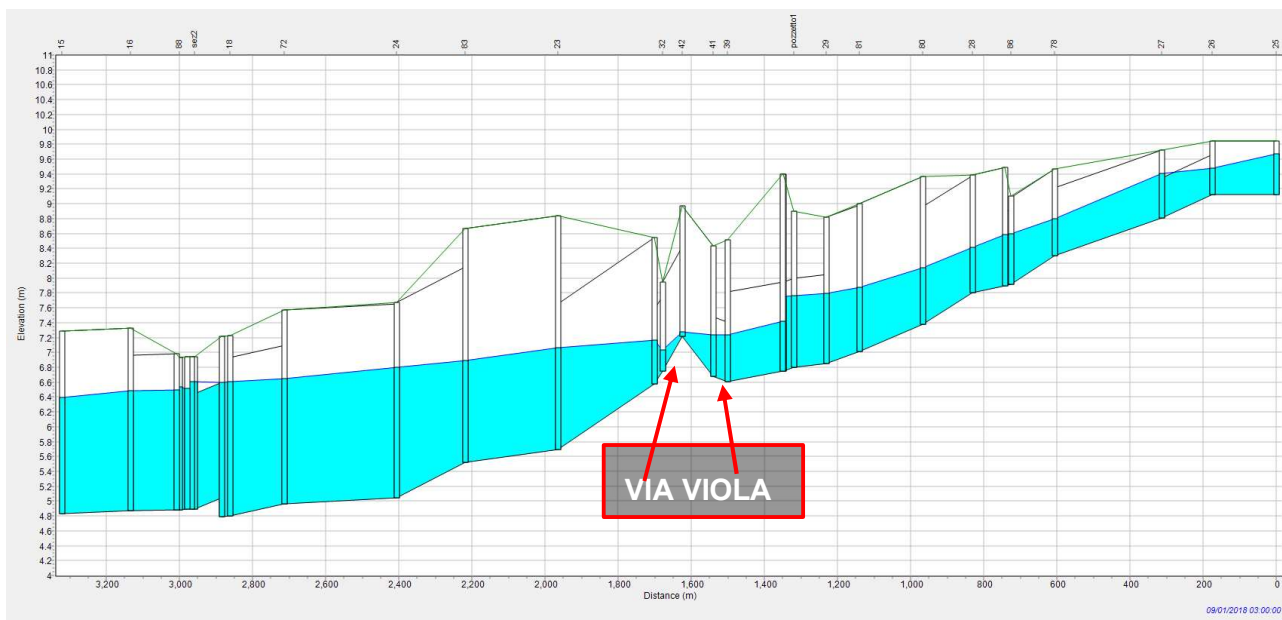


Figura 15. Profilo longitudinale del percorso idraulico definito dal Teglio Comugne con paratoia aperta a ½

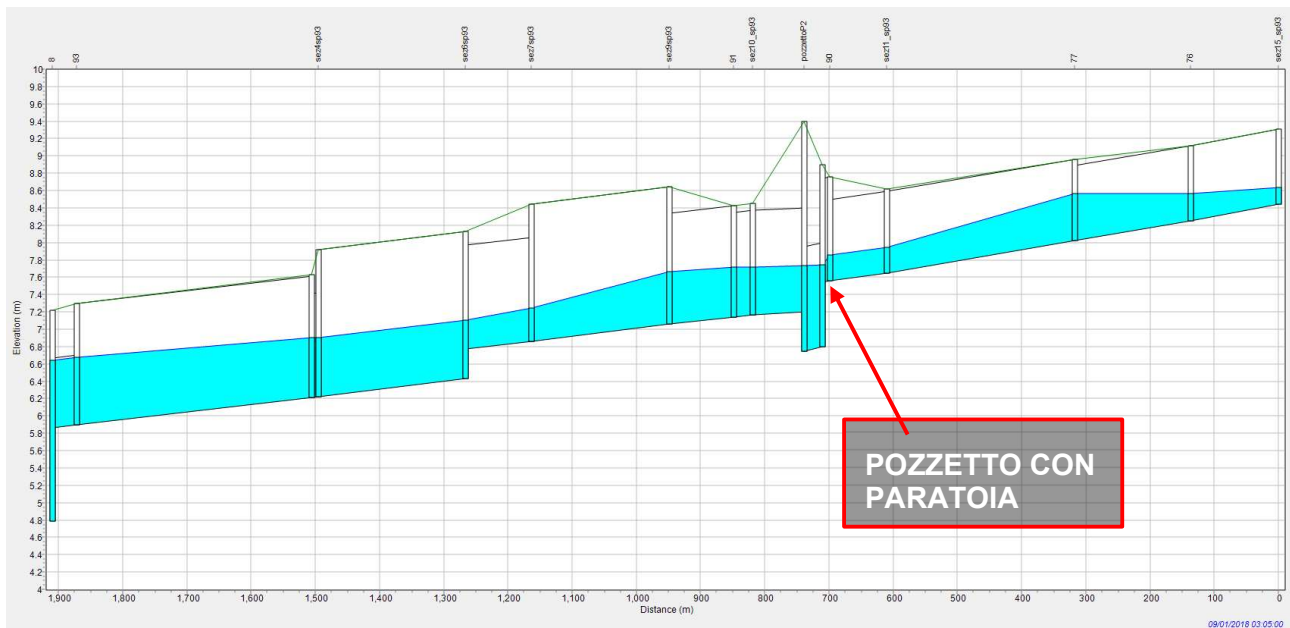


Figura 16. Profilo longitudinale del percorso idraulico definito dal nuovo fossato lungo la SP93 con paratoia aperta a $\frac{1}{2}$

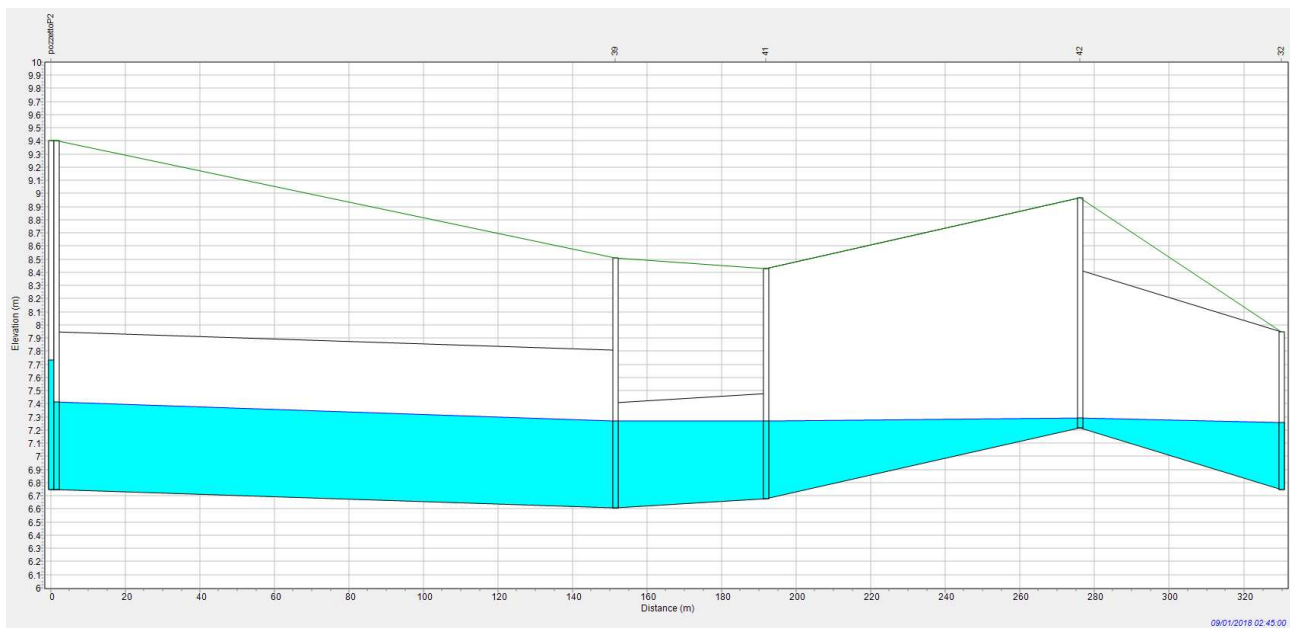


Figura 17. Profilo longitudinale del Teglio Comugne lungo Via Viola con paratoia aperta a $\frac{1}{2}$

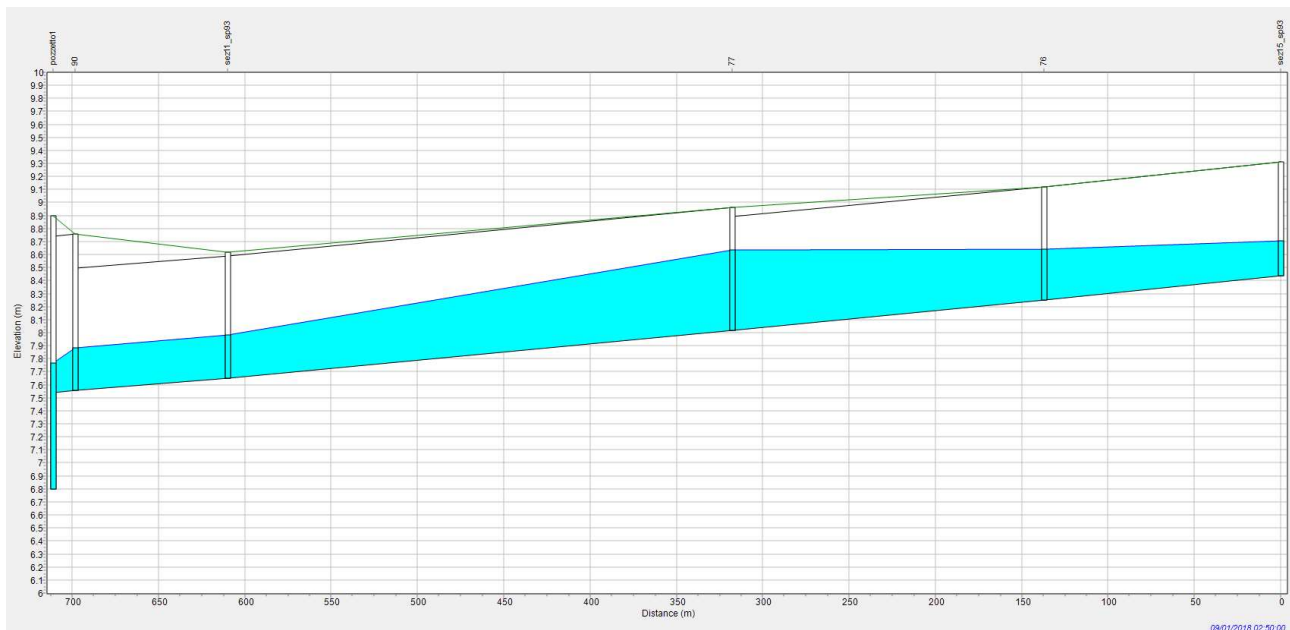


Figura 18. Profilo longitudinale del Comugne Cintello con paratoia aperta a $\frac{1}{2}$

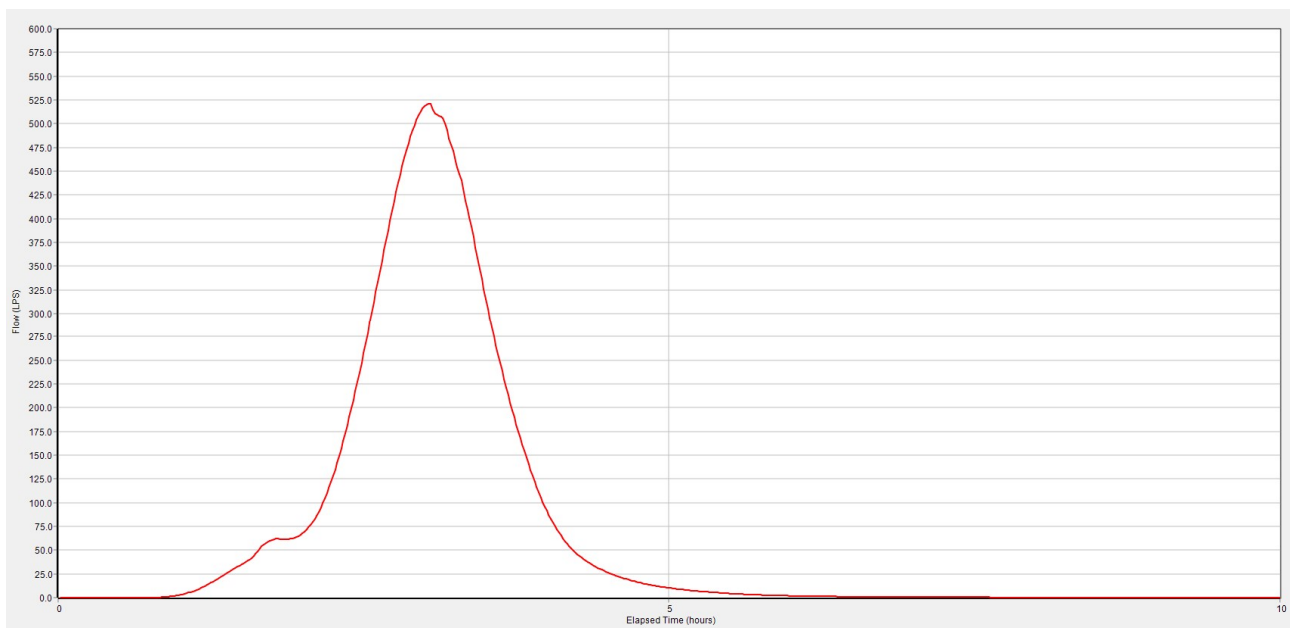


Figura 19. Andamento della portata alla fine del colettore parallelo alla SP93 con paratoia aperta a $\frac{1}{2}$

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	--

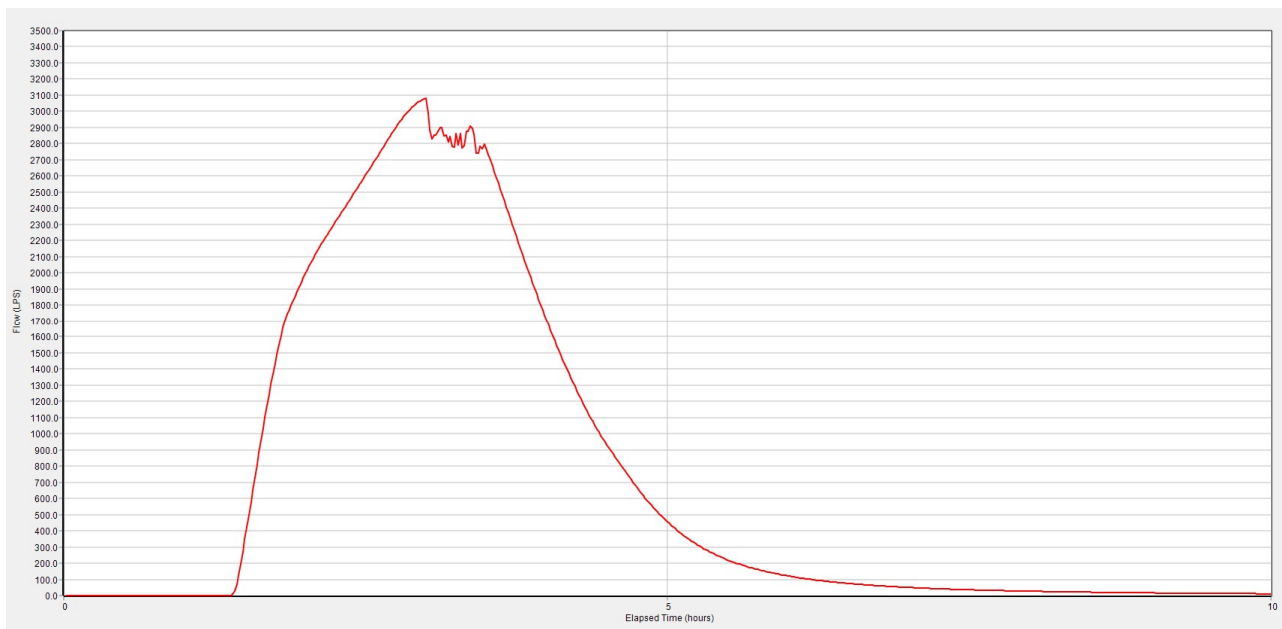


Figura 20. Andamento della portata alla sezione di chiusura del bacino del Teglio Comugne con paratoia aperta a ½

La chiusura della paratoia anche solo a metà permette di evitare allagamenti nella zona a nord di via Viola, garantendo comunque la sicurezza idraulica del tratto a valle. La portata massima transitante lungo il fossato della SP93 è pari a 525 l/s; la portata di picco scaricata dall'intero bacino chiuso al ponte ferroviario risulta essere di 3,10 m³/s.

La soluzione così simulata permette di evitare allagamenti diffusi, proteggendo in particolare l'area di via Viola dal rigurgito della condizione di valle del Teglio Comugne. Inoltre, si ha la creazione di nuovo volume utile per invasare le acque di pioggia lungo la SP93.

7.2 Risultati simulazione Stato di progetto: paratoia completamente chiusa

Si riportano i risultati della simulazione del comportamento del bacino con la paratoia posta nel pozzetto P1 completamente chiusa: tale situazione potrebbe verificarsi nel caso in cui il Teglio Comugne nel tratto parallelo a via Viola fosse già in condizioni tali da non poter sopportare ulteriore apporto di acque da nord: in tale condizione si ottiene la completa deviazione della portata lungo il collettore parallelo alla SP93.

Si riportano i seguenti grafici:

- profilo longitudinale del Teglio Comugne;

- profilo longitudinale della SP93;
- profilo longitudinale di via Viola;
- grafico portata-tempo nel tratto terminale della SP93;
- grafico portata-tempo nel tratto terminale del Teglio Comugne.

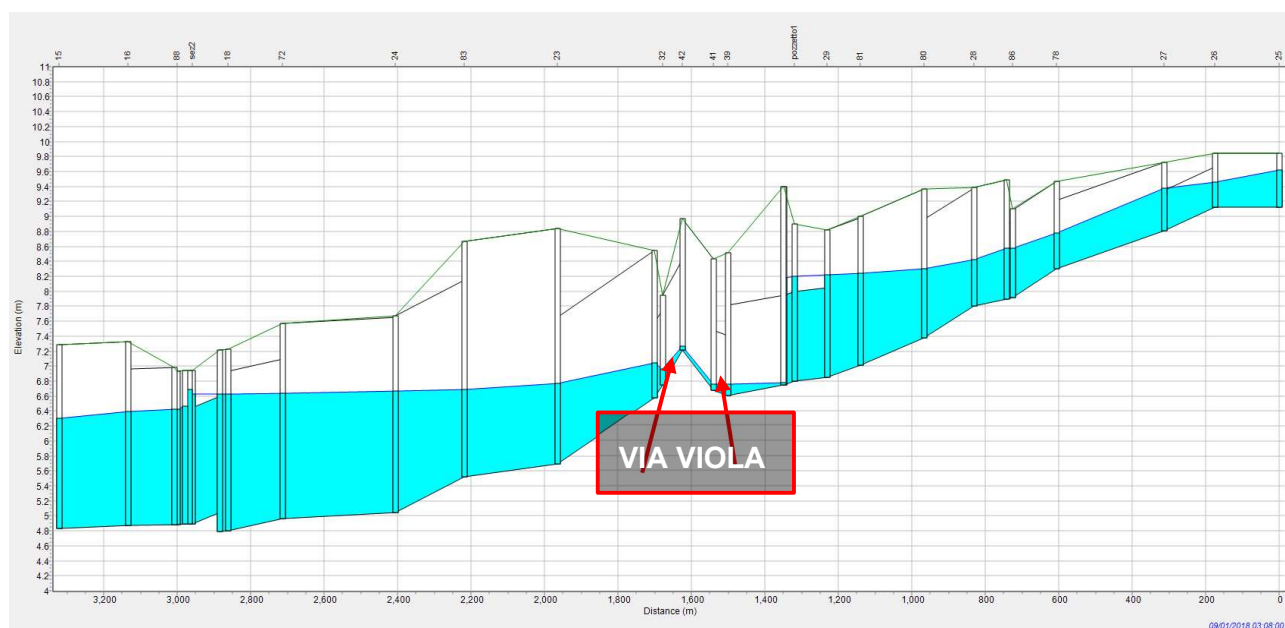


Figura 21. Profilo longitudinale del Teglio Comugne con paratoia completamente chiusa

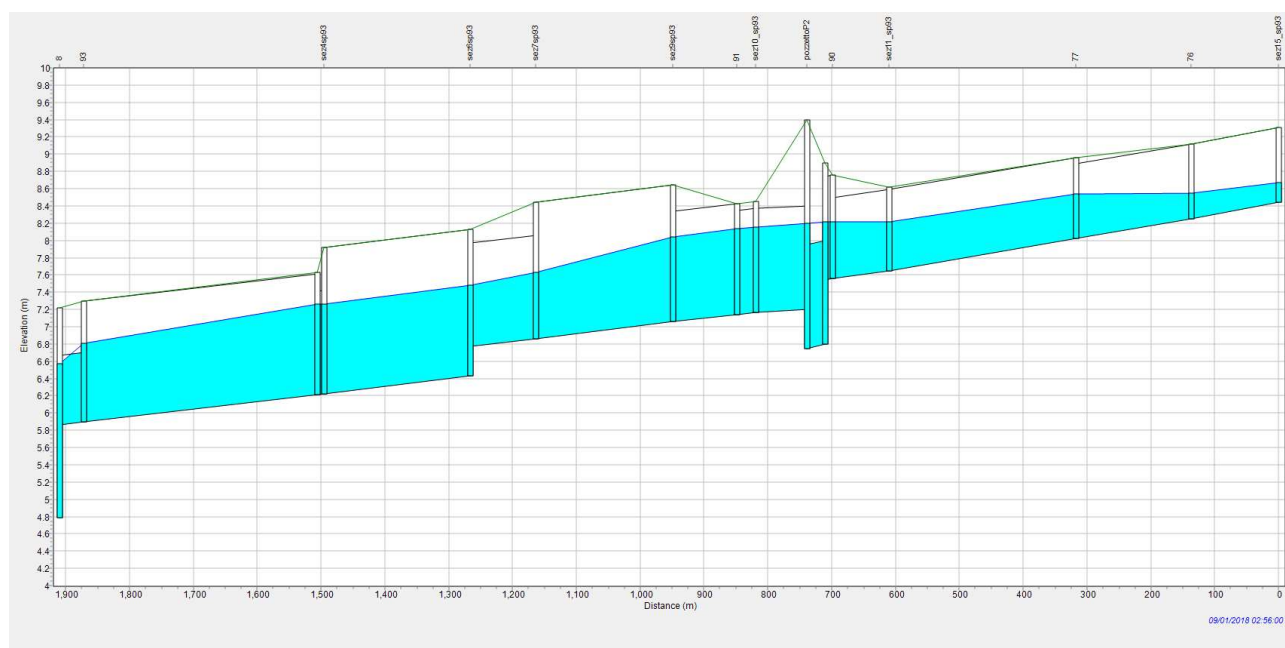


Figura 22. Profilo longitudinale del canale parallelo alla SP93 con paratoia completamente chiusa

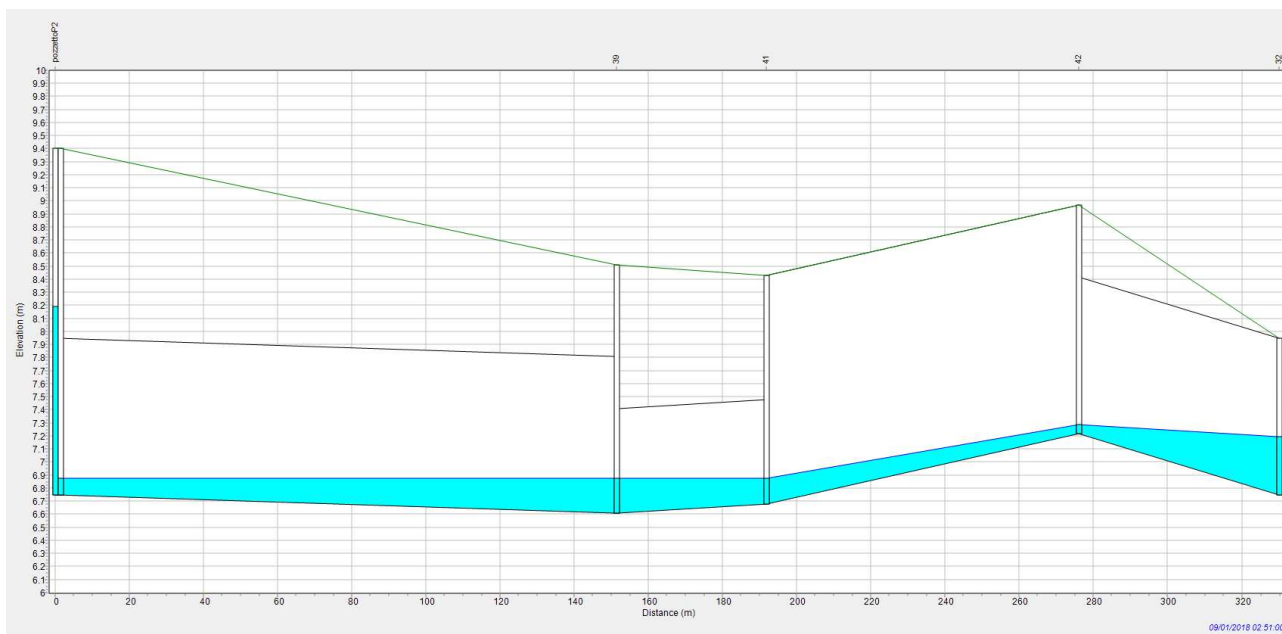


Figura 23. Profilo longitudinale del Teglio Comugne nel tratto di via Viola con paratoia completamente chiusa

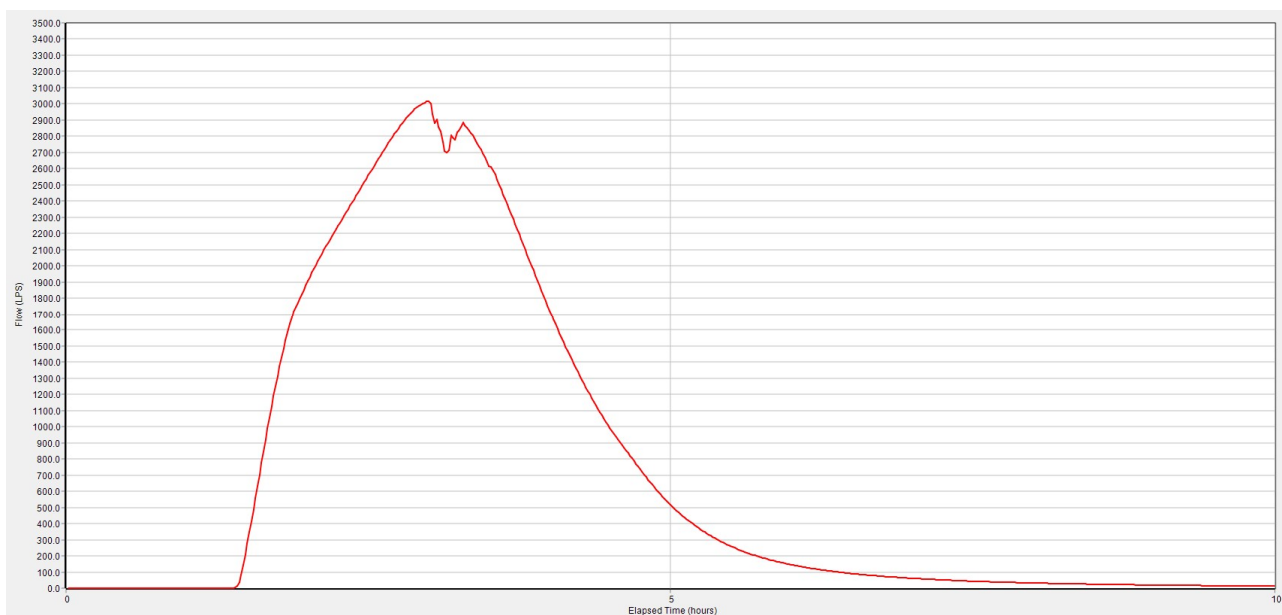


Figura 24. Andamento della portata alla sezione di chiusura del bacino del Teglio Comugne con paratoia completamente chiusa

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

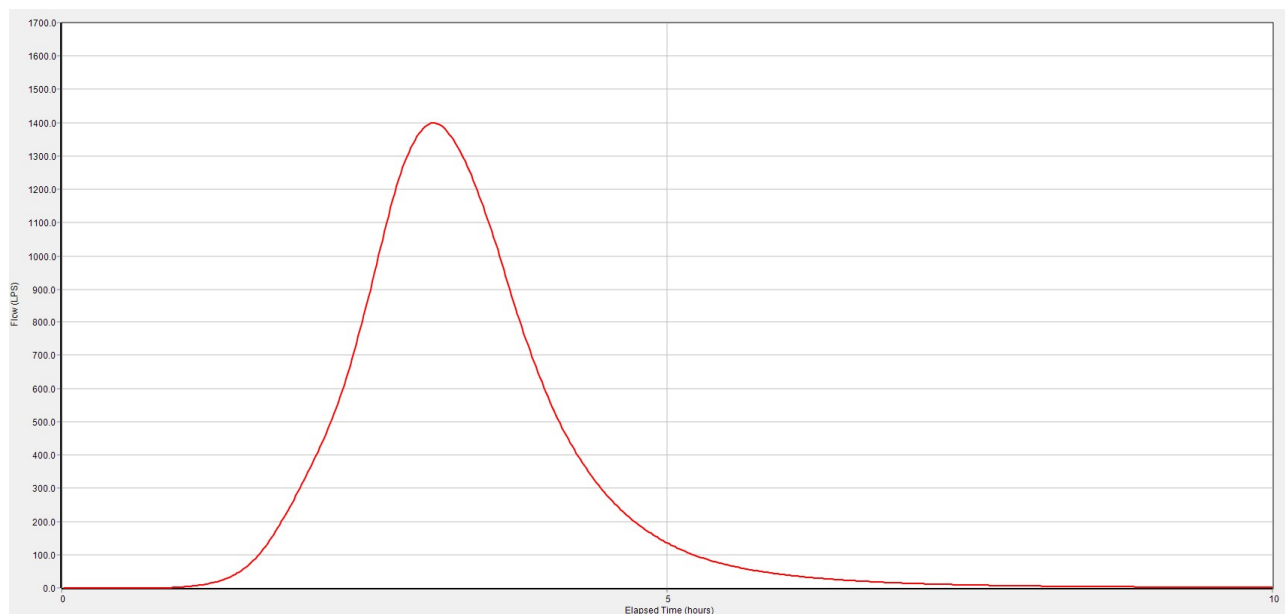


Figura 25. Andamento della portata alla fine del fossato parallelo alla SP93 con paratoia completamente chiusa

La chiusura totale della paratoia riesce a ridurre sensibilmente i livelli del Teglio Comugne nei pressi di via Viola; il flusso deviato sulla SP93 comporta un incremento significativo della portata di picco nel fossato della SP93. Tale condizione non genera comunque allagamenti lungo tale corso d'acqua.

La portata massima transitante lungo il fossato della SP93 è pari a 1.400 l/s; la portata di picco scaricata dall'intero bacino chiuso al ponte ferroviario risulta essere di circa 3.000 l/s.

7.3 Confronto portate scaricate con le diverse aperture della paratoia

Si riportano di seguito in forma sintetica le portate di picco che si realizzano con le diverse aperture della paratoia per i tratti:

- Teglio Comugne prima della confluenza con la SP93;
- tratto terminale del fossato della SP93;
- Teglio Comugne alla sezione di chiusura;

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Apertura paratoia	Fossato	Portata di picco [l/s]
1/2	Teglio C. prima della confluenza	2550
	SP93	525
	Teglio C. ponte ferrovia	3100
1/4	Teglio C. prima della confluenza	2400
	SP93	775
	Teglio C. ponte ferrovia	3050
0	Teglio C. prima della confluenza	1900
	SP93	1400
	Teglio C. ponte ferrovia	3000

La portata massima che raggiunge la sezione di chiusura verso il recapito finale, rappresentato dal fiume Lemene, è pari a 3,1 m³/s.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

8. STATO DI FATTO CANALE SACCON

8.1 Canale Saccon: geometria e parametri per lo Stato di Fatto

Nella realizzazione del modello idraulico dello stato di fatto, si è implementata la geometria del corso d'acqua a partire dalle sezioni rilevate. Le sezioni di rilievo utilizzate sono state numerate da n.1 a n.9 e comprendono il tratto del canale che va dal confine comunale fino alla SS463 del Tagliamento.

Queste prime sezioni inserite (1-9), che sono presenti circa ogni 100 m, sono state successivamente infittite mediante interpolazione con passo di circa 30 m. Il parametro di scabrezza secondo Manning utilizzato per l'alveo (*Channel*) è di $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$.

Sono stati inseriti come "*inline structure*" i manufatti presenti in alveo, quali, ad esempio, i tombinamenti. Tali manufatti, che costituiscono impedimento al flusso del corso d'acqua e sono causa di rigurgito, saranno oggetto di ridimensionamento. Questi elementi sono stati inseriti nel modello con propria sezione, lunghezza e quota di fondo, anch'esse definite da rilievo, nonché coefficiente di Manning pari a $0,012 \text{ s/m}^{1/3}$ (valore identificativo di condotte in calcestruzzo).

È inoltre presente un elemento, inserito come "*bridge*", a rappresentare il Ponte Ferroviario della linea Portogruaro-Udine. Anche in questo caso, sono state inserite le stesse caratteristiche elencate precedentemente.

Nella modellazione, il Bacino Saccon, come definito al Paragrafo 4.1, è stato suddiviso in due sottobacini, le cui caratteristiche sono riportate nella tabella che segue. Le portate così ottenute, la cui somma è pari alla portata del bacino totale, sono state attribuite a due diverse sezioni del corso d'acqua, opportunamente individuate sulla base della conformazione del territorio.

Sottobacino	Superficie S [ha]	Tempo di corrivazione Tc [ore]	Altezza di precipitazione di progetto h [mm]	Portata di progetto alla sezione di chiusura Q [m³/s]
Monte	60.25	6.8	109	0.81
Valle	14.97	2.9	86	0.38

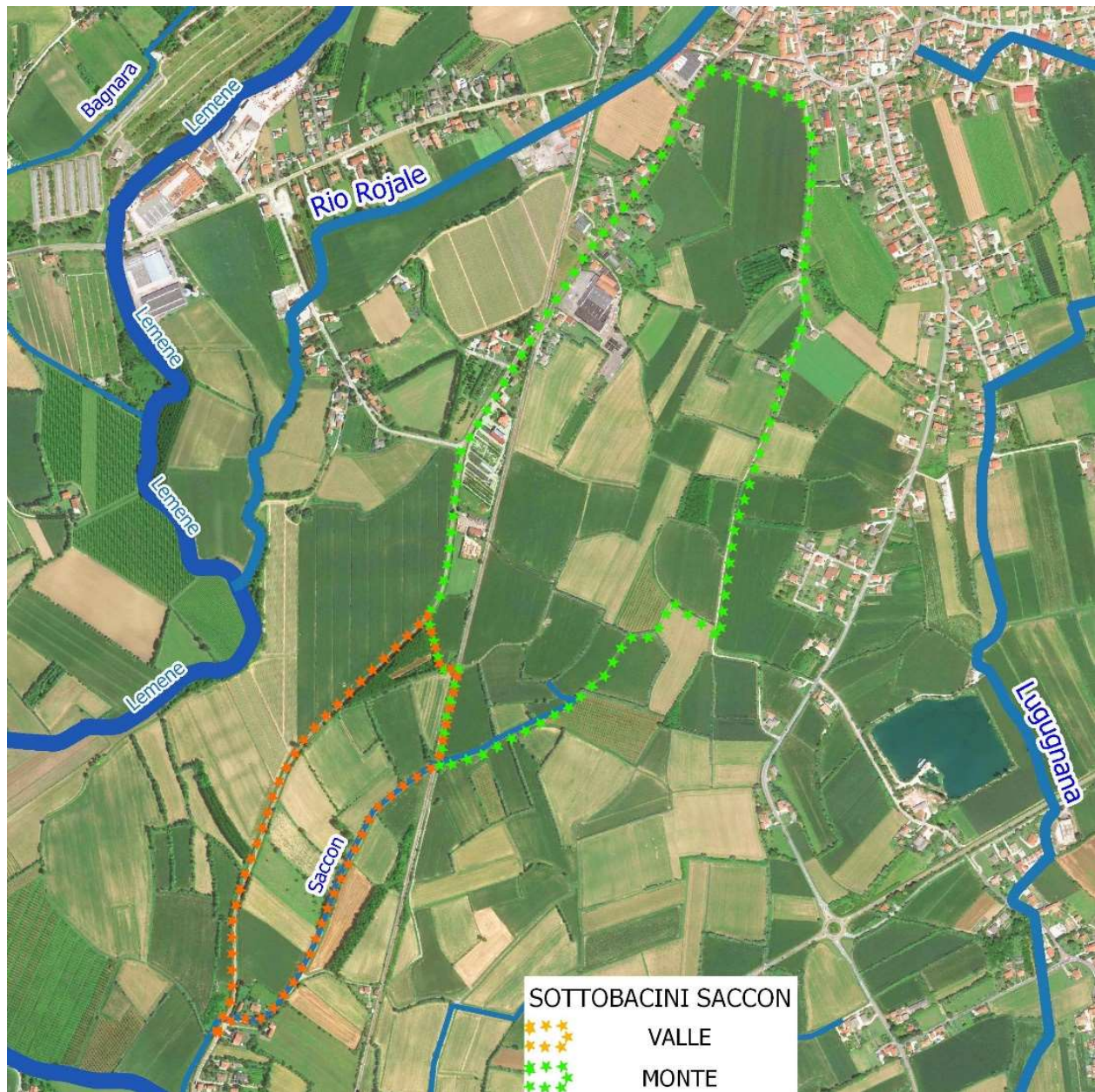


Figura 26. Planimetria dei sottobacini del canale Saccon

Quale condizione al contorno di valle è stato impostato il moto uniforme (*normal depth*) del tratto di valle del corso d'acqua.

8.2 Canale Saccon: simulazione dello stato di fatto

La simulazione dello stato di fatto è stata svolta a moto permanente (*Steady Flow*), per eventi con tempo di ritorno pari a quello di calcolo della portata ($Tr=50$ anni).

Le problematiche riscontrate vengono illustrate di seguito e sono, inoltre, osservabili in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata..**

In particolare, per eventi con tempo di ritorno di 50 anni, si riscontrano criticità idrauliche lungo tutto il canale, a partire già dalle prime sezioni di monte, con il livello idrico che permane al di sopra dei cigli mediamente di 15-20 cm. Procedendo verso valle, si nota che la portata tracima i cigli del corso d'acqua in modo diffuso, con un incremento in corrispondenza dei tratti tombinati, a monte dei quali si assiste a fenomeni di rigurgito. Lo stesso accade a monte della condotta terminale di valle, prima dello scarico del Saccon presso il ponte lungo la strada SR 463.

Il rilevato ferroviario sembra, invece, non creare impedimento al normale flusso della portata.

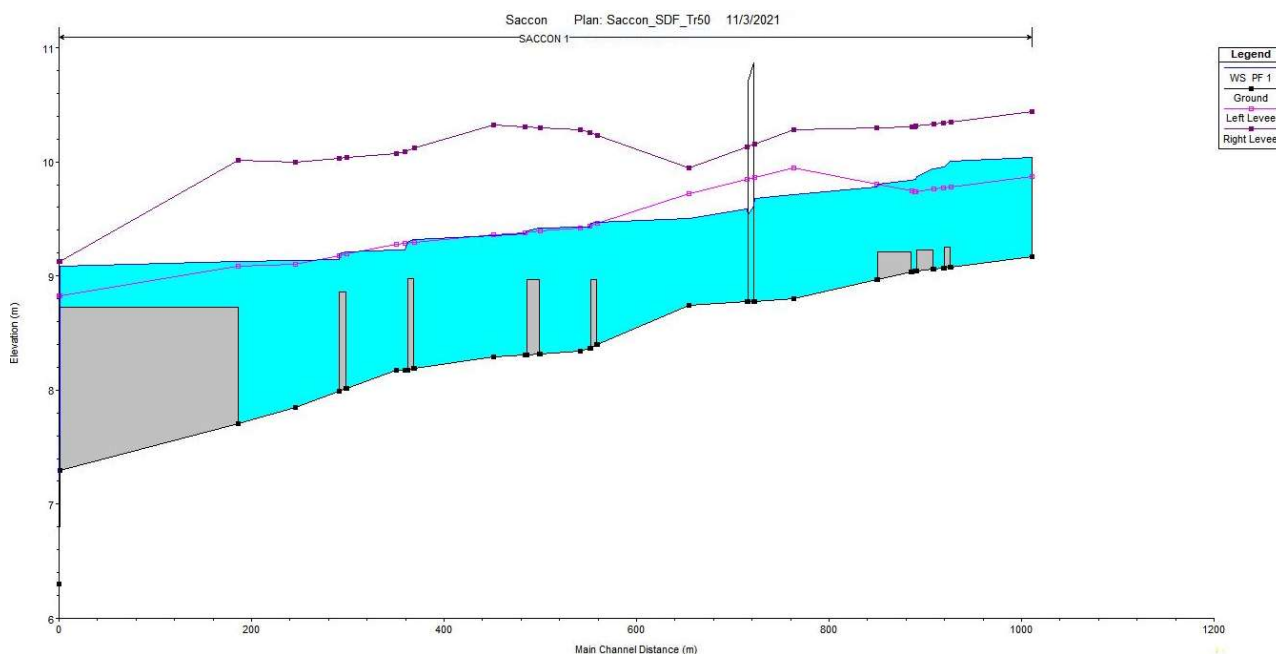


Figura 27. Profilo Stato di Fatto sviluppato con Hec-Ras

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

9. STATO DI PROGETTO CANALE SACCON

9.1 Geometria e parametri per lo Stato di Progetto

Per la simulazione dello stato di progetto si sono mantenute le stesse portate e condizioni al contorno esposte nei paragrafi precedenti.

Le modifiche geometriche imposte al sistema sono state molteplici. Innanzitutto, si è prevista una ricalibratura dell'alveo che ha permesso, grazie alla presenza di due salti di fondo di 0.25 m e 0.20 m rispettivamente, di ridurre la pendenza dello stesso. In particolare, si è passati da una pendenza pari a 1.6‰ ad una di 1.0‰.

Si è poi preceduto ad un risezionamento del canale, identificando una nuova sezione “tipo” con base 0.50 m e scarpate 3:2, che permettesse il transito della portata di progetto in condizioni di sicurezza.

In fine, il diametro di ognuna delle condotte che occupano l'alveo è stato incrementato al fine di ridurre i sopra descritti fenomeni di rigurgito. Si è coerentemente variata la quota di fondo delle condotte, in virtù del nuovo diametro, per garantirne un corretto ricoprimento.

9.2 Simulazione dello stato di progetto

Anche per lo stato di progetto, la simulazione è stata svolta a moto permanente (*Steady Flow*), per eventi con tempo di ritorno pari a 50 anni.

Il risultato prodotto dalla simulazione è osservabile in Figura 28.

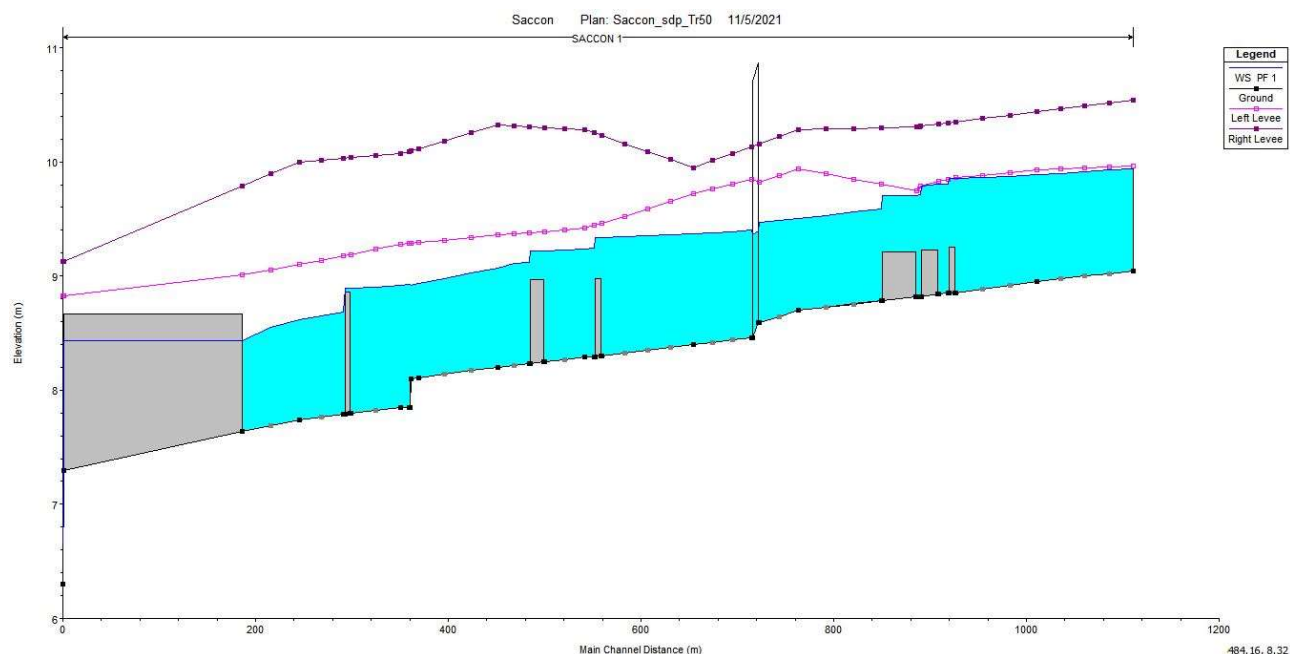


Figura 28: Profilo Stato di Progetto sviluppato con Hec-Ras

In particolare, confrontando quanto ora ottenuto con la simulazione precedente, è possibile osservare come i fenomeni di rigurgito della corrente vengono sensibilmente ridotti, se non completamente risolti, grazie all'incremento dei diametri (da 0.8m a 1.0 m) delle condotte poste in alveo ed alla variazione della pendenza.

La variazione di profilo più significativa si ha nelle sezioni di valle del Canale Saccon, grazie alla sostituzione del tombinamento attualmente esistente, avente diametro 0.40 m, con uno di diametro pari a 1.00 m.

In fine, come si può osservare, la portata è contenuta nelle sezioni del canale Saccon con un buon franco di sicurezza nella gran parte della lunghezza dello stesso. Permane, pur rimanendo la portata contenuta nei cigli, una situazione di sfavore delle sezioni terminali di monte, nelle quali il livello idrico si avvicina maggiormente alla quota del ciglio, annullando il franco tra i due.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

10. CONCLUSIONI

La soluzione proposta è in grado di garantire la sicurezza idraulica del territorio esaminato evitando allagamenti per insufficienze della rete di drenaggio.

Con il presente Progetto esecutivo, in ragione dei limiti economici imposti, si prevede di poter realizzare un primo lotto di interventi che comprende:

- Apertura del canale lungo la SP93 con risezionamento del fossato esistente e collegamento dei vari tratti fino alla confluenza con il tratto di valle del canale Teglio Comugne in corrispondenza di via Portogruaro a sud;
- Realizzazione di manufatti di regolazione in corrispondenza degli attraversamenti della SP93, dotati di bocca tarata e sfioratore di sommità e realizzazione tratti tombinati con tubazioni di diametro DN120cm per attraversamento strade laterali della SP93;
- Realizzazione del pozzetto P1 in corrispondenza dell'incrocio tra via Viola e la SP93 con manufatto di regolazione della portata dotato di paratoia e organo di manovra;
- Ricalibratura e risezionamento del canale Saccon con taglio vegetazione;
- Posa delle nuove tubazioni per gli attraversamenti campestri del canale Saccon e rifacimento tratto tombinato di valle con tubazioni di diametro DN100cm.

Con successivi stralci funzionali di intervento si dovrà procedere alla manutenzione straordinaria con ricalibratura anche dei canali Teglio Comugne e Comune Cintello, attualmente invasi di vegetazione e con presenza di tombinamenti di dimensioni insufficienti che ne limitano in modo significativo le condizioni di deflusso in caso di eventi meteorici intensi. Tra questi si dovrà prevedere anche il rifacimento dell'attraversamento del Teglio Comugne in via Viola, tramite sostituzione delle due tubazioni esistenti DN80cm con elementi scatolari prefabbricati delle dimensioni pari a 160x100 cm.

Concordia Sagittaria lì, 12.11.2021

Il Progettista

Ing. Andrea de Götzen



 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

11. APPENDICE – DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO SWMM

11.1 Generalità

L'EPA Storm Water Management Model (SWMM) è un modello dinamico di simulazione idraulica di afflussi in deflussi usato per lo studio di un singolo evento o la simulazione (continua) di lunga durata della quantità e della qualità del deflusso. La componente di deflusso SWMM funziona sull'identificativo di alcune zone denominate subcatchment (sottobacini) che ricevono la precipitazione e generano i carichi della sostanza inquinante e di precipitazione. Il modello trasporta i carichi attraverso un sistema di condotte, canali, dispositivi di trattamento e di invaso, impianti di sollevamento, luci di fondo e stramazzi. SWMM rintraccia la quantità e la qualità di deflusso generate all'interno di ogni subcatchment, la portata, la profondità di flusso e la qualità di acqua in ogni condotta e canale durante il periodo di simulazione formato da passi temporali definiti.

11.2 Descrizione matematica del modello di calcolo

Il modello è formato da 4 blocchi principali, destinati a studiare ognuno un singolo aspetto della rete; i 4 moduli possono essere interconnessi, ma permettono anche di essere utilizzati singolarmente in quei casi in cui sia necessario lo studio di un particolare aspetto. In particolare, il modulo EXTRAN a cui è devoluto il compito di analizzare la rete a moto vario è stato sviluppato come programma autonomo nel 1973 come modello per l'analisi della rete fognaria di San Francisco; nel 1974 è stato poi acquistato dall'EPA per essere integrato in SWMM.

Per quanto riguarda la restituzione delle acque al recipiente finale, SWMM è in grado di simulare varie condizioni, tra le quali anche la possibilità di sbocco in un recipiente con il livello variabile nel tempo.

Runoff

Runoff è il modulo di SWMM destinato all'analisi quantitativa e qualitativa dei fenomeni di scorrimento superficiale e di trasporto di acqua e inquinanti ai collettori principali della rete.

Il bacino viene schematizzato come un aggregato di sottobacini e di tubazioni. I dati relativi alle precipitazioni possono essere inseriti come intensità o come altezza cumulata di precipitazione. L'afflusso è considerato uniformemente distribuito su tutto il bacino (se non diversamente specificato). La trasformazione degli afflussi in deflussi viene fatta secondo la schematizzazione di

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

un serbatoio non lineare. La portata in ingresso è calcolata sulla base della precipitazione, la portata in uscita, che rappresenta l'idrogramma in ingresso alla rete fognaria, è ridotta dalle perdite dovute all'evaporazione, all'infiltrazione e alla capacità d'invaso del bacino stesso.

Il volume di questi, ipotetici, serbatoi è dato dalla capacità di immagazzinamenti delle depressioni. Il deflusso si innesca quando l'altezza d'acqua nel serbatoio supera l'altezza delle depressioni.

Questo viene determinato tramite l'equazione:

$$Q = W(1,49/n)(d-d_p)^{5/3}S^{1/2}$$

Ogni sottobacino viene considerato come una superficie inclinata divisa in zone permeabili e impermeabili, equamente distribuite ai lati del serbatoio.

La larghezza, la pendenza e il coefficiente di Manning della superficie di scolo sono parametri importanti ai fini del calcolo del tempo di corrivazione e della determinazione del deflusso superficiale.

Il calcolo dell'infiltrazione nelle zone permeabili, aree a verde, può essere svolto utilizzando la seguente formula empirica di Horton, assegnando i coefficienti più adatti in funzione del tipo di terreno:

$$f = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

dove

- $f(t)$ è la capacità di infiltrazione nel tempo espressa in mm/h
- f_0 è l'infiltrazione massima che si verifica nel tempo $t=0$;
- f_c è il valore di infiltrazione raggiunto asintoticamente ad un tempo infinito;
- k è una costante che qualifica la velocità dell'esaurimento, cioè del passaggio dal valore f_0 al valore f_c .

Si ipotizza che l'acqua di precipitazione in parte si accumuli nelle depressioni superficiali del terreno ed in parte si infiltri nel terreno fino a saturarlo, a questo punto l'acqua meteorica si infiltra solamente in minima parte e praticamente tutta scorre in superficie fino a raggiungere la rete drenante. Ogni suolo è, quindi, caratterizzato da quattro parametri f_0 , f_c , k e la detenzione superficiale ds . I valori f_0 , f_c e k esprimono, in un certo qual modo, rispettivamente la capacità di penetrazione della pioggia nella superficie del suolo, la velocità di propagazione attraverso gli strati saturi del suolo e la velocità con cui, quest'ultimo, si va saturando, in relazione alla specifica tessitura.

Sono stati assegnati, considerando i terreni della zona in esame ed in accordo con quanto disponibile in letteratura, i seguenti parametri della curva di Horton forniti dal Soil Conservation

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Service assumendo una tipologia di terreno B con: Potenzialità di deflusso moderatamente bassa, la quale comprende suoli sabbiosi.

Il territorio è stato caratterizzato, sulla base della pedologia, dai seguenti parametri, distinti per zone:

$$f_0 = 150; 200; 225; 250 \left[\frac{mm}{h} \right]$$

$$f_c = 9; 12,7; 20; 25,4 \left[\frac{mm}{h} \right]$$

$$k = 2 \text{ h}^{-1}$$

Per le aree impermeabili la pioggia netta efficace è stata ottenuta mediante la sola sottrazione della detenzione data dal volume dei “piccoli invasi”.

Extran

Extran è un modello per la determinazione delle condizioni di moto in reti di canali o condotte; riceve idrogrammi come input in specifici nodi generati o dal modulo RUNOFF o immessi direttamente dall'utente. Il modello analizza il moto all'interno delle condotte mediante la risoluzione delle equazioni di De Saint-Venant nella loro forma completa. È in grado di simulare sia reti chiuse che dendritiche e può simulare i fenomeni sia di rigurgito che di moti in pressione. Permette di studiare stazioni di sollevamento e vasche di prima pioggia. Accetta vari tipi di condotte e permette l'analisi di canali naturali.

Il modello, al fine di produrre l'idrogramma in uscita, utilizza la forma completa delle equazioni di De Saint-Venant. La soluzione viene cercata mediante l'utilizzo di uno schema esplicito alle differenze finite denominato metodo di Eulero modificato.

L'attrito sul fondo è dato dall'equazione di Manning nella quale però la velocità viene espressa in valore assoluto in modo da rendere l'attrito direzionale e sempre rivolto in direzione contraria al moto.

Equazioni alla base della modellazione

Le equazioni alla base del codice usato da SWMM sono le equazioni differenziali alle derivate parziali del primo ordine di De Saint Venant, composte da:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (7.1)$$

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial t} + gAS \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (7.2)$$

Dove:

- A è l'area bagnata del flusso;
- Q è la portata;
- x è la distanza lungo l'asse del condotto;
- t è il tempo;
- g è la costante gravitazionale;
- H è il carico idraulico totale dato da z + h;
- z è il livello dello scorrimento;
- h è il livello idrico;
- S_f è la cadente piezometrica.

La (7.1) è l'equazione di continuità del moto vario in assenza di flussi e deflussi laterali, la (7.2) è l'equazione del momento della quantità di moto.

Considerando che:

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (7.3)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (7.4)$$

dove con V si intende la velocità media lungo il condotto.

Sostituendo nell'equazione del momento della quantità di moto (7.2):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (7.5)$$

Sapendo che l'equazione di continuità (5.1) può essere riformulata come:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (7.6)$$

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

nella quale, moltiplicando per V :

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (7.7)$$

Sostituendo quest'ultima equazione (7.7), nell'equazione (7.5) si ottiene:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (7.8)$$

che è l'equazione del moto risolta lungo i rami da SWMM.

La formula adottata per descrivere la perdita di carico è definita dall'equazione di Manning:

$$S_f = \frac{k}{gAR_H^{4/3}} Q|V| \quad (7.9)$$

Dove:

- k è un parametro dato da gn^2 ;
- n è il coefficiente di scabrezza di Manning;
- g è la costante gravitazionale;
- Q è la portata;
- V è la velocità media;
- R_H è il raggio idraulico.

Il termine V compare in valore assoluto per rendere direzionale la grandezza S_f , assicurando, inoltre, che le forze di attrito siano sempre opposte al moto.

Sostituendo la (7.9) nella (7.8) ed esprimendo il tutto alle differenze finite:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2V \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + V^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - gA \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (7.10)$$

Dove:

- Δt è il passo di calcolo;
- L è la lunghezza del condotto.
- Risolvendo la precedente equazione (7.10) si ottiene:

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{\bar{R}^{4/3}} |V_t|} \left[Q_t + 2\bar{V} \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + \bar{V}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g \bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \right] \quad (7.11)$$

Dove $\bar{V}$, $\bar{R}$ sono le medie pesate, al tempo t , lungo il condotto e $\left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t$ è calcolata al passo temporale precedente.

Le incognite dell'equazione (7.11) sono $Q_{t+\Delta t}$, H_1 e H_2 . È possibile esprimere le variabili $\bar{V}$, $\bar{R}$ ed $\bar{A}$ in funzione di Q e di H . Ora si rende necessario mettere a sistema un'ulteriore equazione, che può essere ricavata scrivendo l'equazione di continuità del moto:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t} \right)_t = \left(\frac{\sum Q_t}{A_s} \right)_t \quad (7.12)$$

dove A_s è l'area della superficie libera al nodo.

La precedente equazione (7.12) può essere scritta alle differenze finite:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \left(\frac{\sum Q_t \Delta t}{A_s} \right)_t \quad (7.13)$$

Soluzione numerica

Le equazioni (7.11) e (7.13) possono essere risolte tramite il metodo di Eulero modificato.

Lo schema di calcolo è:

1. Calcolare $\left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_t$ dalle proprietà del sistema al tempo t
2. Esprimere $Q\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right)$ come $Q\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) = Q(t) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_t \frac{\Delta t}{2}$
3. Calcolare le proprietà del sistema al tempo $t + \frac{\Delta t}{2}$
4. Formulare $\left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_{t+\frac{\Delta t}{2}}$ dalle proprietà del sistema al tempo $t + \frac{\Delta t}{2}$

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

5. Esprimere $Q(t + \Delta t)$ come $Q(t + \Delta t) = Q(t) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_{t + \frac{\Delta t}{2}} \Delta t$

Si calcola, quindi, il valore di $\left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right)_t$ in corrispondenza di un passo temporale intermedio $t + \frac{\Delta t}{2}$,

quindi assumendo come pendenza media del passo Δt quella all'istante $t + \frac{\Delta t}{2}$.

La sequenza delle operazioni da eseguire per il calcolo della portata nei rami e del carico idraulico nei nodi è:

1. calcolo della portata $Q_{t + \frac{\Delta t}{2}}$ nei rami al passo di calcolo $t + \frac{\Delta t}{2}$ con riferimento ai valori di carico idraulico H_t nei nodi al passo di calcolo intero precedente t ;
2. calcolo dei flussi attraverso pompe e sfioratori al passo di calcolo intermedio $t + \frac{\Delta t}{2}$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi collegati da tali organi al passo di calcolo precedente t ;
3. calcolo del carico idraulico $H_{t + \frac{\Delta t}{2}}$ nei nodi al passo di calcolo intermedio $t + \frac{\Delta t}{2}$ basandosi sul valore medio delle portate nei rami collegate al passo di calcolo intero precedente t e al passo di calcolo intermedio $t + \frac{\Delta t}{2}$ più i flussi attraverso pompe e sfioratori al passo di calcolo intermedio $t + \frac{\Delta t}{2}$;
4. calcolo della portata Q_t nei rami al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ con riferimento ai valori di carico idraulico $H_{t + \frac{\Delta t}{2}}$ nei nodi al passo di calcolo intermedio precedente $t + \frac{\Delta t}{2}$;
5. calcolo dei flussi attraverso pompe e sfioratori al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ basandosi sui valori di carico idraulico nei nodi collegati da tali organi al passo di calcolo precedente $t + \frac{\Delta t}{2}$;
6. calcolo del carico idraulico $H_{t + \Delta t}$ nei nodi al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ basandosi sul valore medio delle portate nei rami collegate al passo di calcolo intermedio precedente $t + \frac{\Delta t}{2}$ e al passo di calcolo intero $t + \Delta t$ più i flussi attraverso pompe e sfioratori al passo di calcolo intero $t + \Delta t$.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

Stabilità numerica del metodo di Eulero

Il metodo permette di arrivare ad una soluzione numerica dell'equazione del moto per il calcolo delle portate nei rami e dell'equazione di continuità per il calcolo del carico idraulico nei nodi.

Si presta bene all'implementazione per la sua semplicità, che induce una minore memoria utilizzata per i calcoli, ma proprio per questa il metodo non è stabile e richiede passi di calcolo brevi.

Dall'esperienza è risultato che il programma è numericamente stabile quando si verificano le seguenti condizioni:

- Per i rami:

$$\Delta t \leq \frac{L}{\sqrt{gD}}$$

Dove:

- Δt è il passo di calcolo;
- L è la lunghezza della condotta;
- g è la costante gravitazionale;
- D è il diametro della condotta.

Questa non è altro che una forma della condizione di Courant, in cui il passo di calcolo temporale è limitato dal tempo necessario alla propagazione dell'onda nella condotta.

- Per i nodi:

$$\Delta t \leq \frac{C' A_s \Delta H_{\max}}{Q}$$

dove:

- Δt è il passo di calcolo;
- C' è una costante adimensionale approssimativamente pari a 0,1;
- A_s è l'area della superficie libera corrispondente al nodo;
- $\Delta H_{\max}$ è il massimo sovrizzo della superficie dell'acqua durante il passo di calcolo Δt ;
- Q afflusso netto al nodo.

Quindi, dalle precedenti disuguaglianze si deduce che il passo di calcolo massimo ammissibile è determinato dal più piccolo e corto condotto con elevati afflussi.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale 	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

In genere un passo di calcolo di 5-10 secondi è sufficientemente piccolo da garantire idrogrammi esenti da oscillazioni irregolari e soddisfa la continuità della massa in condizioni di allagamento.

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

12. APPENDICE – DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO HECRAS

Il programma di calcolo numerico HEC-RAS si pone ormai da qualche anno come punto di riferimento per l'integrazione di profili di moto permanente e di moto vario, essendo strumento affidabile nello studio dei corsi d'acqua naturali ed artificiali.

Il programma RAS sviluppato dal Hydrologic Engineering Center dell'esercito degli Stati Uniti si compone di diversi moduli, responsabili rispettivamente della risoluzione del moto uniforme, di profili di moto permanente, di profili di moto vario (cioè della propagazione di onde di piena nei corsi d'acqua) e della risoluzione dei problemi di trasporto solido.

HEC-RAS è in grado di determinare, forniti i dati geometrici e le condizioni al contorno appropriate, profili di correnti lineari in regime di corrente subcritica, supercritica e mista dove si verifica il passaggio da uno all'altro regime tramite profili di chiamata o tramite risalto idraulico. Il software consente la trattazione delle reti di canali a cielo aperto e, con qualche riserva sui risultati, anche delle reti con brevi tratti chiusi in condotta.

La potenzialità di questa applicazione sta nella possibilità di trattare corsi d'acqua con sezioni di qualsiasi forma ed in presenza di manufatti idraulici, quali ponti con pile in alveo, brevi tombinamenti, botti a sifone, traverse con luci a sfioro libero e a battente. Il programma risolve reti di canali a maglia aperta, dentritiche, nelle quali sono presenti nodi idraulici (junction) di confluenza e derivazione.

I profili liquidi sono calcolati da HEC-RAS risolvendo l'equazione del bilancio energetico per il tronco generico in cui è suddiviso il tratto di corso d'acqua se il regime della corrente è totalmente subcritico o supercritico. Nel caso si sviluppi un regime di corrente mista il programma calcola i profili liquidi utilizzando il teorema della quantità di moto per la localizzazione dell'eventuale risalto.

Per quanto riguarda i nodi idraulici si risolvono applicando, a scelta dell'utente, il principio di conservazione dell'energia o della quantità di moto tra le sezioni estreme dei tratti convergenti in esso. Premettendo che l'ipotesi monodimensionale appare in questo caso molto semplificativa e spesso non adeguata alla risoluzione di questi nodi, in generale si può affermare che l'utilizzo del metodo energetico è da preferire nel caso di derivazione o divisione, mentre il principio della quantità di moto dà migliori risultati nel caso di confluenze vista la difficoltà di valutare le perdite d'energia per immissione.

12.1 Dati di input

Per l'integrazione dei profili liquidi in un corso d'acqua è indispensabile inserire dapprima i dati geometrici, tramite la finestra grafica di HEC-RAS, costituiti dallo schema planimetrico del canale

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

principale, tracciato procedendo da monte verso valle, e dalle sezioni trasversali numerate da valle verso monte.

E' di norma consigliabile proseguire il tracciamento topografico anche oltre la zona di interesse, per verificare verso monte l'eventuale influenza di opere inserite sull'asta di un corso d'acqua, e a valle per smorzare l'effetto degli errori, molto spesso presenti, sulle condizioni al contorno che si fissano al termine del tratto. Come anticipato è possibile la risoluzione di reti aperte dentritiche di cui è necessario tracciare l'andamento planimetrico ed inserire i nodi di giunzione tra i vari rami che la compongono.

I dati delle sezioni trasversali vengono inseriti come punti su di un piano cartesiano in cui l'asse delle ascisse corrisponde ad un piano di riferimento, mentre le ordinate sono chiaramente l'elevazione dei punti della sezione. E' inoltre necessario specificare la distanza tra la sezione corrente e la sezione a valle, valore questo che può essere inserito in modo distinto per l'alveo principale e le golene (se esistono), sì da tener conto in modo più preciso della geometria dell'asta fluviale. Le sezioni sono inserite con passo dipendente dalla complessità della geometria reale. RAS permette comunque di creare sezioni fittizie interpolando tra i dati di quelle reali, sì da diminuire il passo di integrazione ed evitare l'insorgere di problemi nell'integrazione dei profili liquidi. La definizione della geometria delle sezioni trasversali richiede infine l'inserimento del numero di Manning, reciproco del coefficiente di scabrezza di Strickler, che compete all'alveo e alle golene, nonché l'immissione dei coefficienti di perdita di energia locali dovute a contrazioni ed espansioni della vena liquida in corrispondenza alla sezione stessa.

Al fine di simulare con un metodo unidimensionale certe caratteristiche del moto che sono tipicamente bidimensionali è prevista la possibilità di inserire delle opzioni fra i dati delle sezioni che rendono i risultati dei calcoli del modello più aderenti alla realtà. In particolar modo in presenza di infrastrutture in alveo si creano lateralmente zone vorticose che non contribuiscono al moto della corrente. Nella sezione, quindi, solo una parte dell'area è attiva, mentre la residua è occupata da acqua stagnante che non deve essere considerata per la valutazione della velocità media nella sezione. Per delimitare l'area attiva nei confronti del flusso HEC-RAS dispone di tre opzioni definibili in modo permanente oppure entro un certo valore del tirante d'acqua. Ciò permette per esempio di tener conto della presenza di arginelli, che evitano l'allagamento delle golene o dei piani campagna per portate limitate, oppure dell'effetto di distacco della corrente, con la generazione di una zona di ricircolo, appena a valle delle pile di un ponte.

La geometria di un corso d'acqua o di un sistema di canali si completa con l'aggiunta di manufatti idraulici eventualmente presenti in determinati punti della rete; HEC-RAS consente l'inserimento di differenti tipologie di manufatti quali ponti e attraversamenti (ad apertura singola o

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

multipla con sezioni di diverse forme, dimensioni, e coefficienti di perdita), manufatti con paratoie piane e radiali, manufatti con sfioratori di superficie, stazioni di sollevamento ed aree d'invaso.

Terminata l'immissione dei dati relativi alla geometria del sistema è possibile procedere all'inserimento dei dati relativi al moto vario richiesti dal programma per eseguire l'integrazione, che sono le condizioni al contorno e le condizioni iniziali per quel che riguarda portate e volumi d'invaso.

Le condizioni al contorno sono inserite selezionando la cartella Boundary conditions nell'editore dei dati. I River (fiume), Reach (rami) e River Station (RS o stazioni del fiume), verranno immessi automaticamente nella tabella. Le condizioni al contorno sono immesse selezionando una cella nella tabella e definendo successivamente il tipo di condizione al contorno per la stazione immessa. Il programma elimina automaticamente i tipi di condizioni al contorno non applicabili per la sezione considerata. Inoltre è possibile aggiungere nuove sezioni per immettere ulteriori condizioni al contorno interne.

In RAS sono disponibili diversi tipi di condizioni al contorno:

- idrogramma dei deflussi (flow hydrograph)
- idrogramma delle altezze liquide (stage hydrograph)
- idrogramma delle altezze e delle portate (stage and flow hydrograph)
- scala di deflusso (rating curve)
- altezza di moto uniforme (normal depth)
- idrogramma dei deflussi laterali (lateral inflow hydrograph)
- idrogramma dei deflussi laterali distribuiti (uniform lateral inflow)
- interflusso idrogeologico (groundwater interflow)
- legge temporale di apertura delle paratoie (time series of gate openings)
- paratoie controllate dalla quota del pelo libero (elevation controlled gates)
- idrogramma interno delle altezze liquide (internal observed stage hydrograph)
- idrogramma interno delle altezze e delle portate (internal observed stage and flow hydrograph).

Nel caso specifico, le condizioni al contorno più significative sono costituite dalle quote di attacco e stacco delle pompe dell'impianto idrovoro.

In aggiunta alle condizioni al contorno è necessario specificare le condizioni iniziali del sistema prima di effettuare l'analisi in moto vario. Le condizioni iniziali consistono nei dati di portata e di quota del pelo libero relativi ad ogni sezione, in aggiunta alla definizione dei volumi iniziali invasati per le eventuali aree di invaso definite.

Una volta che sono stati immessi tutti i dati relativi alla geometria ed al moto, il programma può iniziare la simulazione in moto vario, con la definizione di un piano (plan) che prevede i programmi

 Consorzio di Bonifica Veneto Orientale  ANDREA DE GÖTZEN INGEGNERE	PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO <i>Piano delle Acque Comune di Teglio Veneto – Opere di riordino ed assetto della rete idraulica minore del territorio</i>	RELAZIONE TECNICA
--	---	---------------------------------

da eseguire, la data e gli istanti iniziali e finali della simulazione, le impostazioni di calcolo e le opzioni di simulazione.