

CONSORZIO DI BONIFICA VENETO ORIENTALE

Portogruaro - San Donà di Piave (VE)

PROVINCIA DI VENEZIA

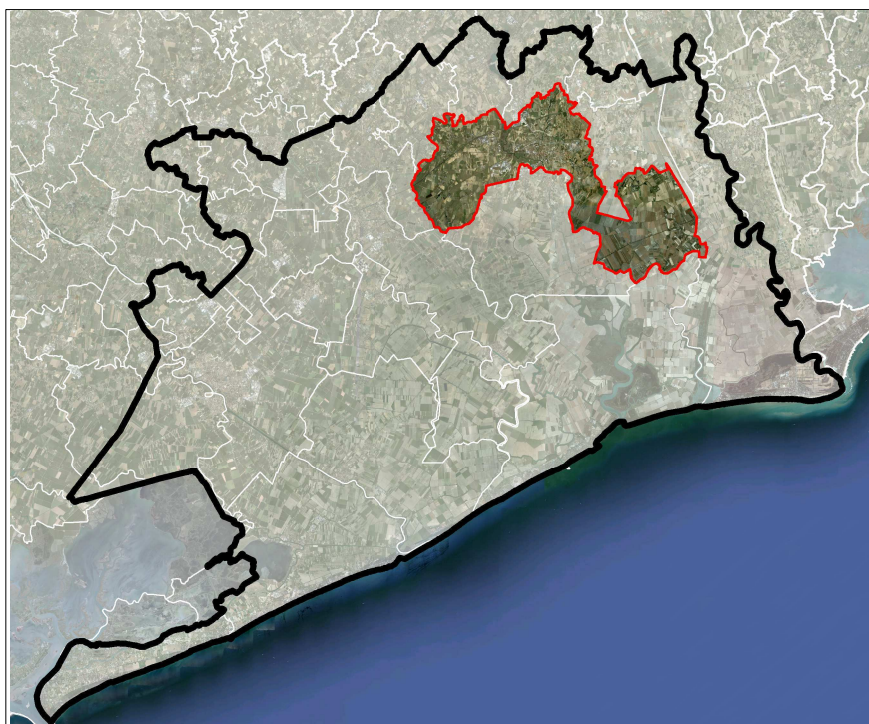
Comune di Portogruaro



PIANO REGOLATORE DELLE ACQUE

13

**APPROFONDIMENTI TECNICI: RELAZIONE IDRAULICA
E STIMA ECONOMICA DEGLI INTERVENTI**



Redattori

Dott. Ing. Sergio Grego

Dott. Ing. Giulio Pianon

Dott. Agr. Graziano Paulon

Collaboratori

Dott. Ing. Ornella Oliva

Dott. Ing. Erika Grigoletto

Dott. for. Marco Cavallaro

Ottobre 2014

1	PREMESSA	3
2	AMBITI OGGETTO DI APPROFONDIMENTO	4
3	APPROFONDIMENTO 1: SOTTOBACINO URBANO BUSATTE	5
3.1	Motivo dell'analisi	5
3.2	Stato di Fatto	5
3.2.1	Introduzione	5
3.2.2	Verifica Idraulica	8
3.3	Proposta tecnica	10
3.3.1	Criteri progettuali	10
3.3.2	Elenco e stima sommaria dei costi	17
4	APPROFONDIMENTO 2: PALU' NUOVO	19
4.1	Motivo dell'analisi	19
4.2	Stato di fatto	19
4.3	Proposta tecnica	22
4.3.1	Criteri progettuali	22
4.3.2	Elenco e stima sommaria dei costi	23
5	APPROFONDIMENTO 3: AMBITO URBANO AFFERENTE CANALE VOLPARE	24
5.1	Motivo dell'analisi	24
5.2	Stato di fatto	24
5.3	Proposta tecnica	26
5.3.1	Criteri progettuali	26

5.3.2	Elenco e stima sommaria dei costi.....	27
6	APPROFONDIMENTO 4: AMBITO URBANO E PERI-URBANO AFFERENTE SUMMAGA ESTERNO	29
6.1	Motivo dell'analisi	29
6.2	Stato di fatto	29
6.3	Proposta tecnica	32
6.3.1	Criteri progettuali.....	32
6.3.2	Elenco e stima sommaria dei costi.....	33
7	APPENDICE: MODELLO DI CALCOLO	34
7.1	DEFLUSSI.....	35
7.2	INFILTRAZIONE	36
7.3	EQUAZIONI ALLA BASE DELLA MODELLAZIONE.....	37
7.4	SOLUZIONE NUMERICA	40
7.5	STABILITÀ NUMERICA DEL METODO DI EULERO	41

1 PREMESSA

Con determina del Responsabile di Settore n. 830 del 23/09/2013 il Comune di Portogruaro ha preso atto della conclusione della prima fase della redazione del Piano delle Acque, che individuava criticità a scala comunale ed a scala di bacino, definendo il quadro progettuale in essere relativamente alla rete principale e secondaria.

La presente relazione illustra l'approfondimento tecnico previsto per la fase 2 del Piano delle Acque e comprende una trattazione monografica delle principali problematiche così individuate; l'analisi è stata supportata da una campagna di rilievo topografico esteso sia ai collettori consortili, sia ai fossati privati, sia alla rete di fognatura comunale, comprendendo una schedatura dei manufatti di regolazione e scarico. La trattazione comprende –per ognuno degli ambiti che Consorzio di Bonifica e Comune di Portogruaro hanno ritenuto di approfondire – una schematica analisi delle problematiche, una restituzione dettagliata dello stato di fatto così come ricostruito a seguito dei rilievi integrativi, e l'individuazione di proposte tecniche, con stima parametrica dei costi di intervento.

Per i casi caratterizzati da maggior complessità di analisi, l'attività è supportata da una modellazione idraulica a moto vario, che simula la risposta idraulica delle reti ad un evento meteorico di elevata intensità.

L'analisi, strutturata in quattro distinti "focus", è basata sulle elaborazioni contenute nella prima fase operativa relativamente ad assetto altimetrico, uso del suolo, pericolosità. L'analisi più dettagliata riferita a questi ambiti di studio ha portato all'aggiornamento della tavola di progetto (tav. 12) che mostrava nella prima fase del Piano il quadro progettuale già in essere, riservandosi di integrarlo a seguito degli approfondimenti di seguito esposti. Con questa premessa, dunque, restano validi tutti gli elaborati di inquadramento e di analisi territoriale contenuti nella prima fase del Piano, cui si rimanda per l'inquadramento idraulico e morfologico dei territori comunali.

Le soluzioni tecniche qui individuate vanno interpretate come pre-dimensionamenti, tradotti in ipotesi realizzative di carattere tipologico, da sottoporre a successive progettazioni di dettaglio anche integrandole, nel caso ad esempio di invasi a cielo aperto e risezionamenti, con gli obiettivi di valorizzazione ambientale che il P.A.T. si è proposto.

2 AMBITI OGGETTO DI APPROFONDIMENTO

Gli ambiti oggetto di approfondimento sono quelli per i quali il Comune di Portogruaro, in collaborazione con il Consorzio di Bonifica, ha ritenuto necessario aumentare il livello di conoscenza per supportare ed avviare la futura programmazione di interventi sulle reti minori. Gli ambiti di studio, senza pretesa di esaustività rispetto alle situazioni che meriterebbero una trattazione analitica, sono i seguenti:

- Capoluogo: bacino urbano afferente al nodo idraulico Busatte (Tav. 14A-B);
- Capoluogo: bacino urbano afferente all'impianto Palù Nuovo (Tav. 15A-B)
- Capoluogo: bacino urbano e peri-urbano afferente al canale Volpare (Tav. 16A-B)
- Summaga: bacino peri-urbano afferente canale Summaga Esterno (Tav. 17A-B)

Altre situazioni, pur oggetto di ripetuti allagamenti e criticità rilevanti come da Tav. 10, non sono state sottoposte ad approfondimento tecnico in questa sede poiché la criticità che le caratterizza è già stata analizzata dal punto di vista tecnico e ne è stata delineata la soluzione progettuale: si tratta, nello specifico, delle frazioni di Pradipozzo e Giussago, per le quali è stata sviluppata una progettazione finalizzata nel primo caso alla realizzazione di un canale scolmatore al Lison esterno, nel secondo caso e per un potenziamento della rete urbana e di bonifica.

Mentre per il terzo ed il quarto punto l'analisi è stata basata su accertamenti relativamente allo stato dei luoghi e dei collegamenti idraulici, verificando anche a mezzo di rilievo topografico ed ispezione di manufatti gli schemi di deflusso in essere, nei rimanenti due casi l'analisi ha richiesto il supporto di una modellazione idraulica schematica: per le aree urbane afferenti ai sistemi idraulici Busatte e Palù Nuovo, infatti, è stata analizzata per diversi tempi di ritorno la risposta idraulica della rete urbana, in relazione al sistema di bonifica ricevente, anche tenendo conto dei limiti di quest'ultima e guardando alla tematica con scala intercomunale, basando la ricerca delle soluzioni su obiettivi di sicurezza estesi anche ai territori di valle.

In particolare per questi modelli, data la sensibilità degli ambiti territoriali di Portogruaro ubicati a margine delle aree a scolo naturale, considerata la velocità con cui tipicamente le reti urbane mostrano difficoltà di deflusso, noto lo sfasamento temporale esistente tra i tempi di risposta delle reti urbane e quelle di bonifica, si è ritenuto che fosse prioritario procedere con analisi a moto vario, studiando l'evolversi dell'evento di pioggia nel tempo.

Per lo stesso spirito con cui viene redatto il Piano, il presente livello di analisi rappresenta la base per futuri ulteriori approfondimenti o integrazioni.

3 APPROFONDIMENTO 1: SOTTOBACINO URBANO BUSATTE

3.1 Motivo dell'analisi

L'approfondimento delle problematiche idrauliche dell'area urbana del capoluogo individuata nella planimetria 14A si è reso necessario a fronte dei ripetuti allagamenti di sedi stradali, scoperti di abitazioni e vani semi-interrati. L'analisi mira a schematizzare e modellare il rapporto oggi esistente tra rete di prima raccolta (fognatura meteo o mista), la rete di bonifica ed il sistema di sollevamento idrovoro Busatte, individuando le principali insufficienze strutturali in rapporto all'intenso livello di urbanizzazione che caratterizza l'area.

3.2 Stato di Fatto

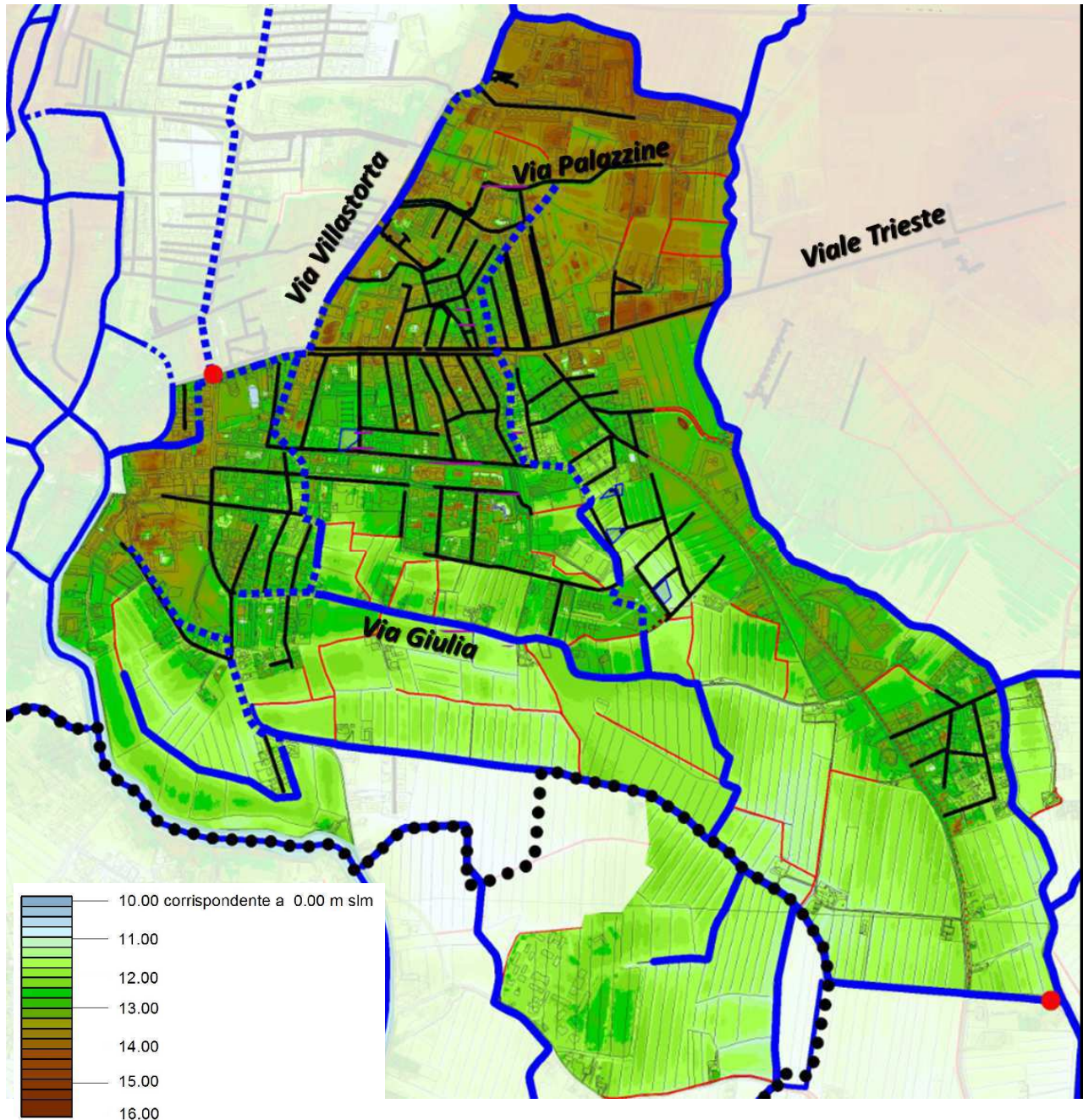
3.2.1 Introduzione

La porzione residenziale del capoluogo delimitata sul lato est dal canale S. Giacomo e dalla SP 70 per Fossalta di Portogruaro, e sul lato ovest dal fiume Lemene e Via Villastorta, attraversata in direzione ovest – est dalla SS14 Viale Trieste, afferisce dal punto di vista idraulico al nodo idraulico denominato Busatte.

L'ambito, di estensione 280ha circa, si pone dal punto di vista altimetrico al confine tra le aree caratterizzate a scolo naturale e quelle sottoposte a scolo meccanico. Originariamente afferente al canale S.Giacomo per scolo naturale, infatti, l'area è stata storicamente soggetta ad allagamenti e per questo motivo nel 1987 dotata di impianto idrovoro denominato "Busatte", pensato soprattutto per favorire il drenaggio dell'area nelle fasi in cui il livello del canale S. Giacomo si mostra sostenuto per effetti di marea e per piena generata in ambiti esterni al bacino in oggetto, anche extra-comunali. Si parla pertanto, in questo caso, di bacino caratterizzato da scolo alternato. In particolare l'impianto idrovoro, di portata massima 2'400 l/s, entra in funzione per livelli del ricettore superiori a quota +0.60 m slm (10.60 su riferimento consortile), contestualmente alla chiusura di paratoia di collegamento diretto con il ricettore. Da questo punto in poi il bacino si comporta come un'area a scolo meccanico.

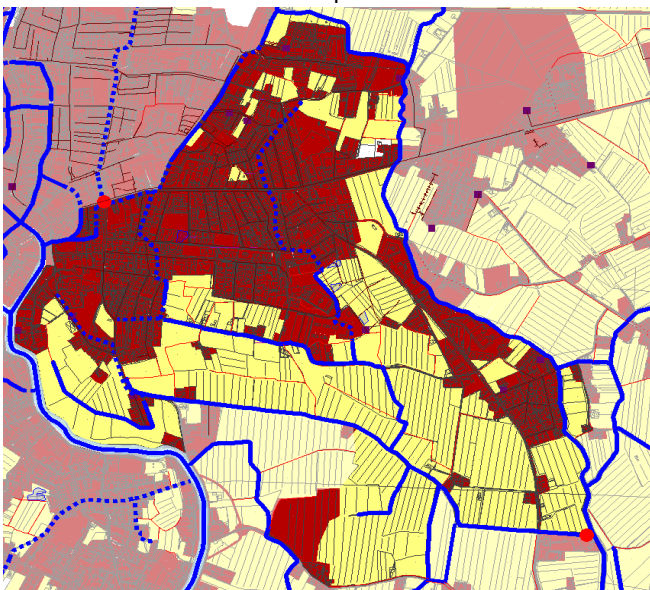
La forte vocazione urbana dell'area ha portato nei decenni precedenti ad un'estesa opera di tombinamento dei principali collettori di bonifica quali il canale dei Sigari ed il Russolo (tav. 14 A). Nel tempo tali tombinamenti, di diametro variabile tra 600 e 1200mm, sono divenuti l'asse portante del sistema fognario misto e meteorico dell'intero bacino: se a sud di Viale Trieste le reti fognarie sono principalmente di tipo separato, a nord sono prevalenti le linee di tipo misto. In ogni caso, poiché il presente studio analizza il tema delle portate di pioggia e delle relative modalità di deflusso in fase di

piena, risulta poco influente l'analisi del livello di separazione dei reflui, mentre diventa prioritaria la verifica dei dimensionamenti delle condotte, siano esse meteoriche o miste. Lo scopo è quello di verificare se il sistema di prima raccolta oggi esistente risponda ai requisiti minimi di invaso minimo necessario per eventi di carattere temporalesco.



Bacino afferente nodo idraulico Busatte, Modello Digitale del Terreno (Zero di riferimento fissato a quota -10.00 m s.l.m.),
Elaborazione ricavata da dati del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, griglia 1x1m

L'elaborazione condotta nella prima fase del Piano e riassunta nell'Elab.5 relativamente all'uso del suolo rappresenta, insieme all'altimetria ed all'analisi storica degli allagamenti, un elemento di base per la verifica idraulica: nel bacino in esame il tasso di impermeabilizzazione è stimato sulla base della banca dati regionale nel 45%, con un evidente maggior urbanizzazione delle porzioni centrali e settentrionali, mentre restano di fatto verdi o agricole le aree a sud di Via Giulia.



Estratto uso del suolo, bacino afferente imbinato Busatte

La registrazione storica di segnalazioni di privati cittadini e degli stessi Uffici Comunali ha dato modo di evidenziare ambiti urbani e peri-urbani caratterizzati da allagamenti più o meno frequenti: tale attività ha fatto emergere situazioni di allagamento della sede stradale, di scoperti privati e di vani interrati, soprattutto nei casi in cui rampe, bocche di lupo e collegamenti impropri non ne garantiscono l'isolamento.

Tra le aree più colpite l'Elab. 14A mostra Via Sardegna, Via Liguria e Via Da Vinci in area urbana, ma anche ambiti agricoli a sud di via Giulia in corrispondenza di un localizzato abbassamento del piano campagna.



Mappatura principali allagamenti bacino Busatte

L'attività di analisi della criticità prevista dal presente Piano è partita necessariamente da una campagna di rilievo topografico, finalizzata a definire le principali direttrici urbane deputate al deflusso delle portate di pioggia. Se dal punto di vista planimetrico poteva dirsi già nota la struttura principale della rete, infatti, si rendeva necessario definirne nel dettaglio l'assetto altimetrico, anche rapportando le quote di posa delle condotte ed i piani stradali delle diverse zone al

sistema di bonifica ricevente: solo un'analisi integrata fognatura - bonifica poteva dare uno schema delle modalità di risposta della rete ad un evento critico.

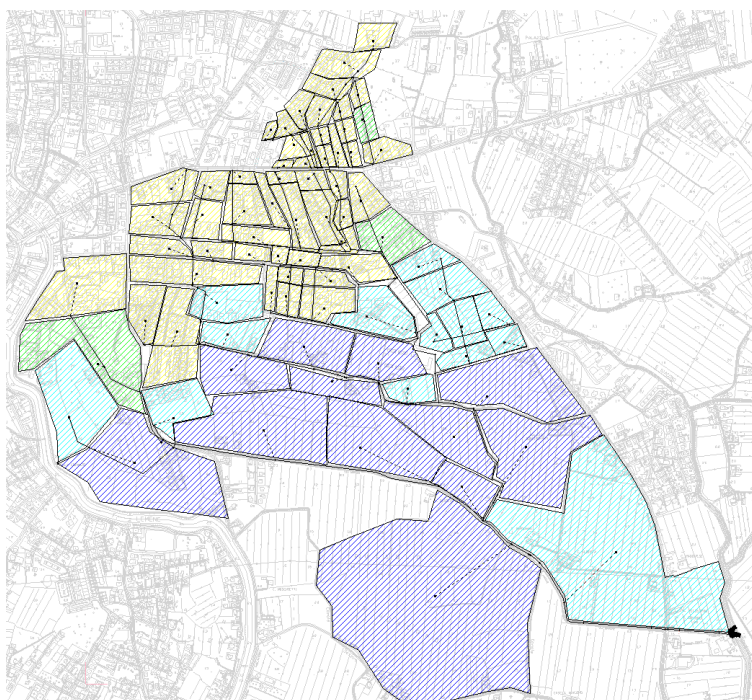
La campagna di rilievo topografico ha incluso l'acquisizione di sezioni trasversali dei collettori, la redazione di monografie su pozzetti di fognatura e l'ispezione dei principali tombinamenti di collettori consortili, anche con il supporto di mezzi comunali. Il quadro riportato nell'Elab. 14A, complessivo di diametri e quote dei nodi principali, rappresenta la base su cui è stato implementato un modello di analisi idraulico a moto vario (Appendice).

3.2.2 Verifica Idraulica

La verifica idraulica della rete mira a definire la modalità di risposta del sistema complessivo fognatura – bonifica nei confronti di eventi meteorici caratterizzati da differenti tempi di ritorno.

Richiamando quanto sopra citato in merito al carattere “alternato” del bacino Busatte, si intende che la verifica idraulica potrebbe essere condotta per livelli variabili di tirante idraulico nel ricettore S. Giacomo. Cautelativamente, tuttavia, è stato in quest'analisi immaginato un evento di pioggia tale da determinare un quota nel ricettore superiore a 10.60 e pertanto il sistema è stato considerato come prettamente meccanico. Tale scelta, oltre che per finalità cautelative, si giustifica anche considerando la frequenza con cui tale circostanza si verifica, in ragione del progressivo aumento dei deflussi anche extra-comunali verso il collettore S. Giacomo.

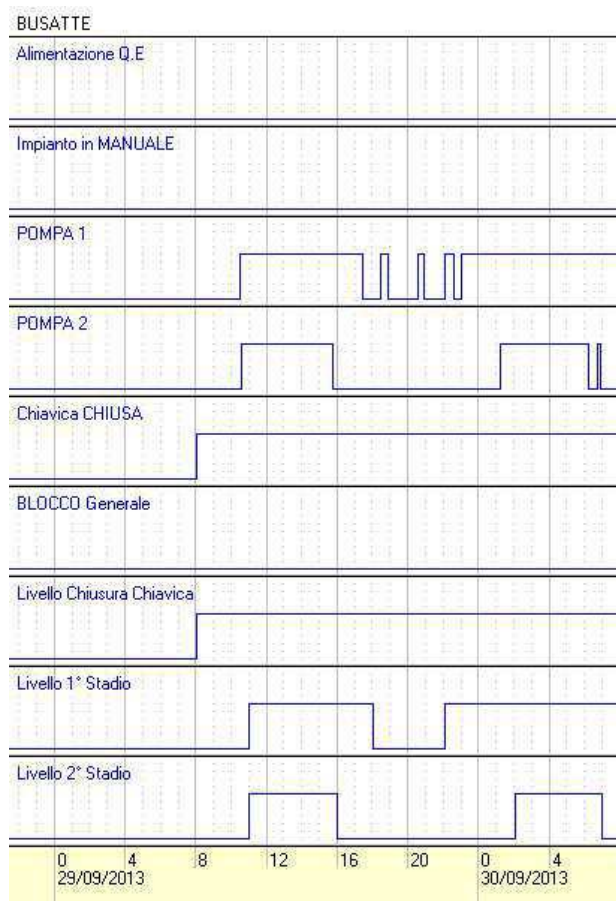
Il modello implementato include la rete principale ed i principali collettori di fognatura, con assegnazione di un coefficiente di deflusso medio ad ogni sottobacino, in ragione del livello di impermeabilizzazione che lo caratterizza.



Estratto modello Busatte: sottobacini

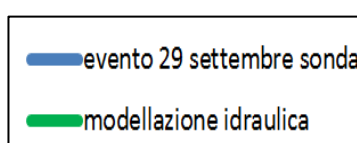
L'unico nodo di uscita di portata dal bacino è pertanto rappresentato dall'impianto idrovoro Busatte, costituito da due pompe di portata 1'200 l/s con quote attacco 10.60 -10.65m.

Si tratta chiaramente di uno schema semplificato, che non potrà dar conto di fenomeni localizzati e singolarità, ma che può dare una misura della risposta globale del sistema consentendo di verificare parametri tecnici quali portata, velocità e livelli nel tempo. Per aumentare l'affidabilità del modello di studio, tuttavia, è sempre necessario procedere ad



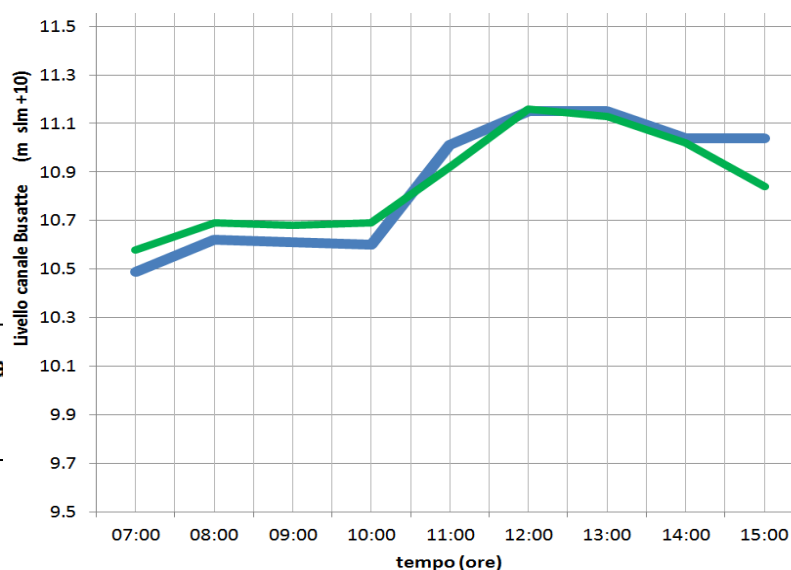
Registrazione dati funzionamento impianto 29/09/2013

Il processo di taratura consiste nel confrontare la risposta del modello simulato matematicamente con la risposta reale, registrata dalla sonda di livello installata presso l'impianto idrovoro.

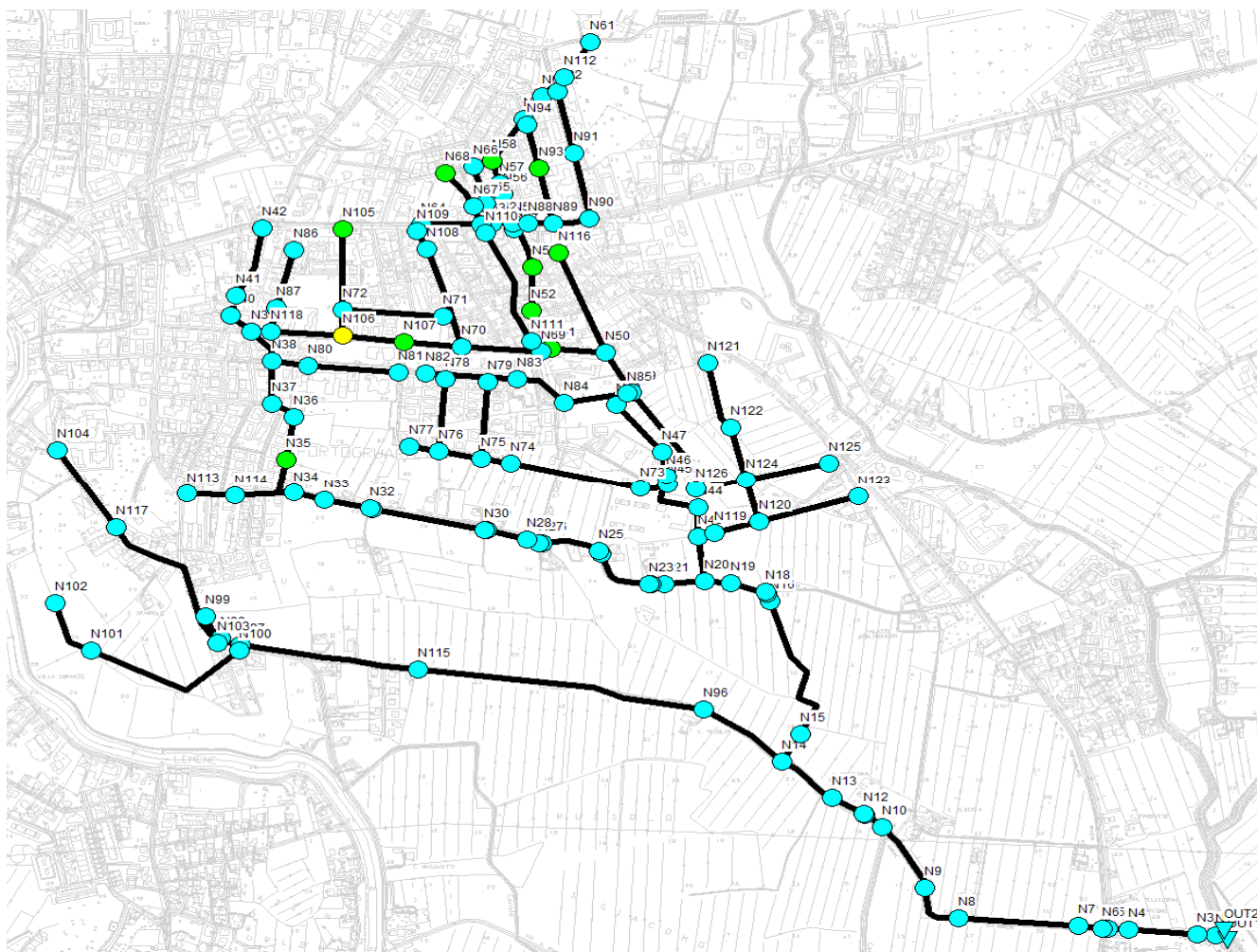


Risultato taratura modello idraulico

un'opera di taratura: per questo motivo sono stati utilizzati i dati di pioggia ed i livelli idrometrici registrati dal sistema di telecontrollo consortile nel corso dell'evento temporalesco del 29/09/2013, il quale ha mostrato i limiti del sistema idraulico in esame. Nonostante nel vicino comune di Fossalta di Portogruaro siano stati registrati 104mm in 2 ore come (ARPAV), a Portogruaro la precipitazione è stata nettamente meno intensa. Per questo motivo la taratura è stata condotta utilizzando dati del pluviometro installato presso la sede consortile, che mostrano valori di 41mm caduti al suolo tra le 9.00 e le 11.00 del mattino. In tale occasione sono stati registrati allagamenti della porzione urbana a nord di Viale Trieste, con rigurgiti dalla rete fognaria. L'intensa precipitazione registrata a Fossalta, del resto, ha determinato un rapido innalzamento dei livelli del ricettore S. Giacomo, con immediata chiusura automatica della paratoia di collegamento ed attivazione del sollevamento Busatte a servizio del quartiere portogruarese.



L'analisi ha mostrato la crisi del sistema idraulico attuale per eventi caratterizzati da tempi di ritorno di 5 anni, corrispondenti dal punto di vista statistico a precipitazioni di 53mm in 2 ore.



Schema stato di fatto Flooding dai nodi per $Tr = 5$ anni

3.3 Proposta tecnica

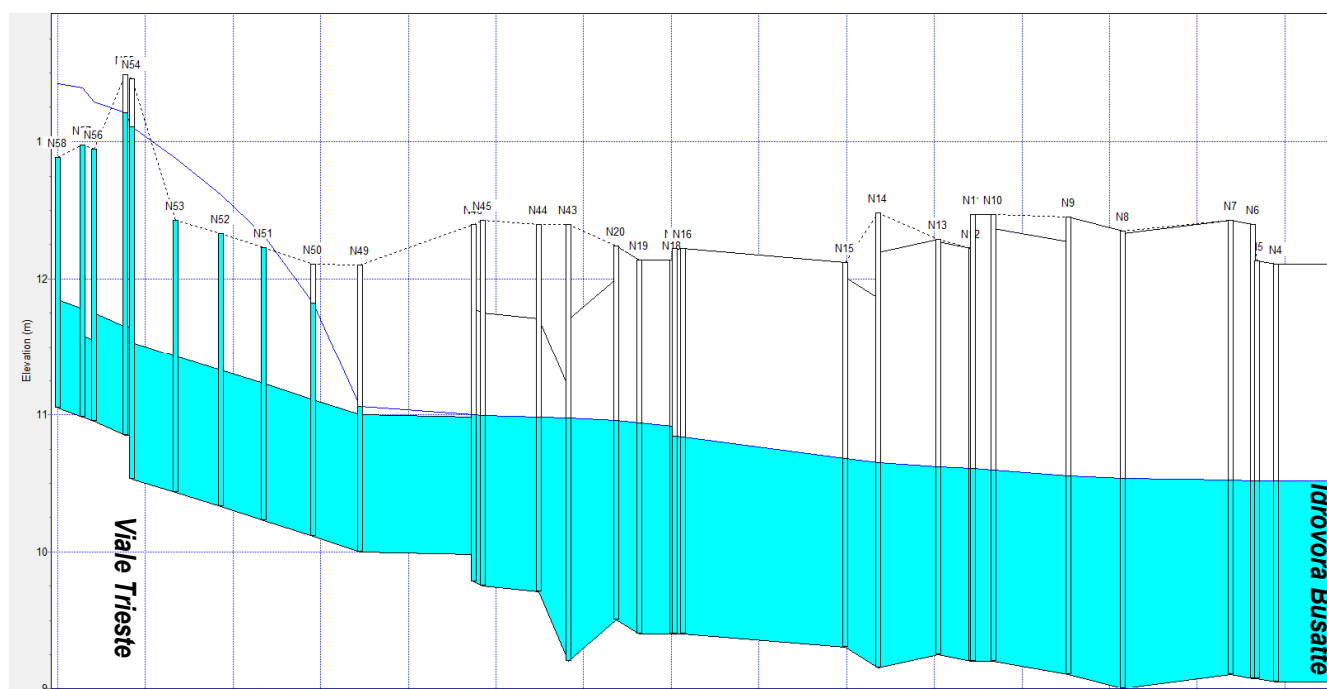
3.3.1 Criteri progettuali

La frequenza con cui il ricettore S. Giacomo ha mostrato innalzamenti del livello idrometrico tali da determinare anche tracimazioni nei tratti debolmente arginati, rende quanto mai attuale la raccomandazione contenuta nelle direttive regionali di settore e nel medesimo *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale*, la quale esorta a guardare alle criticità non solo a livello locale ma piuttosto a scala di bacino. Lo stesso spirito con cui il Piano delle Acque nasce, pertanto, non mira al potenziamento dei sistemi di smaltimento locale ed al rapido allontanamento dei deflussi verso

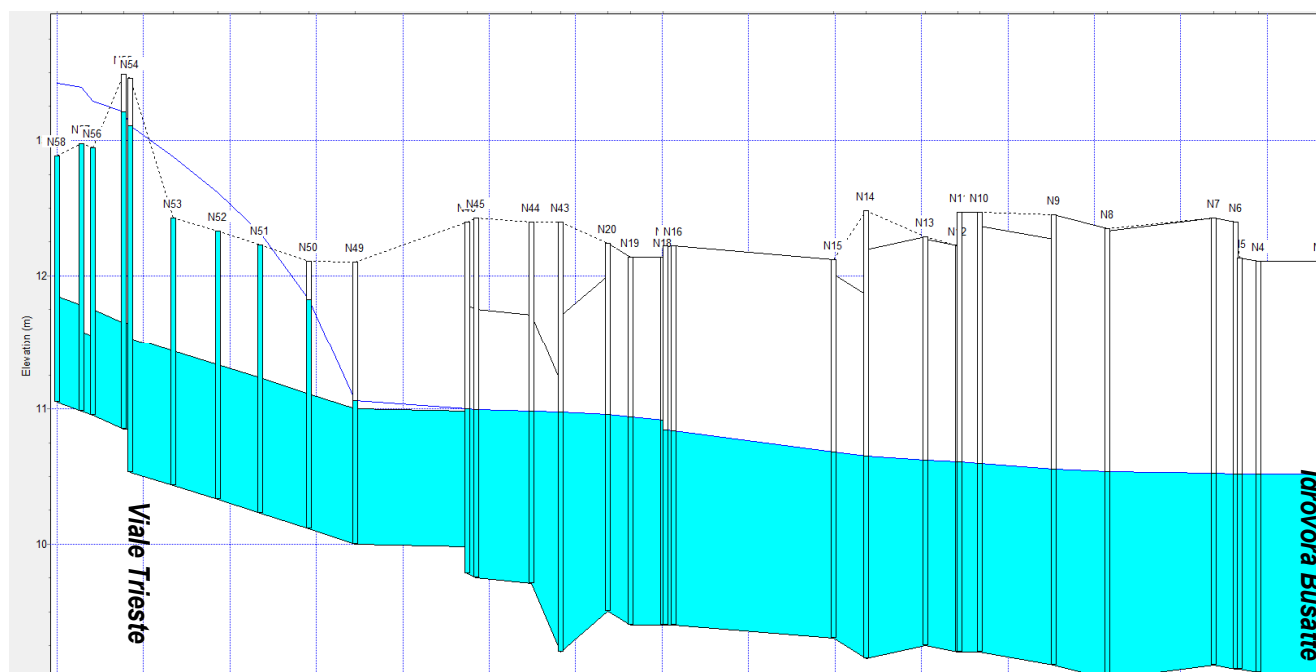
valle, quanto piuttosto al loro contenimento entro valori sostenibili per la rete.

In questo caso tale indicazione si fa più che mai attuale, se rapportata alla criticità mostrata in più eventi dal ricettore S. Giacomo. Per questo motivo la proposta tecnica di Piano non è indirizzata al potenziamento idrovoro, quanto piuttosto al contenimento degli eccessi di portata a mezzo di potenziamenti distribuiti. Del resto il coefficiente udometrico medio del bacino è già attualmente pari a $8,4 \text{ l/(s*ha)}$, valore ben superiore al resto dei bacini di bonifica e giustificato solo dal carattere fortemente urbano dell'area. Eventuali ulteriori necessità di potenziamento, come evidenziato al paragrafo successivo e nell'elab. 14B, potranno essere gestite con possibilità di derivazione verso il limitrofo bacino idraulico Selvamaggiore, previa adeguamento delle opere. In ogni caso, come attestano i profili idraulici relativi al momento di piena, non è questa l'esigenza principale della rete idraulica del bacino oggi.

Si riportano a tal proposito due profili idraulici per l'asse *tombinamento Sigari – canale Sigari a cielo aperto – canale Russolo – canale Busatte - impianto idrovoro*. A solo scopo di studio è stato immaginato il potenziamento dell'idrovoro dai 2'400 l/s attuali a 6'000 l/s: confrontando i due profili riportati di seguito è evidente che la criticità della porzione urbana del bacino è quasi indipendente dalla capacità di pompaggio di valle: il limite al deflusso è infatti rappresentato in questo caso dai collettori urbani.



Profilo idraulico Sigari tombinato – Sigari cielo aperto – Russolo-Busatte, Stato di fatto, $T_r=10$ anni (62mm in 2 ore)



Profilo idraulico Sigari tombinato – Sigari cielo aperto – Russolo-Busatte, Ipotesi potenziamento idrovora Busatte da 2'400 a 6'000 l/s, $T_r=10$ anni

Del resto già la mappatura degli allagamenti ed il relativo confronto con l'analisi altimetrica di dettaglio (Tav. 14 A) avevano portato in evidenza i limiti della rete di prima raccolta, mostrando che le aree più colpite da fenomeni di allagamento urbano erano spesso rappresentate dalle zone altimetricamente più favorite del bacino e che quindi la criticità era da attribuirsi ad insufficienze locali.

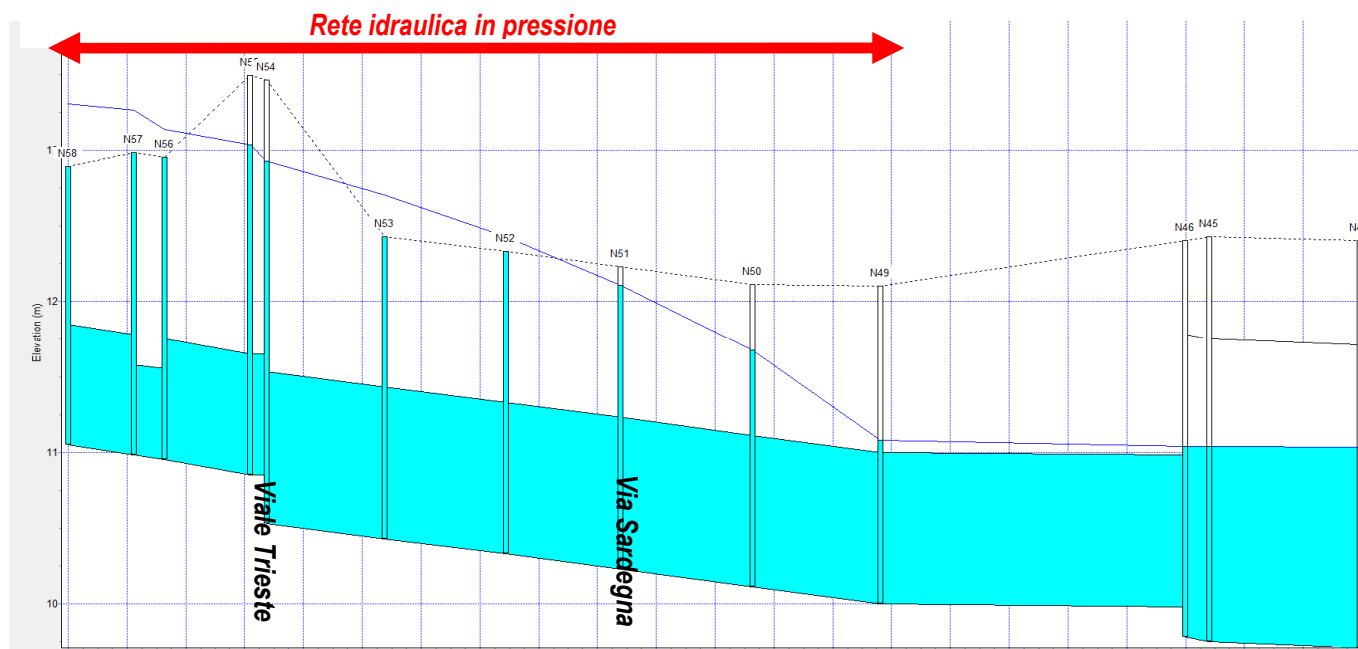
Sulla base di queste considerazioni, il quadro progettuale di Piano è stato delineato coinvolgendo sia la rete principale di bonifica, sia i tombinamenti di collettori consortili, sia le principali dorsali della rete fognaria, con l'obiettivo di conferire al sistema non solo maggiori capacità di portata ma anche significativi volumi di invaso.

È bene ricordare che nei casi in cui la dorsale di drenaggio di un intero ambito urbano risulti sotto-dimensionata in termini di portata transitabile, è corretto prevederne la sostituzione con una condotta di dimensioni maggiori, ma si deve tenere a mente che ciò determina un aumento dei deflussi verso valle e pertanto l'operazione va valutata attentamente, prevedendo anche sovra-dimensionamenti destinati ad offrire invaso profondo al sistema o compensando il maggior afflusso con una ri-sagomatura nei tratti a cielo aperto.

È questo il caso dell'asse di drenaggio urbano Sigari: ad oggi il tombinamento rappresenta una limitazione di portata, che determina un profilo fortemente rigurgitato, come evidente dall'estratto grafico sotto riportato. In generale, in tutti i casi in cui la portata in ingresso ad una tratta supera quella transitabile si ha un innalzamento locale del livello idraulico, funzionale a generare localmente il gradiente necessario al deflusso. Questo fenomeno, nei casi in cui si estenda ad un intera tratta, determina un profilo codificato nella letteratura idraulica come *M2 (Mild rigurgitato)*, in cui la componente cinematica dell'energia viene progressivamente trasformata in piezometrica, determinando quello che comunemente

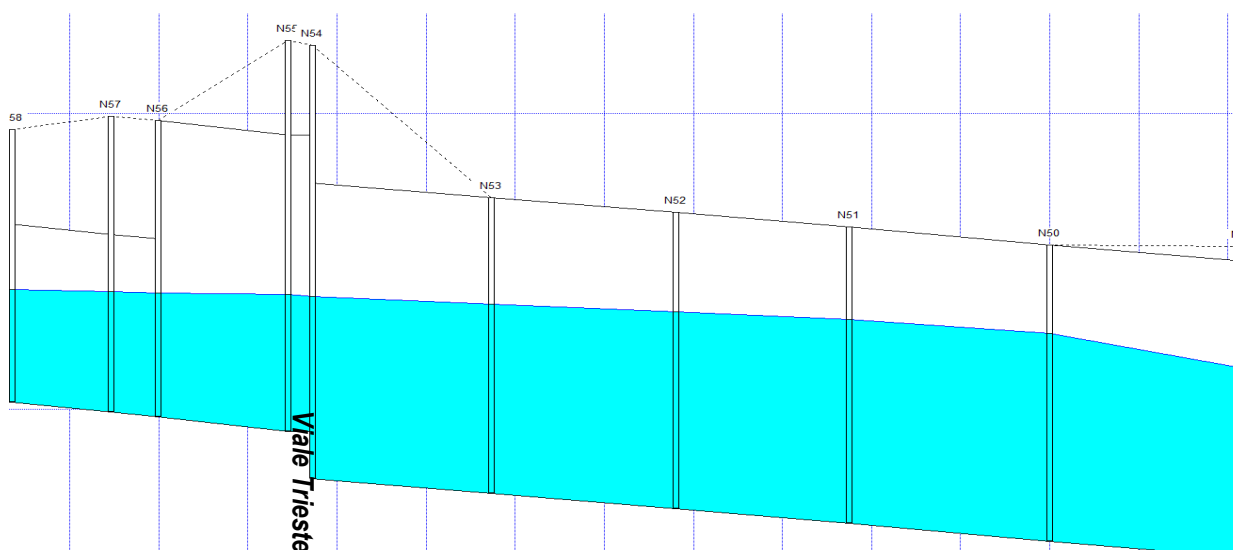
viene definito “funzionamento in pressione”, tipico delle reti urbane in occasione di scrosci.

Tale fenomeno non solo inibisce le immissioni di portata dalle aste fognarie delle laterali, ma fissa anche nelle condotte un livello idrometrico uniforme, seguendo localmente le regole dell'idrostatica, anziché quelle della cinematica: questo si traduce nei casi peggiori con fuoriuscita di portata nei punti in cui il piano stradale è altimetricamente più sfavorito.



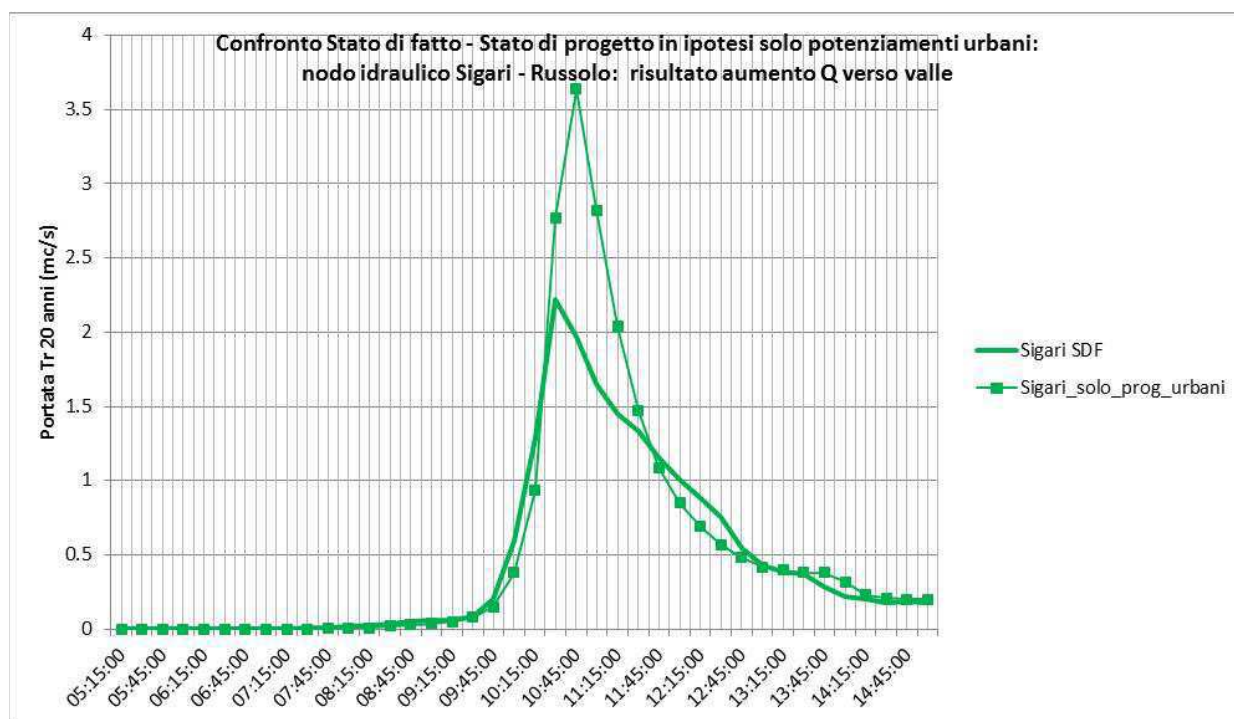
Profilo canale Sigari per evento meteo $Tr=20$ anni (69mm in 2 ore), stato di fatto

Detto ciò, è naturale che la progettazione sia stata orientata verso un potenziamento dell'asta Sigari tombinato. Richiamando però i limiti del sistema idraulico complessivo e le considerazioni iniziali sulla criticità del ricevitore finale S.Giacomo, è opportuno verificare se l'aumento di capacità di portata sia sostenibile per la rete di valle.



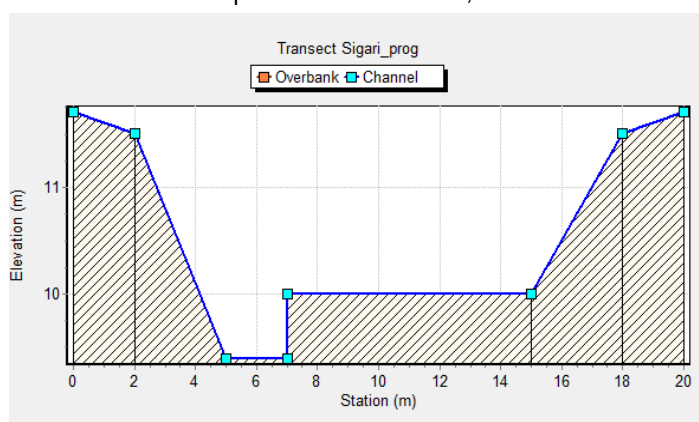
Profilo canale Sigari per evento meteo $Tr=20$ anni (69mm in 2 ore), ipotesi solo sostituzione tombinamento Sigari con scatolare

Il confronto tra i due profili idraulici porterebbe a classificare tale soluzione come ottimale, ma è necessario accompagnare l'analisi con la verifica delle portate in uscita dal tombinamento per le due configurazioni: l'aumento delle dimensioni della condotta genererebbe un sostanziale aumento dei deflussi e, nonostante la scelta di manufatto scatolare di dimensioni 2000*1500mm determini anche un aumento dell'invaso disponibile in linea, tuttavia si rende necessaria un'opera di mitigazione nel tratto a cielo aperto a monte del nodo idraulico di Via Giulia, pena il peggioramento delle condizioni di deflusso dell'asta idraulica del Russolo.



Confronto portate al nodo idraulico Sigari – Via Giulia in ipotesi di solo potenziamento aste urbane

Per questo motivo la tavola di progetto 14B individua esigenze di invaso nei tratti a cielo aperto, quantificando il volume necessario con un pre-dimensionamento, da valutare tenendo conto che esso può essere realizzato come aree verdi



allagabili, come risezionamento dei collettori principali o con definizione di aree golenali sui canali esistenti.

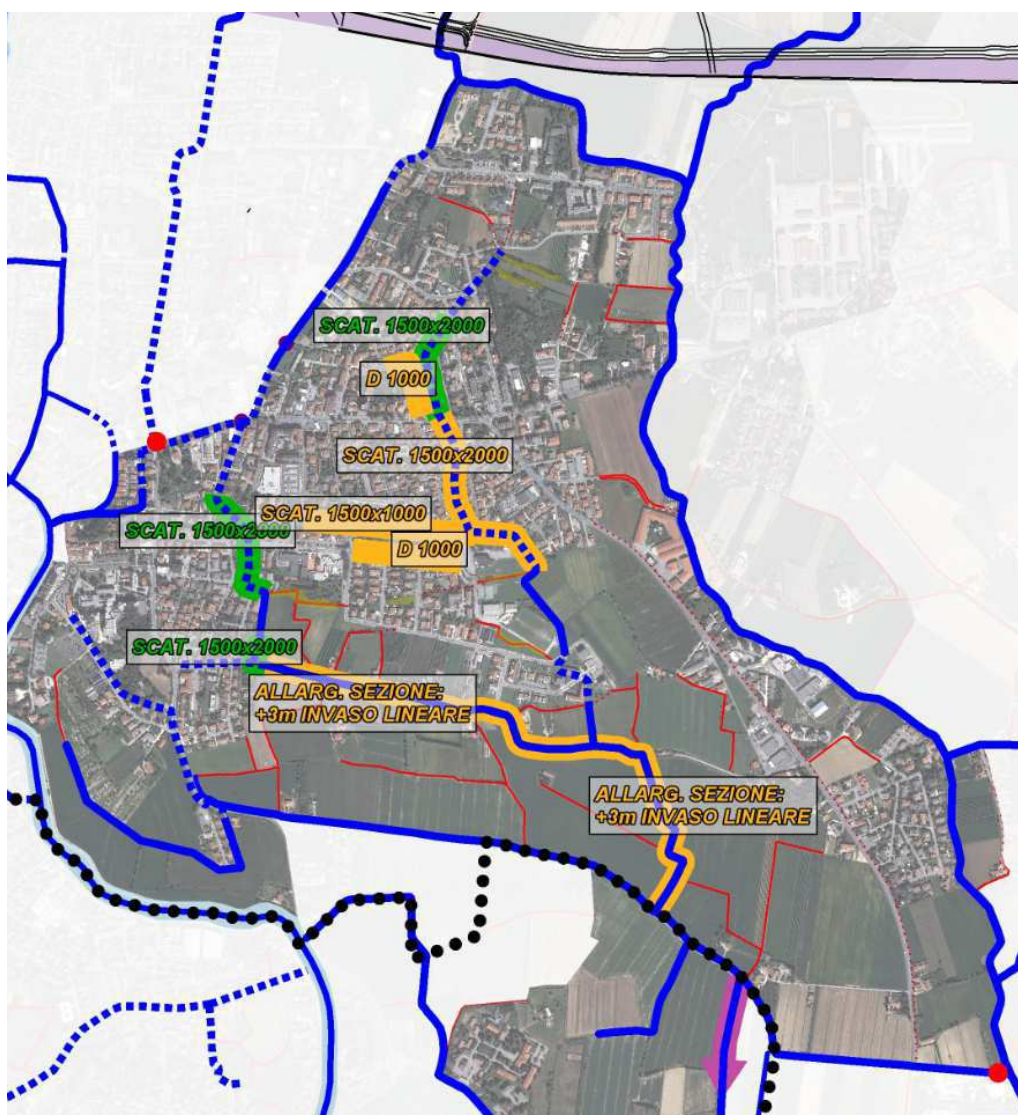
Nel modello idraulico è stato quindi ipotizzato di affiancare all'opera diffusa di potenziamento delle reti urbane un risezionamento del tratto Sigari a monte di Via Giulia con realizzazione di sezione idraulica a due stadi, costituita da un'ampia area golenale di profondità 1.2m.

Schematizzazione invaso a cielo aperto Sigari, modello idraulico Stato di Progetto

Con il supporto analitico della modellazione idraulica è stato definito un quadro progettuale pensato per step successivi, in grado di offrire quindi un crescente livello di sicurezza. Naturalmente il programma di revisione della rete idraulica del bacino deve partire da valle, pena il peggioramento delle condizioni generali del bacino.

L'opera di potenziamento degli assi di drenaggio urbani è stata schematicamente individuata sui tombinamenti Sigari e Russolo (Tav. 14B), ma in sede progettuale potrà essere traslata su sedimi alternativi. Il Piano si estende anche ad assi di drenaggio considerati secondari, quali Via Sardegna, Via Liguria e Via Da Vinci – Cellini, con l'obiettivo di rendere capillare la diffusione di invasi urbani, entrando per quanto possibile nel tessuto residenziale. La situazione fotografata dal profilo idraulico del canale Sigari, infatti, può essere estesa a quasi tutti gli assi fognari del bacino: l'andamento della linea piezometrica mostra un forte rigurgito per insufficienze locali ed è poco condizionata dalle potenzialità di smaltimento finali. Per questo motivo è prioritario, soprattutto per aree caratterizzate da forti indici di impermeabilizzazione e quindi molto sensibili a fenomeni di carattere temporalesco, estendere l'opera di potenziamento

alle linee di drenaggio minori, assorbendo eventuali insufficienze locali soprattutto a supporto degli ambiti maggiormente colpiti da allagamento.

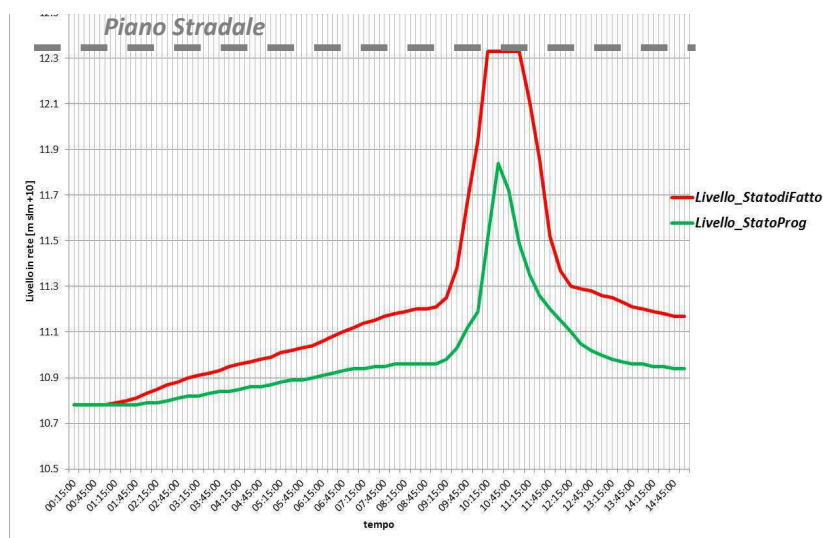


Schema proposta tecnica, Tav. 14B

L'esigenza di estendere il programma di potenziamento anche ad assi secondari rispetto al tombinamento consortile si rende evidente analizzando, ad esempio, la situazione presso l'incrocio Via Boito – Via Sardegna, area in cui il piano stradale si mostra più depresso rispetto alle aree contermini (quota rilievo 12.33 contro 12.79 da tav. 14 A) e diventa quindi il punto in cui il funzionamento in pressione della rete si traduce in allagamento.



Incrocio Via Boito – Sardegna, estratto tav. 14 A



Il potenziamento dell'asse di Via Sardegna con posa di scatolare 1500*1000 consente di mantenere il livello idrometrico in condotta inferiore alla quota del piano stradale (12.33) ed evitare che il rigurgito delle reti fognarie minori si traduca in allagamento dell'area.

Confronto livelli simulati nel pozzetto incrocio Via Boito – Via Sardegna per $Tr = 10$ anni, configurazione stato di fatto e progetto

La porzione più occidentale del bacino, in cui l'asse di drenaggio è rappresentato dal tombinamento Russolo, mostra minori criticità idrauliche, e per questo motivo il suo potenziamento è stato riservato al secondo step operativo, che mira a rispondere ad un evento meteorico caratterizzato da Tr 50 anni (77mm di pioggia in 2 ore). Valgono per questo asse le medesime considerazioni sopra riportate per il Sigari, in merito all'esigenza di sovradimensionare il tombinamento rispetto alle sole necessità di trasferimento di portata, così da coprire la carenza di invaso dell'area urbana.

Gli interventi di progetto sono presentati nell'elab. grafico Tav. 14B: all'individuazione di interventi strutturali elencati e quantificati nel paragrafo successivo, si accompagnano anche indicazioni di carattere generale che prevedono:

- la possibilità di ricavare invasi in zone versanti a mezzo di ri-sagomatura di affossature esistenti ove possibile;
- la possibilità di ricavare un invaso a servizio del collettore S. Giacomo, ricettore finale del bacino in esame, nella porzione compresa tra linea ferroviaria e variante SS14;

- la possibilità di derivazione delle portate eccedenti il bacino Busatte verso l'impianto di Selvamaggiore a seguito del potenziamento di questo, intervento previsto dal P.G.B.T.T. come da tav. 12. Tale intervento equivale dal punto di vista tecnico al potenziamento dell'idrovora Busatte, ma non carica direttamente il collettore S. Giacomo. Si tratta in ogni caso di un programma a medio termine non realizzabile se non accompagnato dal potenziamento del sistema di valle.

Nell'esaminare gli elaborati di progetto è bene ricordare che eventuali soluzioni tecniche alternative che –a parità di invaso determinato – offrano convenienza realizzativa sono chiaramente analizzabili in sede progettuale.

L'analisi fin qui riportata ha delineato le linee d'azione per conferire al bacino l'invaso minimo che è venuto meno in seguito alla progressiva trasformazione dell'area: complessivamente gli interventi prevedono la realizzazione di 4'450 mc di invaso profondo a mezzo di condotte e 4'600 mc di invaso superficiale, corrispondente ad un valore medio di 32 mc/ha.

E' intuitivo che in ogni caso, a prescindere dalle tempistiche di realizzazione delle opere qui elencate, sia prioritario garantire per le nuove urbanizzazioni il rispetto dei requisiti di invarianza previsti dalla normativa regionale, dal Documento tecnico di riferimento per il comprensorio recepito e richiamato nell'Elab. 01 e nelle stesse normative urbanistiche comunali.

3.3.2 Elenco e stima sommaria dei costi

Viene di seguito indicata una stima dei costi di carattere parametrico, da rivedere in sede progettuale a fronte di verifica sottoservizi e indagini.

BUSATTE Tr 20 anni					
INTERVENTO	L TRATTA [m]	DIMENSIONI		stima parametrica prezzo unitario [€]	STIMA PARAMETRICA COSTO (ordine di grandezza a livello pianificatorio, da determinare precisamente in sede progettuale)
<i>Asse fognario tombinamento Sigari sud</i>	600	scat.1500x2000	mm	1100	660'000
<i>Via Da Vinci - Cellini</i>	200	D1000	mm	340	68'000
<i>Via Sardegna</i>	450	scat.1500x1000	mm	830	373'500
<i>Via Liguria</i>	280	D1000	mm	340	95'200
Invaso a cielo aperto realizzabile ad esempio con risezionamento Russolo-Sigari					
<i>Scavo, smaltimento e adeguamento manufatti</i>	1200	4600	mc	35	161'000
<i>Indennità</i>	1200	3	m	10	36'000
TOT. BUSATTE Tr 20 anni					€ 1'393'700
+ oneri + I.V.A. + Spese generali + Imprevisti + Spese tecniche di progettazione					

BUSATTE Tr 50 anni: INTERVENTI AGGIUNTIVI RISPETTO A Tr 20 anni					
INTERVENTO	L TRATTA [m]	DIMENSIONI		stima parametrica prezzo unitario	STIMA PARAMETRICA COSTO (ordine di grandezza a livello pianificatorio, da determinare precisamente in sede progettuale)
<i>Asse fognario tombinamento Russolo</i>	420	scat.1500x2000	mm	1100	462'000
<i>Asse fognario tombinamento Sigari nord</i>	230	scat.1500x1000	mm	830	190'900
TOT BUSATTE Tr50 anni					€ 652'900
+ oneri + I.V.A. + Spese generali + Imprevisti + Spese tecniche di progettazione					

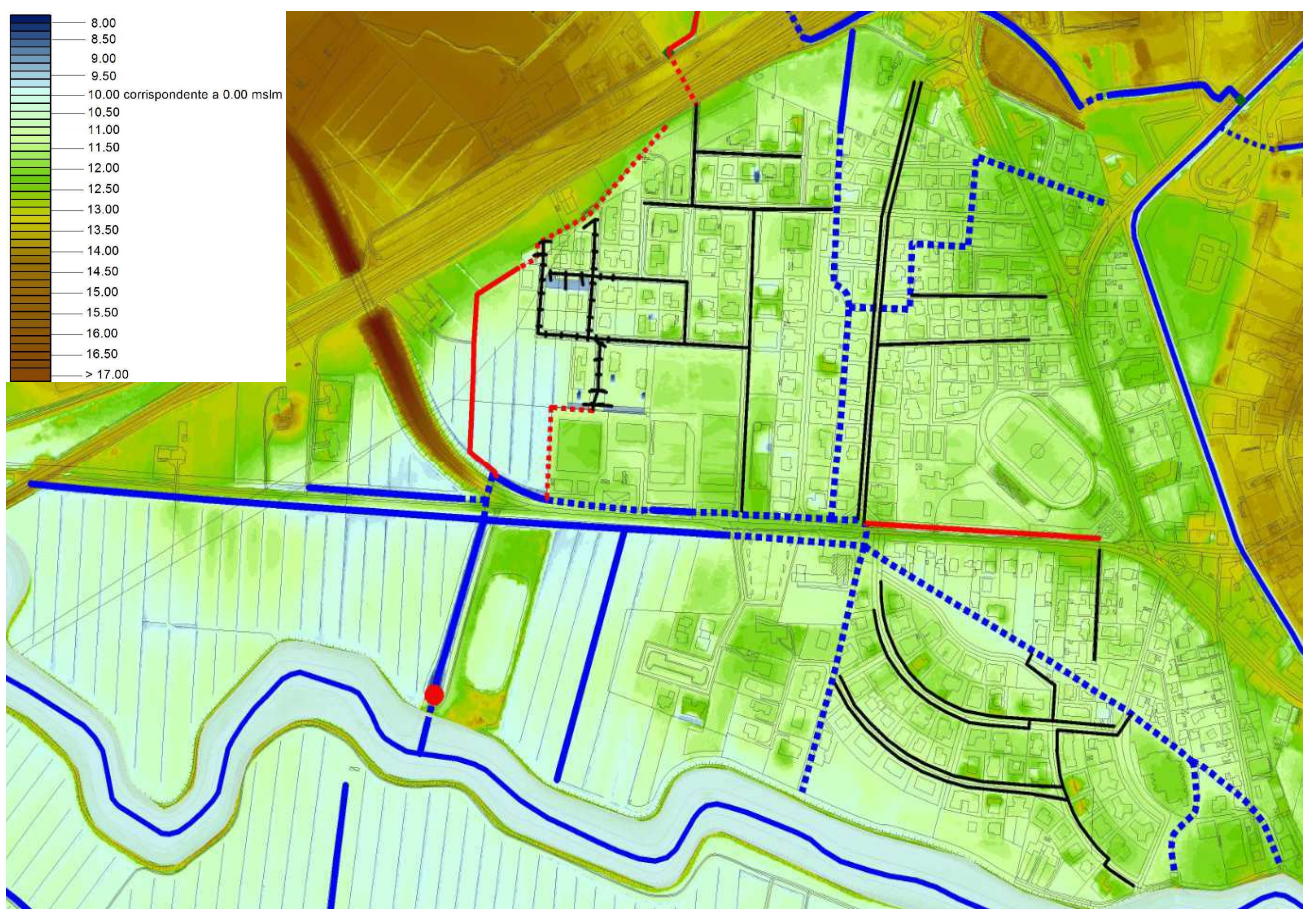
4 APPROFONDIMENTO 2: PALU' NUOVO

4.1 Motivo dell'analisi

Il bacino idraulico del Palù Nuovo, corrispondente alla porzione occidentale del capoluogo, con un'estensione di circa 113ha è compreso tra il fiume Reghena e la linea ferroviaria: esso è stato sottoposto ad approfondimento tecnico nella seconda fase del Piano soprattutto perché, essendo servito da rete fognaria di tipo separato, non è coperto da mappatura reti dell'Ente Gestore del Servizio Idrico e pertanto –anche a fronte di sporadici fenomeni di allagamento urbano – si è ritenuto necessario procedere ad una ricognizione dello stato di fatto e ad una verifica del sistema idraulico.

4.2 Stato di fatto

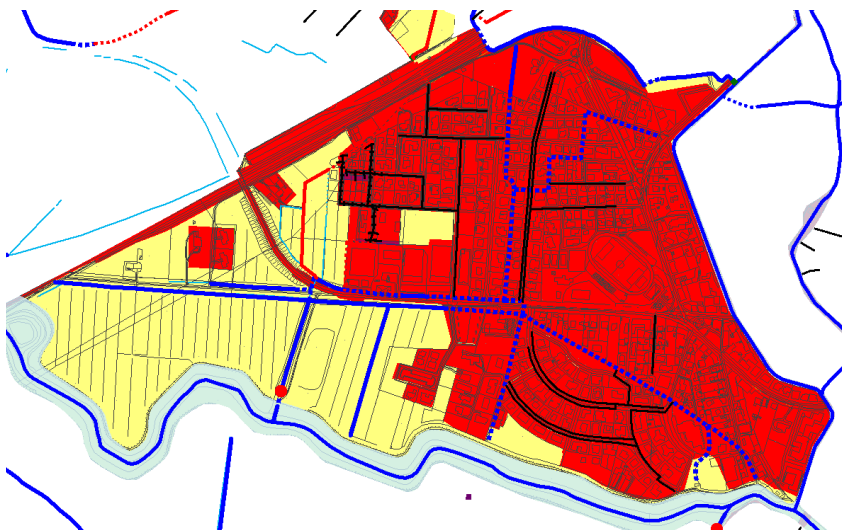
Il bacino è caratterizzato da scolo prettamente meccanico, servito dall'impianto idrovoro omonimo, di portata massima 2'400 l/s, realizzato nel 1982 in sostituzione di precedente, il quale era ubicato in prossimità di Via Piave.



Bacino afferente nodo idraulico Palù Nuovo, Modello Digitale del Terreno (Zero di riferimento fissato a quota -10.00 m slm), Elaborazione ricavata da dati del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, griglia 1x1m

Il sistema fognario meteorico viene in questo bacino convogliato verso i ricettori consortili, in gran parte tombinati all'interno del tessuto urbano, e di qui collettato verso impianto di sollevamento con scarico nel fiume Reghena.

L'analisi dell'uso del suolo condotta nella prima fase di Piano ha consentito di stimare il livello di impermeabilizzazione e di qui impostare la verifica idraulica del bacino: nello specifico l'area in esame è quasi completamente urbanizzata nella porzione orientale – dove i collettori di bonifica sono completamente tombinati.



Uso del suolo bacino Palù Nuovo (rosso aree urbane)

In ragione dell'elevato livello di impermeabilizzazione (67% stimato sulla base della banca dati regionale Uso del Suolo) il coefficiente udometrico medio –calcolato come rapporto tra portata sollevabile dall'impianto ed estensione del bacino– è molto più elevato rispetto ai tradizionali bacini di bonifica e pari a 21.2 l/(s*ha) .

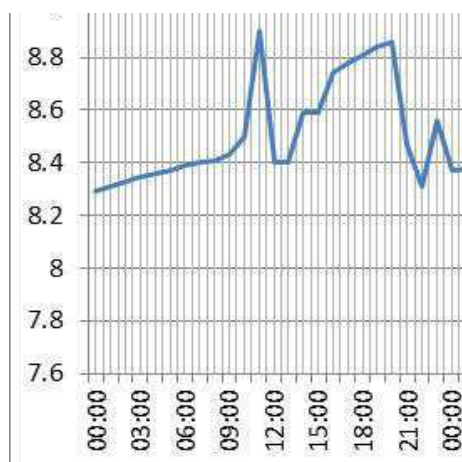
Analogamente a quanto descritto per il bacino Busatte, è stata anche in questo caso avviata una campagna di rilievo topografico, comprensiva di rilievi sulla rete fognaria, ispezioni dei principali tombinamenti urbani e rilievo delle sezioni dei collettori a cielo aperto.



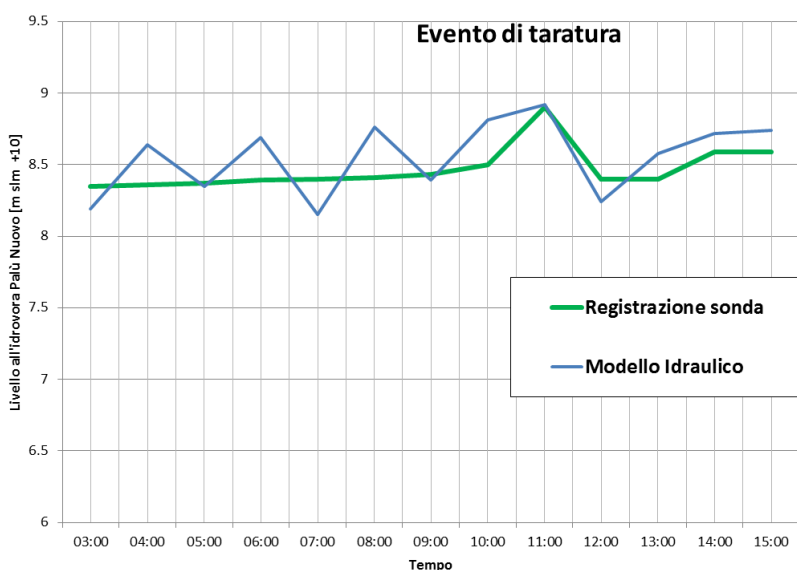
Ispezioni tombinamenti Palù, rilievi anno 2014

Anche in questo caso la verifica della rete è stata schematizzata con un modello a moto vario, ancora tarato sull'evento del 29/09/2013, per il quale sono stati registrati i livelli idrometrici nel canale di macchina.

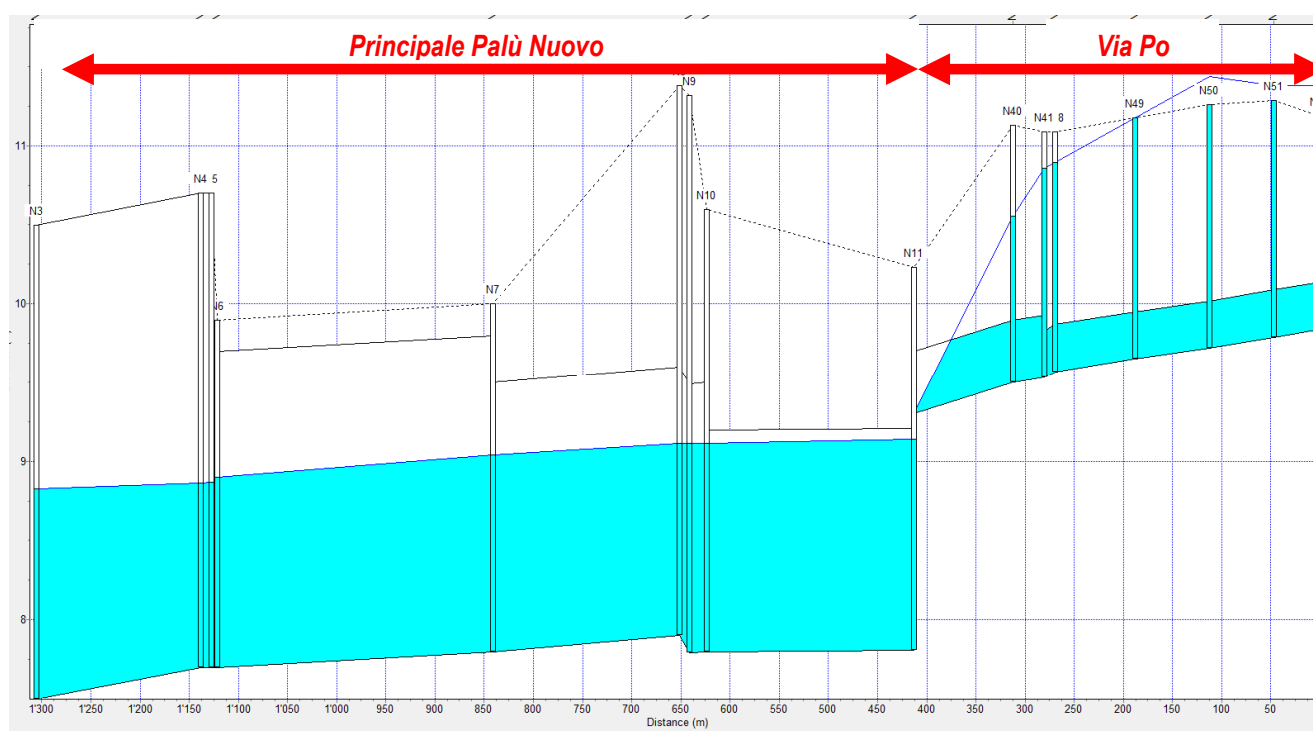
Taratura del modello idraulico rispetto evento meteo 29/09/2013, confronto livelli misurati – livelli simulati



Poiché a seguito della revisione del nodo idraulico Palù Nuovo – Volpare avvenuto nei primi anni 2000 in corrispondenza della stazione ferroviaria non sono stati registrati allagamenti in quest'ambito urbano, l'analisi in oggetto non è stata spinta ai livelli di analisi della singola asta fognaria, ma è stato invece testato il comportamento dei principali assi di drenaggio, con l'obiettivo di avere un'analisi di sufficienza a scala di bacino.



Da tale verifica schematica, eventi meteorici caratterizzati da tempo di ritorno decennale (62mm in 120 minuti) determinano la crisi non solo del sistema fognario di prima raccolta, ma anche della rete principale.



Profilo Via Po – Principale Palù Nuovo – impinato idrovoro per $T_r=20$ anni, stato di fatto

I rilievi topografici hanno dato modo di evidenziare come la rete di drenaggio urbano sia costituita principalmente da condotte di diametro D300-D350mm, poste generalmente ai lati delle sedi stradali e collegate ai tombinamenti consortili e generalmente caratterizzate da quote di scorrimento molto superficiali, tanto da generare un netto profilo di chiamata all'immissione nel tombinamento consortile. Solo la porzione di più recente urbanizzazione (via Tassoni – Via Boccaccio

e limitrofe) presenta reti meteoriche di dimensioni maggiori, collegate anche a invasi superficiali in area verde.

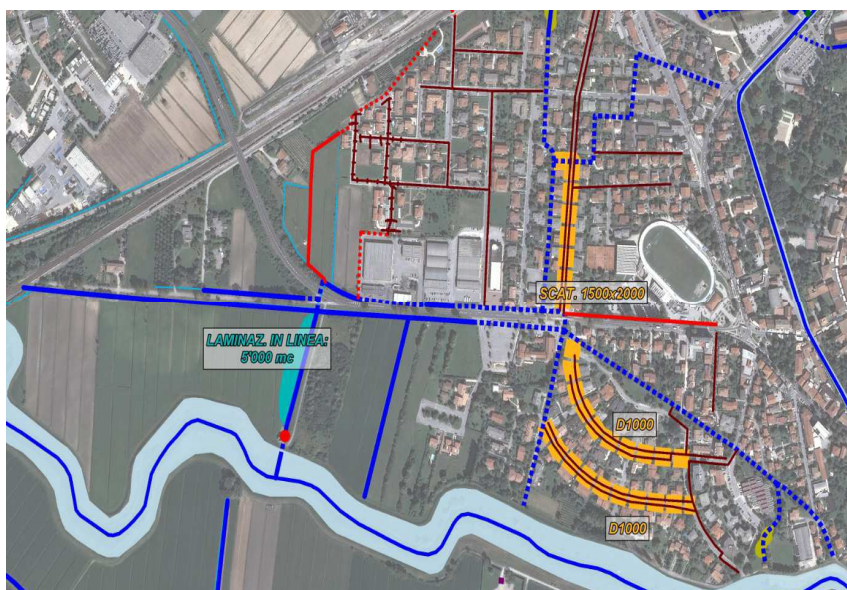
Nonostante il netto sottodimensionamento della rete di prima raccolta, evidente soprattutto nella porzione di più storica urbanizzazione (Via Arno – Via Po e limitrofe), la profondità di posa dei tombinamenti consortili e la quota di lavoro dell'impianto garantiscono un profilo di chiamata nei collettori fognari superficiali, che sono quindi in questo caso scarsamente condizionati dal livello di riempimento della rete principale in fase di piena (vd. profilo idraulico).

4.3 Proposta tecnica

4.3.1 Criteri progettuali

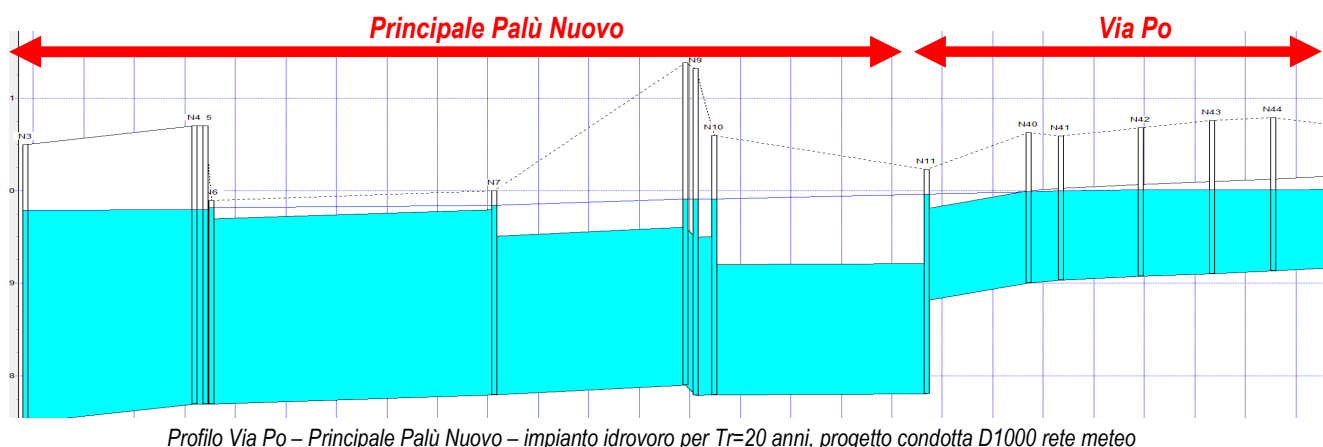
Gli eventi meteorici del periodo Gennaio-Febbraio 2014 hanno dimostrato come la vicinanza del fiume Reghena all'abitato dei Portogruaro rappresenti un fattore di pericolosità non trascurabile. Durante il citato evento, infatti, proprio in prossimità di Via Arno e Via Piave sono state registrate tracimazioni arginali che fortunatamente sono rimaste limitate e non hanno avuto conseguenze rilevanti. L'occasione ha però aperto alcune considerazioni sulla sufficienza delle opere arginali del fiume e sulla necessità di orientare le programmazioni future per la rete locale verso interventi che prescindano dall'aumento delle potenzialità di scarico. Per questo motivo la linea di tendenza definita per questo bacino è quella dell'aumento di invaso disponibile, da realizzare mediante sovradimensionamento delle condotte urbane, aumento degli invasi in linea nei tratti a cielo aperto ed individuazione di aree verdi da ri-sagomare per favorire il trattenimento delle portate in luogo del rapido trasferimento alla rete di smaltimento ed all'impianto idrovoro.

Nonostante questo bacino non sia ad oggi interessato da frequenti fenomeni di allagamento, pertanto, il Piano propone un quadro progettuale che mira a soddisfare eventi caratterizzati da tempi di ritorno statistici di 20 e 50 anni.



Gli interventi presentati nell'elaborato grafico 15B, e quantificati nel paragrafo seguente, sono definiti in due successivi step operativi, agendo prima sul limite principale del bacino, costituito dalla rete di prima raccolta urbana, e di seguito sulla rete principale, con invasi diffusi.

Estratto tav. 15B



Analogamente a quanto sottolineato per il bacino Busatte, è subito evidente che ad un aumento delle dimensioni dei collettori urbani si accompagna anche un incremento delle portate conferite al sistema di bonifica che le riceve: l'incremento è sostenibile per eventi caratterizzati da Tr 20 anni, mentre mostra i limiti della rete principale per eventi di entità superiore (Tr 50 anni) e per questo motivo la tavola 15B individua ambiti in cui ricavare laminazioni diffuse.

4.3.2 Elenco e stima sommaria dei costi

Viene di seguito indicata una stima dei costi di carattere parametrico, da rivedere in sede progettuale a fronte di verifica sottoservizi e indagini.

PALU' NUOVO Tr 20					
INTERVENTO	L TRATTA [m]	DIMENSIONI		stima parametrica prezzo unitario	STIMA PARAMETRICA COSTO (ordine di grandezza a livello pianificatorio, da determinare precisamente in sede progettuale)
Asse fognario tombinamento Rambruschi	300	scat.1500x2000	mm	1100	330'000
Asse fognario meteo Via Arno	350	D1000	mm	340	119'000
Asse fognario meteo Via Po	350	D1000	mm	340	119'000
TOT. BACINO PALU' NUOVO					€ 568'000
+ oneri + I.V.A. + Spese generali + Imprevisti + Spese tecniche di progettazione					

A questo quadro si accompagnano interventi di laminazione diffusa, suggeriti nell'elab. 15B e replicabili in aree a verde pubblico o privato anche nell'ambito di perequazioni. Per eventi caratterizzati da entità maggiore di 69mm in 2 ore (Tr 20 anni), dovranno accompagnarsi a questi interventi anche laminazioni sul sistema di bonifica principale, dimensionate a scala pianificatoria dal punto di vista macroscopico come aree allagabili di estensione 5'000 mq, ipotizzate in questa sede a servizio del canale principale di macchina.

5 APPROFONDIMENTO 3: AMBITO URBANO AFFERENTE CANALE VOLPARE

5.1 Motivo dell'analisi

L'ambito drenato dal canale Volpare è stato oggetto negli anni '80 di frequenti allagamenti, soprattutto nella porzione urbana altimetricamente più depressa, coincidente con il sedime di Via Colombo. In risposta a questa criticità è stata negli anni realizzata da parte del Comune di Portogruaro una stazione di sollevamento a servizio della rete fognaria mista: essa offre un beneficio localizzato agli ambiti urbani di Via Colombo, soprattutto nelle fasi della piena in cui il ricettore Volpare manifesta livelli idrometrici sostenuti.

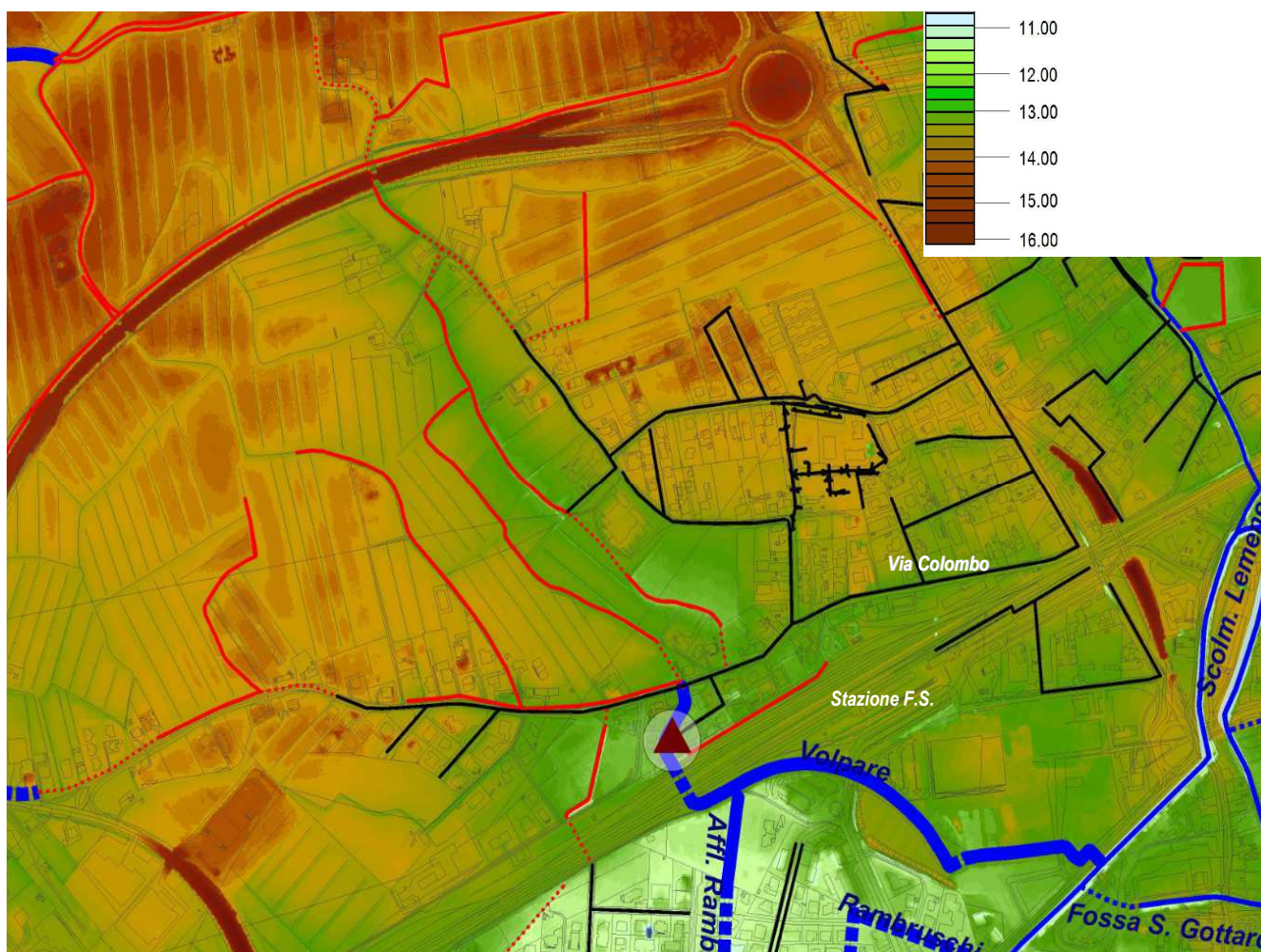
Nonostante la criticità sia ora meno sentita e si limiti alle abitazioni ubicate a ridosso del rilevato ferroviario, tuttavia è stato inserito quest'ambito tra gli approfondimenti di Piano, per analizzare il ruolo dell'impianto di sollevamento così installato e dimensionarne l'affidabilità in termini di tempo di ritorno statistico. L'occasione inoltre ha consentito di estendere anche a questa porzione la campagna di rilievo topografico per le reti fognarie, acquisendo diametri e quote delle reti di prima raccolta secondo quanto riportato nell'Elab. 16A.

5.2 Stato di fatto

L'area, di estensione 98ha, è caratterizzata da un medio livello di impermeabilizzazione nella porzione meridionale, mentre hanno uso del suolo di tipo agricolo le aree a ridosso della bretella stradale Var. SS14: complessivamente il 40% del bacino ha un uso del suolo di tipo impermeabilizzante (residenza-strade-servizi-commerciale).

Il bacino è caratterizzato da scolo di tipo naturale verso il ricettore Volpare, arginato sul lato sud e diretto allo Scolmatore Lemene. Proprio in ragione delle criticità sopra richiamate gli ambiti urbani in prossimità di Via Colombo beneficiano di sollevamento di emergenza per portata massima di 500 l/s, alimentato dalla rete fognaria, con scarico nel canale Volpare.

È subito evidente, tenendo conto che gli ambiti urbani si estendono per circa 40ha nel bacino e che essi rispondono ad eventi di carattere temporalesco con coefficienti idrometrici di almeno 60-70 l/(s*ha), che la portata così generata non è confrontabile con le potenzialità di sollevamento installate a servizio delle rete fognaria e che per questo motivo l'impianto esistente va considerato come sistema di supporto, ossia come sollevamento di emergenza con beneficio locale limitato all'asta di Via Colombo. Come evidente dall'Elab. 16 A e dall'estratto di seguito riportato, sono proprio gli ambiti urbani di quest'area a mostrare un assetto altimetrico più sfavorevole e per questo a risentire per primi di fenomeni di rigurgito da rete fognaria mista, nata nel caso specifico anche come tombinamento progressivo di fossati di guardia della sede stradale.

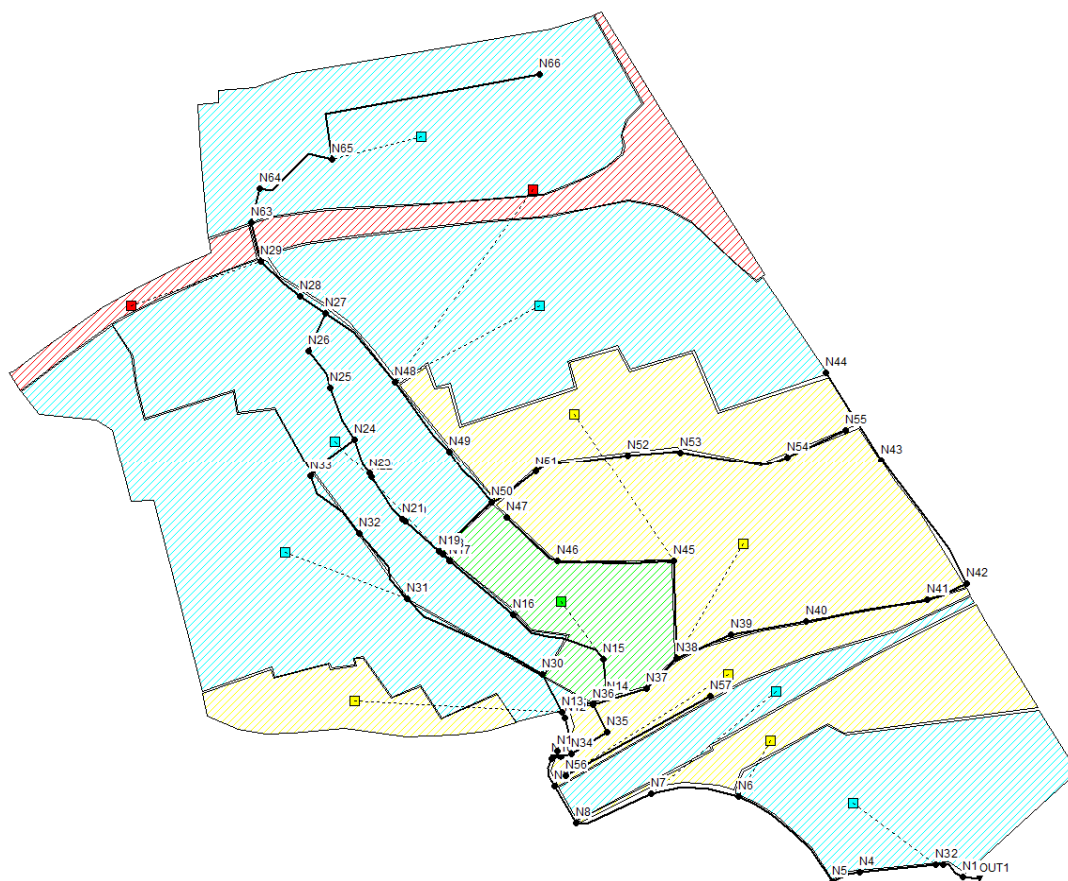


Bacino afferente nodo idraulico afferente canale Volpore, Modello Digitale del Terreno (Zero di riferimento fissato a quota -10.00 m slm), Elaborazione ricavata da dati del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, griglia 1x1m

La campagna di rilievo topografico ha consentito di ricostruire lo stato di fatto in modo più analitico (Elab. 16 A) in merito alla relazione tra la rete fognaria mista ed il ricettore Volpore. Nello specifico, come visibile dagli elaborati grafici tav. 16A, il Volpore è consortile nel tratto a valle della SC Via Colombo, mentre è di carattere privato –parzialmente tombinato - a monte di questa. Lo studio ha permesso di individuare punti di connessione tra il drenaggio urbano e la rete di capofossi, ponendo in evidenza nodi idraulici di sfioro come quello in prossimità di Via Magellano.

Come segnalato dall'Ente Gestore del Servizio Idrico, la rete fognaria è in quest'ambito in fase di separazione, con posa di rete dedicata ai reflui. Con riferimento al drenaggio delle portate di pioggia, pertanto, quelli che ora funzionano da sfiori saranno di fatto immissioni di portate bianche in reti di capofossi.

Analogamente a quanto illustrato per i casi precedenti, anche per questo bacino è stato implementato un modello di analisi, fissando come condizione al contorno il livello idrometrico del canale Volpore, determinato a sua volta dallo Scolmatore Lemene.



Schema bacini idraulici afferenti Volpare

Il principale elemento di valutazione, in questo caso, è dato però dall'analisi altimetrica, che evidenzia la netta prevalenza dei territori della porzione settentrionale rispetto a quelli di Via Colombo e delinea di fatto la soluzione progettuale più sostenibile per l'ambito, descritta al paragrafo seguente.

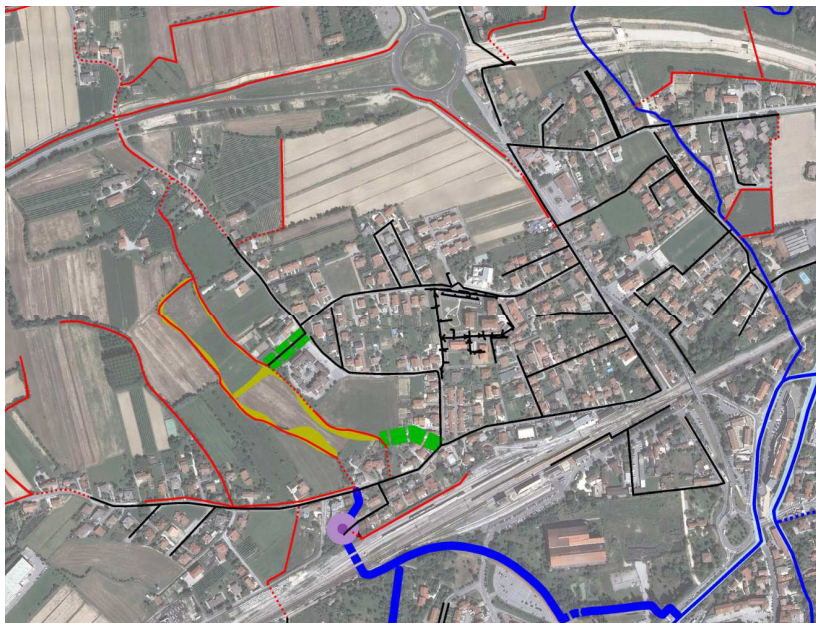
5.3 Proposta tecnica

5.3.1 Criteri progettuali

In occasione della recente presa in carico dell'impianto di sollevamento da parte del Consorzio di Bonifica (precedente gestione comunale), è stata inserita nel quadro progettuale complessivo la revisione del nodo idraulico, con ottimizzazione dell'impianto di sollevamento ed adeguamento dei collegamenti.

Tale operazione, tuttavia, deve per forza accompagnarsi ad una diminuzione del carico idraulico sulla condotta di Via Colombo, che per la stessa configurazione altimetrica del sito rappresenta l'ambito maggiormente colpito da fenomeni di allagamento.

Per questo motivo la linea progettuale delineata nel Piano prevede la realizzazione di invasi a nord dell'asta viaria comunale, non solo con ri-sagomatura dei fossati afferenti, ma anche con creazione di bassure verdi che offrano al sistema di drenaggio urbano un volano dedicato ad assorbire gli eccessi di portata rispetto alle capacità di smaltimento. Opere di questo tipo, naturalmente, sono attuabili solo a seguito del completamento del processo di separazione delle reti fognaria da parte del Comune di Portogruaro e del Servizio Idrico, pena il rischio di ristagno reflui in ambito urbano.



Estratto tav. 16B

L'assetto altimetrico locale riportato nell'elaborato 16A evidenzia come l'ambito più favorevole per realizzare tali ri-sagomature e depressioni verdi sia costituito dal tracciato dei capofossi privati esistenti, i quali attraversano una bassura localizzata: questo consente di poter sagomare le aree e sfruttarle per allagamenti occasionali anche senza comportare sconvolgimenti dell'area o ingenti volumi di scavo.

Il quadro progettuale presentato nell'elaborato grafico 16B è quantificato nel paragrafo seguente.

5.3.2 Elenco e stima sommaria dei costi

Viene di seguito indicata una stima dei costi di carattere parametrico, da rivedere in sede progettuale a fronte di verifica sottoservizi e indagini. Il presente quadro di spesa esula dalla revisione del nodo idraulico *sollevamento Volpare* ed elenca invece gli interventi immediatamente affrontabili.

Il mantenimento di sezione utile all'invaso su fossato privato (*Fosso Volpare a monte Via Colombo*) viene di seguito presentato come costo annuale, sottolineando il carattere di continuità che l'intervento deve avere nei casi in cui un asse di drenaggio privato diventa funzionale ad un intero ambito urbano ed acquisisce significato di utilità pubblica.

INTERVENTI DI SISTEMAZIONE PER TR20aa E TR50aa					
N.	NOME E DEFINIZIONE INTERVENTO	L TRATTA [m]	DIMENSIONI INTERVENTO	STIMA PARAMETRICA PREZZO UNITARIO [Euro/ml]	STIMA PARAMETRICA COSTO ⁽²⁾ [Euro]
1	Fosso Volpare a monte via Colombo - risezionamento e pulizia ⁽¹⁾	450	Lf=80 - 3/2	6.00	2 700.00
2	Fosso Ovest a monte via Colombo - risezionamento e pulizia ⁽¹⁾	500	Lf=80 - 3/3	6.00	3 000.00
3	Bacino di laminazione Fossato Volpare - S=2000 mq	2000	2000	16.00	32 000.00
4	Oneri per epropriaione terreni (n.3)		2000	12.00	24 000.00
TR 20 anni - Tot. Interventi distribuiti nella rete del bacino ⁽³⁾					61 700.00
(1) Importo annuale intervento					
(2) Ordine di grandezza a livello pianificatorio, da determinare precisamente in sede progettuale					
(3) Importo escluso oneri, IVA, spese generali, spese tecniche di progettazione					

A seguito delle operazioni sopra quantificate sui fossi privati, una volta concluse le operazioni di separazione delle linee fognarie avviata dall'Ente Gestore del Servizio Idrico, potrà essere valutata l'ipotesi di alimentarle con sfiori di emergenza dalla rete urbana, così come individuati nell'Elab. 15B.

6 APPROFONDIMENTO 4: AMBITO URBANO E PERI-URBANO AFFERENTE SUMMAGA ESTERNO

6.1 Motivo dell'analisi

L'area di Summaga compresa tra la SS *Postumia* e la SC Via Franca, scolante naturalmente verso il ricettore Summaga Esterno, è stata sottoposta ad approfondimento tecnico nella fase 2 del Piano in ragione dei frequenti fenomeni di allagamento che la caratterizzano.

Il presente studio si affianca a quanto analizzato in occasione della progettazione preliminare condotta negli anni precedenti e riportata negli elaborati 12 e 13, completandola con il maggior livello di conoscenza dello stato di fatto ricostruito grazie alla campagna di rilievo topografico delle reti urbane ed alla definizione di un Modello Digitale del Terreno a maglia di dettaglio.

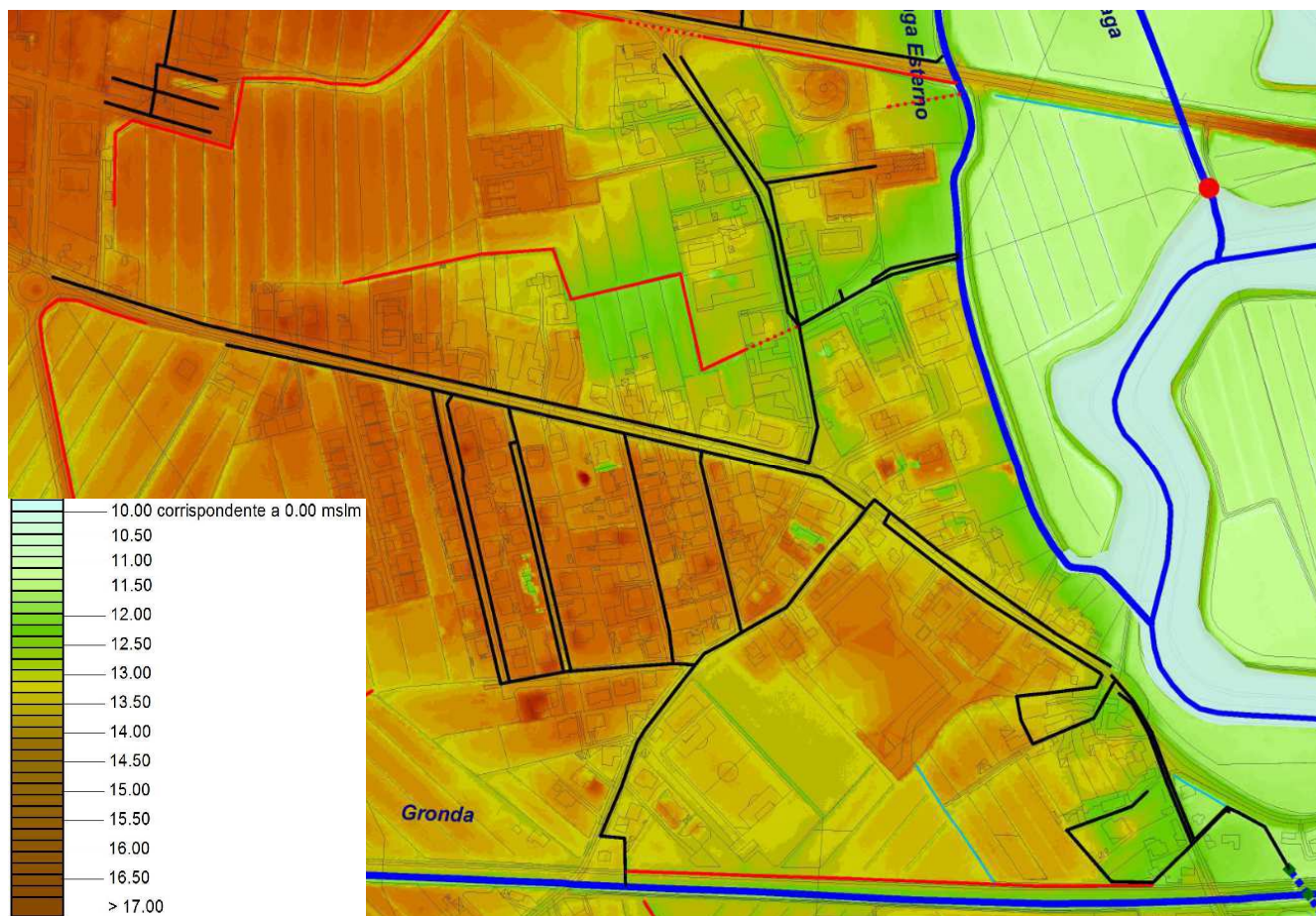
6.2 Stato di fatto

Come descritto nell'Elab. 13, la rete urbana di Summaga afferisce parzialmente alla botte a sifone sottopassante il canale di Gronda, parzialmente alla rete di Via S. Elisabetta con scarico nel medesimo canale di Gronda e parzialmente al Summaga Esterno a mezzo di collegamento con capofosso privato parzialmente tombinato.

Proprio per quest'ultima porzione è stato sviluppato il presente approfondimento, verificando le connessioni tra la rete urbana e le opere private, oltre che analizzando la dipendenza di entrambi dai livelli del ricettore Summaga Esterno.

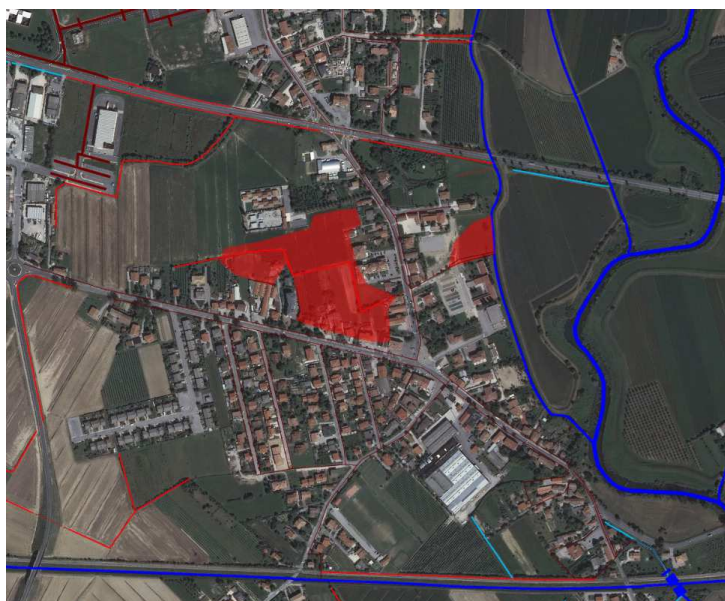
Trattandosi di aree considerate "di frangia" ovvero al limite tra scolo naturale e scolo meccanico, è facile intuire che per eventi meteorici intensi il livello idrometrico del ricettore possa determinare fenomeni di rigurgito anche consistenti: per questo motivo negli anni precedenti il sistema di scarico è stato dotato di porte a vento, a protezione dalle acque esterne.

Ciò nonostante le aree altimetricamente più sfavorite, rappresentate dagli ambiti appena a nord di Via Franca, mostrano persistenti ristagni d'acqua che arrivano, per ruscellamento, ad interessare anche la abitazioni fronte-strada.



Bacino afferente nodo idraulico afferente canale Summaga Esterno, Modello Digitale del Terreno (Zero di riferimento fissato a quota -10.00 m slm), Elaborazione ricavata da dati del Ministero per l'Ambiente e la Tutela del Territorio e del Mare, griglia 1x1m

Lo stato dei luoghi è stato ricostruito con maggior dettaglio a mezzo di rilievi topografici ed è riportato nell'elab. 17 A, che

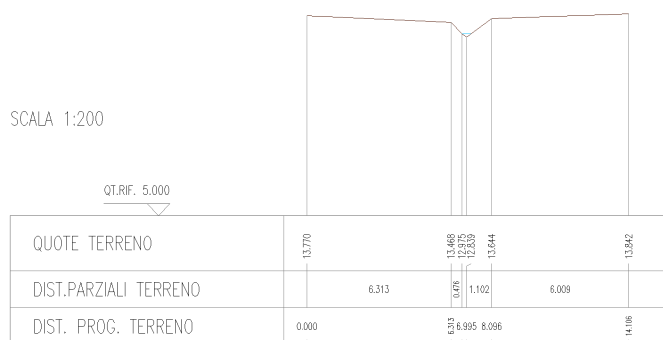


evidenzia anche grazie alla restituzione del DTM l'assetto altimetrico delle aree maggiormente colpite da fenomeni di allagamento e definisce il ruolo di drenaggio assolto -per le aree urbane e non- dal capofosso privato attraversante la proprietà "Latteria di Summaga": esso infatti non solo riceve le aree agricole o incolte limitrofe, ma intercetta la rete fognaria mista di Via Benedetto e riceve quella di Via Franca, rappresentando l'asse di riferimento per l'intero comparto compreso tra la SS Postuma e via Franca.

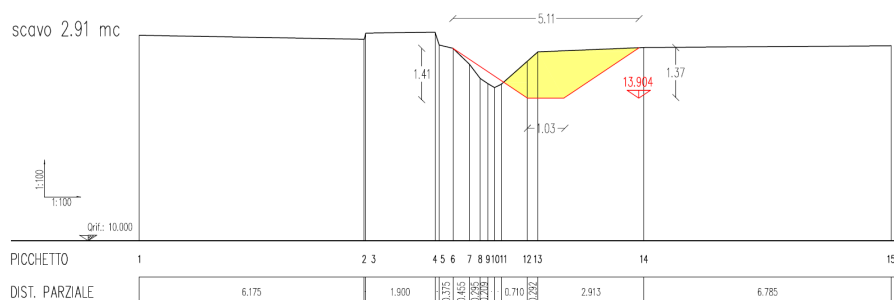
Principali allagamenti Summaga

Il capofosso è ad oggi caratterizzato da sezione discontinua di profondità media 0.9m e larghezza di fondo variabile 0.5 – 1.0m (vd. tav. 18).

Anche gli altri capofossi privati dell'area, tra cui di collegamento alla SS Postumia, presentano situazioni analoghe, come evidenziato già in occasione della progettazione preliminare del 2011.

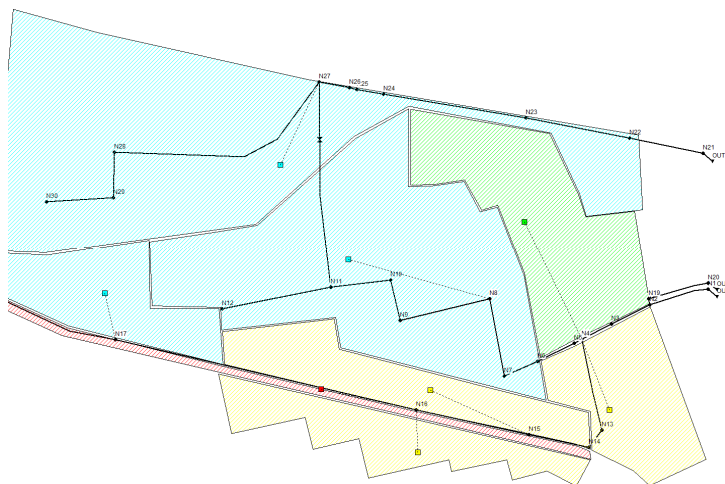


Capofosso privato "latteria Summaga", rilievo Piano Acque 2014



Capofosso privato verso SS Postumia, progetto 2011

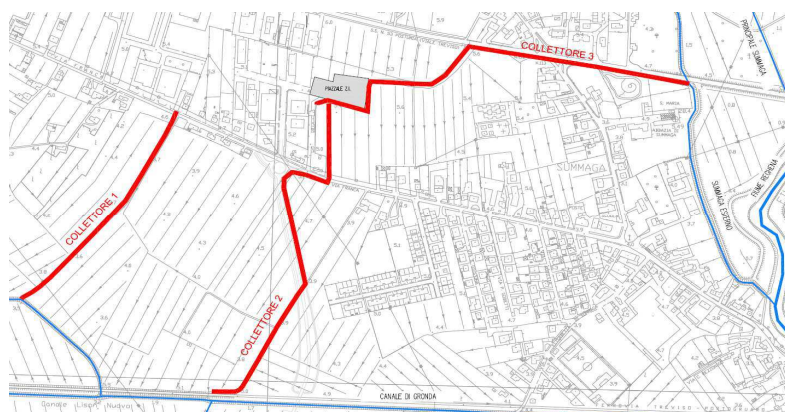
L'ambito scolante verso tali capofossi privati, schematicamente definito come l'area compresa tra la SS Postumia e Via Franca, limitata ad est dal Reghena Esterno ed a ovest da Via S. Floriano, ha un'estensione totale di 32ha, caratterizzati da ambiti impermeabili solo sul fronte di Via Franca e Via Benedetto, mentre per il restante è agricola o incolta.



6.3 Proposta tecnica

6.3.1 Criteri progettuali

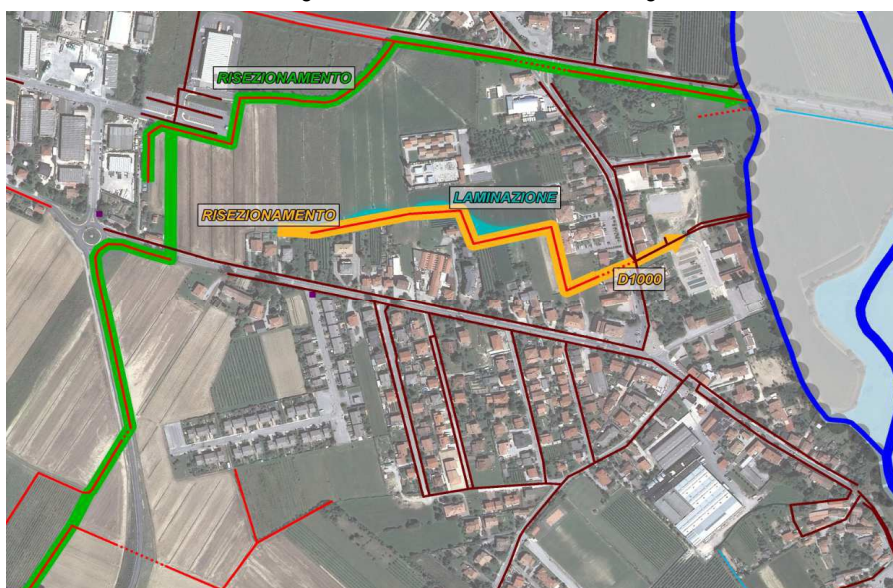
La proposta tecnica si affianca per quest'ambito alla vigente progettazione riferita ai fossati privati di Summaga, integrandola con interventi di risezionamento sulla linea –anch'essa privata- attraversante la proprietà privata "Latteria Summaga".



Estratto prog. Preliminare fossi privati Summaga

In particolare con riferimento all'ambito in esame sono da considerare gli interventi sui collettori privati indicati come *Collettore 2* e *Collettore 3*.

L'assetto altimetrico dei luoghi ricostruito con il Modello Digitale del Terreno obbliga infatti ad individuare nell'ambito

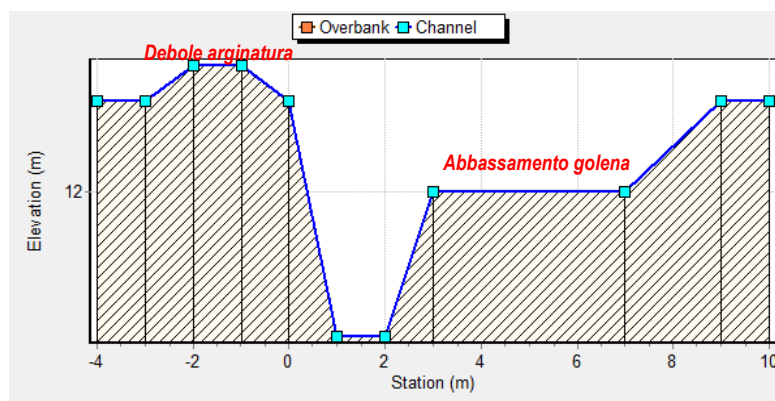


agricolo a nord di Via Franca l'ubicazione ideale per interventi di risezionamento dei collettori ed aumento invasi, offrendo al sistema idraulico la possibilità di laminare le fasi della piena in cui il ricettore Summaga Esterno non consenta scarico a gravità (vd. Tav. 17B).

Estratto tav. 17B

Oltre alla necessità di conferire continuità idraulica di sezione e di livelletta ai sistemi di scolo locali, affrontata dalla progettazione preliminare dell'anno 2011, preso atto della forte dipendenza dell'area dai livelli del ricettore finale, è stato completato il quadro interventi locale con l'individuazione di un ambito da destinare al temporaneo trattenimento delle portate. Dimensionamenti crescenti della laminazione, ricavabile come area golenale del capofosso privato, portano chiaramente a crescenti livelli di sicurezza idraulica. Per questo motivo la proposta tecnica viene scissa in due step operativi successivi, associando i due livelli di dimensionamento dell'invaso e due diversi tempi di ritorno statistici (Tr 20 anni e Tr 50 anni). Una laminazione di 1'500 mc utili corrisponde, considerando il solo l'ambito afferente al capofosso "Latteria Summaga" stimato in 17,7ha, ad un vaso specifico di 84mc/ha, ovvero alla possibilità di invasare per più di

un'ora un afflusso di 20 l/(s*ha), adeguato per le aree quasi interamente permeabili come quella in esame.



Dal punto di vista realizzativo tale risezionamento dovrà preferibilmente prevedere una debole arginatura sul lato sud, a protezione delle abitazioni prospicienti la sede stradale.

Schema sezione di progetto implementata nel modello idraulico Summaga

6.3.2 Elenco e stima sommaria dei costi

Viene di seguito indicata una stima dei costi di carattere parametrico, da rivedere in sede progettuale a fronte di verifica sottoservizi e indagini. Con riferimento all'ambito in esame, viene inserito nel quadro progettuale il risezionamento del Collettore3, rimandando per i restanti fossati privati ai citati documenti progettuali.

N.	NOME E DEFINIZIONE INTERVENTO	L. TRATTA [m]	DIMENSIONI INTERVENTO	STIMA PARAMETRICA PREZZO UNITARIO [Euro/ml]	STIMA PARAMETRICA COSTO ⁽¹⁾ [Euro]
1	Fossato Postumia - risezionamento dello scolo (v. Studio di fattibilità)	500	L _f =100 - 3/2	65.00	32 500.00
2	Fossato Postumia - idropulizia della condotta incrocio SR.53	150	-	30.00	4 500.00
3	Fossato centrale - risezionamento dello scolo	550	L _f =100 - 3/2	65.00	35 750.00
4	Rifacimento attraversamento Via San Benedetto condotta DN1000	30	1000	425.00	12 750.00
5	Fossato centrale - bacino di laminazione S=1500 mq	1500	1500	16.00	24 000.00
6	Oneri per epropiazione terreni (n.1, n.3, n.5)		4650	12.00	55 800.00
TR 20 anni - Tot. Interventi distribuiti nella rete del bacino ⁽²⁾					165 300.00
7	Fossato centrale - bacino di laminazione S=3000 mq	1500	1500	16.00	24 000.00
8	Oneri per epropiazione terreni (n.7)		1500	12.00	18 000.00
TR 50 anni - Tot. Interventi distribuiti nella rete del bacino ⁽²⁾					207 300.00

Stima dei costi, (per il primo punto Fossato Postumia vd. dettaglio tabella seguente)

LAVORI	quantità	unità di misura	prezzo unitario	unità di misura	Costo (euro)
collettore 3 (fosso verso Summaga Esterno)					
Sfalcio, disboscamento e decespugliamento	1	a corpo	6.000.00	€/a corpo	6.000.00
Scavo di approfondimento e risezionamento canali: mc	1	a corpo	4.000.00	€/a corpo	4.000.00
Opere provvisoriale e aggettamento: n.2 pont.	2	cad	1.000.00	€/cad	2.000.00
Fornitura e posa elementi scatolari c.a.v. 160x100 cm: 8+8m per 2 pont.su strada SS53	16.00	m	500.00	€/m	8.000.00
Manufatto di sbocco/imbocco in c.a.: n.4	4	cad	1.500.00	€/cad	6.000.00
Geocomposito tessile (3mq/ml)	60.00	mq	4.00	€/mq	240.00
Pali in legno d=25cm, l=3,5m, i=50cm	280.00	m	15.00	€/m	4.200.00
Filagna in legno h=60cm	40.00	m	9.45	€/m	378.00
Roccia pezz. 10-50kg (1,5mc/ml)	30.00	t	28.00	€/t	840.00

Dettaglio Fossato Postumia (Collettore 3 del progetto preliminare fossi privati, anno 2011)

totale	€	31.658.00
Arrotondato a	€	31.700.00
Oneri per la sicurezza	€	800.00
sommano	€	32.500.00

7 APPENDICE: MODELLO DI CALCOLO

Per lo studio si è usato il software EPA's Storm Water Management Model (SWMM) prodotto dal dipartimento della protezione ambientale statunitense – United States Environmental Protection Agency (EPA) – dal 1971, aggiornato ed ottimizzato fino alla corrente versione 5.0.021. Permette la simulazione qualitativa e quantitativa del completo ciclo idrologico applicato alle reti urbane e suburbane di scolo delle acque meteoriche. Sebbene il programma sia nato per il calcolo della rete urbana tombinata è possibile applicarlo anche a tratti di canali, sia con forma regolare che con forma varia. Inoltre, consente di considerare ingressi di acque parassite.

Gli elementi costituenti il bacino di interesse possono essere divisi in tre gruppi:

Le piogge che possono essere considerate per tempi limitati, oppure a cicli di giorni o mesi;

Il territorio caratterizzato da sottobacini "subcatchments", con singole caratteristiche come l' infiltrazione o la pioggia;

Il groundwater terreno vero e proprio, ricevente l'infiltrazione e con possibili efflussi;

La rete di scolo è caratterizzata da nodi, collegamenti e altri elementi tipici di una rete (come possono essere impianti di sollevamento).

Il programma è suddiviso in due moduli: uno di Servizio ed un altro Computazionale.

Nel primo modulo sono contenuti una serie di blocchi che consentono di elaborare i risultati ottenuti; con i quali, si possono compiere operazioni statistiche dalle simulazioni (blocco *Statistics*), gestire i dati meteo-climatici da inserire nel programma o che vengono utilizzati nel corso di simulazioni di tipo continuo (blocchi *Temperature* e *Rain*), di gestire i risultati ottenuti per mezzo di grafici e stampe (blocco *Graph*), sistemare i valori di output al fine di aggregare i dati, utilizzabili così dai blocchi in cascata (blocco *Combine*).

Appartenente al modulo di servizio è anche il blocco *Executive*, il quale manipola i file di interfaccia tra i vari blocchi e il blocco, o la sequenza di blocchi, da eseguire.

Il modulo Computazionale contiene quattro blocchi con i relativi simulatori di processo idrologico ed idraulico: un blocco per la modellazione del deflusso superficiale (blocco *Runoff*), uno per il calcolo della propagazione in rete con la schematizzazione dell'onda cinematica (*Transport*), il terzo è un blocco di calcolo dinamico basato sulla risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant che governano il fenomeno idraulico di propagazione all'interno della rete (*Extran*), ed infine uno che descrive i processi all'interno di un impianto di trattamento reflui (*Storage/Treatment*).

Il blocco **Runoff** è il primo passo di una simulazione in SWMM. Questo riceve come input gli eventuali dati meteorologici registrati nei blocchi Rain e/o Temperature, oppure si possono introdurre degli ietogrammi (con intensità di pioggia

/tempo o precipitazione totale in mm/tempo) definiti dall'utente. Runoff analizza il processo afflussi-deflussi utilizzando un approccio basato sulla tecnica dei serbatoi non lineari. Inoltre viene anche analizzato il processo di infiltrazione e di evaporazione, in modo da poter arrivare ad ottenere come risultato il tracciamento dell'idrogramma in ogni ramo della rete studiata. Il blocco può essere impostato per compiere simulazioni per periodi temporali che vanno dai minuti agli anni.

Per di più, Runoff offre anche la possibilità di simulare la qualità delle acque, in termini di analisi dei processi di spostamento dei contaminanti dalle superfici scolanti alla rete di fognatura o di scolo.

Il blocco **Transport**, che può seguire il lancio di Runoff, va a modellare il comportamento qualitativo e quantitativo del sistema, appoggiandosi al calcolo idraulico sulla schematizzazione dell'onda cinematica. I risultati consistono in livelli, portate e concentrazioni delle sostanze contaminanti per ogni componente della rete, schematizzata in un sistema di rami e nodi.

Il blocco **Storage/Treatment** è sostanzialmente una specializzazione di Transport; infatti, può simulare fino a tre inquinanti in un serbatoio contenete fino a cinque unità o processi. Il blocco simula inoltre i processi di decadimento del primo ordine associati ad una miscelazione completa, funzioni di rimozione e di dinamica di sedimentazione.

Il blocco **Extran** - Extended Transport - è in pratica il "cuore" idraulico di SWMM; consente, di modellare la propagazione dei deflussi all'interno della rete mediante la risoluzione completa delle equazioni di De Saint Venant. Extran è un modulo completo per la simulazione di reti ad albero o a maglia; vengono modellati, infatti, anche i fenomeni di rigurgito, le inversioni del flusso nei rami, i moti a pelo libero e in pressione. Extran utilizza una descrizione topologica della rete basata su una geometria rami-nodi; i rami e i nodi hanno caratteristiche specifiche, opportunamente configurabili, che, combinate tra loro, permettono la descrizione idraulica dell'intera rete di deflusso.

Nella schematizzazione usata dal blocco, i rami sono sostanzialmente i condotti della rete fognaria (i canali nel caso di sezioni aperte) e consentono di propagare le portate da un nodo all'altro. I nodi rappresentano i pozzetti presenti nel sistema fognario (o i punti di intersezione dei rami, come nel caso dei canali); nei nodi vengono localizzate le portate in ingresso (provenienti dal Runoff ed espressi come idrogrammi di piena generati a partire dal modello afflussi-deflussi) e le portate uscenti dalla rete.

7.1 DEFLUSSI

Col termine DEFLUSSO SUPERFICIALE si intende l'acqua di precipitazione che scorre sulla superficie del terreno e viene, successivamente raccolta dalla rete di scolo.

SWMM simula il deflusso superficiale trattando ogni superficie dei sottobacini come un serbatoio non lineare. Le portate in ingresso sono costituite dalle precipitazioni, quelle in uscita dal deflusso superficiale, dalle infiltrazioni e dalle evaporazioni, eventuali. 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:

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

7.2 INFILTRAZIONE

L'**infiltrazione** è il fenomeno fisico per il quale l'acqua presente sulla superficie del terreno penetra al suo interno. Questo movimento avviene sotto la spinta sia della forza gravitazionale che per capillarità.

Nella fattispecie si è adottato il **Metodo di Horton**: si assume che la variazione della capacità d'infiltrazione f [mm/h] sia, in ogni istante, proporzionale alla differenza tra la capacità attuale e la capacità d'infiltrazione asintotica f_c secondo la relazione:

$df/dt = -k(f-f_c)$ essendo k [h^{-1}] una costante legata alla rapidità della diminuzione della capacità di infiltrazione.

L'integrazione della precedente, indicando con f_0 la capacità d'infiltrazione all'istante $t=0$, conduce all'equazione di Horton:

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

- f è la capacità di infiltrazione in funzione del tempo;
- c è il valore iniziale del tasso di infiltrazione potenziale (all'istante $t=0$);
- f_c è il valore finale del tasso al quale il processo tende asintoticamente;
- k è una costante del tempo.

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.

Da stime empiriche si è giunti alla decisione di utilizzare una diversificazione dei parametri, tra suoli urbani e suoli rurali:

Per i terreni urbani si è fatto riferimento al manuale ASCE, assumendo la Curva standard (suoli mediamente permeabili) con valori dei parametri pari a:

$$f_0 = 76 \text{ mm/h}$$

$$f_c = 13 \text{ mm/h}$$

$$k = 4,14 \text{ h}^{-1}$$

Per i terreni agricoli si è fatto riferimento ai dati forniti dal *Soil Conservation Service* assumendo una tipologia di terreno C con: Potenzialità di deflusso moderatamente alta, la quale comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali.

I valori dei parametri sono pari a:

$$f_0 = 125 \text{ mm/h}$$

$$f_c = 6.3 \text{ mm/h}$$

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

7.3 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:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (1.1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gAS \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (1.2)$$

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 (1.1) è l'equazione di continuità del moto vario in assenza di flussi e deflussi laterali, la (1.2) è l'equazione del

momento della quantità di moto.

Considerando che:

$$\frac{Q^2}{A} = V^2 A \quad (1.3)$$

$$\frac{\partial(V^2 A)}{\partial x} = 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (1.4)$$

dove con V si intende la velocità media lungo il condotto. Sostituendo nell'equazione del momento della quantità di moto (1.2):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (1.5)$$

Sapendo che $Q = AV$ l'equazione di continuità (1.1) può essere riformulata come:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (1.6)$$

nella quale, moltiplicando per V :

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (1.7)$$

Sostituendo quest'ultima equazione (1.7), nell'equazione (1.5) si ottiene:

$$\boxed{\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0} \quad (1.8)$$

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:

$$S_f = \frac{k}{gAR_H^{4/3}} Q|V| \quad (1.9)$$

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_i , assicurando, inoltre, che le forze di attrito siano sempre opposte al moto.

Sostituendo la (1.9) nella (1.8) ed esprimendo il tutto alle differenze finite:

$$Q_{t+\Delta t} = Q_t - \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t| Q_{t+\Delta t} + 2V \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + V^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - gA \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (1.10)$$

Dove:

Δt è il passo di calcolo;

L è la lunghezza del condotto.

Risolvendo la precedente equazione (1.10) si ottiene:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{k\Delta t}{R^{4/3}} |V_t|} \left[Q_t + 2\bar{V} \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t \Delta t + \bar{V}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \right] \quad (1.11)$$

dove \bar{V} , \bar{R} ed \bar{A} 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 (1.11) sono $Q_{t+\Delta t}$, H_1 e H_2 . E' 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:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial t} \right)_t = \left(\frac{\sum Q_t}{A_s} \right)_t \quad (1.12)$$

dove A_s è l'area della superficie libera al nodo. La precedente equazione (1.12) può essere scritta alle differenze finite:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \left(\frac{\sum Q_t \Delta t}{A_s} \right)_t \quad (1.13)$$

7.4 SOLUZIONE NUMERICA

Le equazioni (1.11) e (1.13) 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. a. Calcolare le proprietà del sistema al tempo $t + \frac{\Delta t}{2}$
 b. Formulare $\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_{t+\frac{\Delta t}{2}}$ dalle proprietà del sistema al tempo $t + \frac{\Delta t}{2}$
4. Esprimere $Q(t + \Delta t)$ come $Q(t + \Delta t) = Q\left(t + \frac{\Delta t}{2}\right) + \left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_{t+\frac{\Delta t}{2}} \frac{\Delta t}{2}$

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 sono:

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 $t + \Delta t$.

7.5 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;
- ΔH_{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 Δt è determinato dal più piccolo e corto condotto con elevati afflussi. 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.