

COMUNE DI NOVENTA PADOVANA

Via Roma, 4 - 35027 Noventa Padovana (PD)



Via Vescovado, 11 - 35141 PADOVA
e-mail: bonifica@baccbrenta.it
www.baccbrenta.it



Via Rovereto, 12 - 30174 VENEZIA
e-mail: consorzio@acquerisorgive.it
www.acquerisorgive.it



PIANO DELLE ACQUE COMUNE DI NOVENTA PADOVANA

01.02.00 RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

AR022 PDA

DATA		ELABORATO				
LUGLIO 2013		RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA				
SCALA						
-						
CODICE ELABORATO						
AR022	PDA	01	02	00		
CONSORZIO DI BONIFICA BACCHIGLIONE						
ing. Francesco Veronese - DIRETTORE						
dott. Mario Breda - DIRETTORE AREA AGRARIA E MANUTENZIONE						
ing. Nazzareno Paganizza - CAPO UFFICIO AMBIENTE E SORVEGLIANZA						
CONSORZIO DI BONIFICA ACQUE RISORGIVE						
ing. Carlo Bendoricchio - DIRETTORE						
ing. Michele Caffini - DIRETTORE AREA TECNICA						
GRUPPO DI LAVORO:						
dott. Marco Ugolini		ing. Luca Mason				
geom. Giovanni Sorgato		ing. Piero Zanette				
SERVICE TECNICO:						
		via Dall'Armi, 27/3		INGEGNERIA 2P & associati		
		I-30027 S. Donà di Piave (VE)				
		Web: www.ingegneria2p.it				
		Tel. +39.0421.307.700 - Fax +39.0421.307.716				
		Dott. Ing. Giovanni Carretta				
REV. N°	DATA	MOTIVO DELLA REVISIONE		REDIGE	VERIFICA	APPROVA
0	18-07-2013	Prima emissione				

REGIONE DEL VENETO
PROVINCIA DI PADOVA

COMUNE DI NOVENTA PADOVANA

PIANO DELLE ACQUE

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

INDICE

1	PREMESSE	4
2	DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA DEL TERRITORIO COMUNALE	5
2.1	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGRAFIA PRINCIPALE	5
2.2	DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA CONSORTILE.....	8
3	VERIFICA DELLA RETE SCOLANTE	17
3.1	GENERALITÀ	17
3.2	DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA.....	17
3.3	DEFINIZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DI PROGETTO.....	18
3.4	LA MODELLAZIONE DEL TERRITORIO.....	20
3.5	DISCRETIZZAZIONE MATEMATICA DELLA RETE IDROGRAFICA.....	20
3.6	INDIVIDUAZIONE BACINI IMBRIFERI.....	22
3.7	PARAMETRI IDRAULICI DI SIMULAZIONE E CONDIZIONI AL CONTORNO.....	24
3.8	I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ALLO STATO DI FATTO E DEFINIZIONE DELLE CRITICITÀ	28
3.8.1	SIMULAZIONE CON TEMPO DI PIOGGIA PARI AD 1 ORA	28
3.8.2	SIMULAZIONE CON TEMPO DI PIOGGIA PARI A 3 ORE	31
4	INTERVENTI DI PIANO	46
4.1	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA RISOLUZIONE DELLE CRITICITA' RISCONTRATE MEDIANTE LA MODELLAZIONE MATEMATICA	46
4.1.1	INTERVENTI DI PROGETTO	46
4.1.1.1	DESCRIZIONE DELLE OPERE.....	46
4.1.1.2	VERIFICA IDRAULICA NELLO SCENARIO DI COMPLETAMENTO DEGLI INTERVENTI PREVISTI.....	66
5	APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO EPA SWMM	77
5.1	GENERALITÀ	77
5.2	DESCRIZIONE MATEMATICA DEL MODELLO DI CALCOLO.....	79
5.2.1	EQUAZIONI GENERALI	79
5.2.2	SOLUZIONE GENERICA PER I TRATTI.....	80
5.2.3	CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MEDIE DEI TRATTI.....	82
5.3	DESCRIZIONE DEL PROCESSO FISICO DI FORMAZIONE DEI DEFLUSSI	82

5.3.1 MECCANISMO DI GENERAZIONE DEI DEFLUSSI SUPERFICIALI.....	83
5.3.2 FORMULAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO	84

1 PREMESSE

Nell'ambito della stesura del Piano delle Acque del Comune di Noventa Padovana (PD), si sono analizzati con particolare attenzione gli aspetti idraulici riguardanti la rete idrografica gestita dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione e dal Consorzio di Bonifica Acque Risorgive.

Inoltre sono state indagate le problematiche relative al deflusso idrico nelle reti di fognatura bianca con particolare riguardo alle aree maggiormente problematiche sotto tale aspetto, ovvero l'intero centro abitato e parte della zona industriale di Noventa Padovana e l'abitato della zona di Oltre Brenta.

A tale scopo è stato implementato un modello di simulazione idrologica ed idraulica che ha permesso:

- la definizione delle criticità dei collettori consortili allo stato attuale;
- la definizione delle criticità sulle reti di fognatura bianca;
- la definizione degli interventi di piano per l'eliminazione delle criticità riscontrate.

Per una completezza della simulazione idraulica si sono inoltre modellati alcuni fossati, aventi primaria importanza, anche se non gestiti dai Consorzi di Bonifica.

La presente Relazione Idrologica e Idraulica tratta gli aspetti tecnici riguardanti le ipotesi assunte, i parametri idrologici di riferimento, la descrizione del programma di calcolo utilizzato per la modellazione ed i risultati delle elaborazioni compiute.

2 DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA DEL TERRITORIO COMUNALE

2.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E IDROGRAFIA PRINCIPALE

Situato nella parte centro-orientale della Provincia di Padova, il territorio del Comune di Noventa Padovana, che si estende su di una superficie di circa 710 ettari, è attraversato da un intreccio di corsi d'acqua di cui i più importanti sono il Fiume Brenta e il Canale Piovego che si immette nel Brenta stesso al limite sud-est del confine comunale.

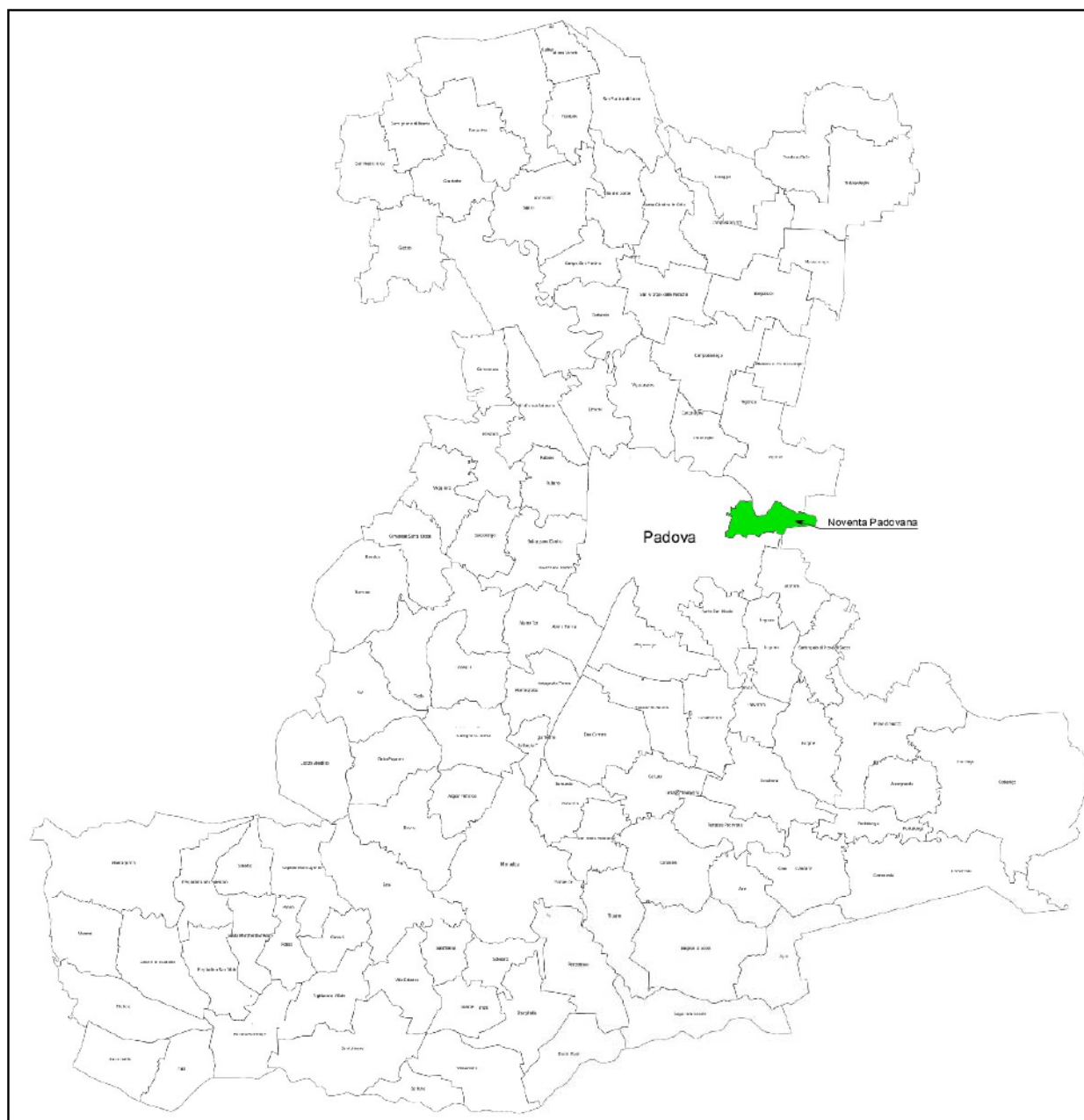


Figura 2-1: Corografia della Provincia di Padova con evidenziato il territorio del Comune di Noventa Padovana.

Il territorio in esame presenta un andamento degradante da Ovest verso Est.

La porzione che si sviluppa in destra idrografica al Fiume Brenta presenta valori altimetrici degradanti da +12,0 a +6,0 m s.m.m., mentre la parte che si estende in sinistra idrografica del Brenta possiede altimetrie variabili tra +10,0 e +8,0 m s.m.m.

Si evidenziano delle significative zone di discontinuità in corrispondenza alle arginature del Canale Piovego e del Fiume Brenta che si spingono a quote mediamente pari a 14 m s.m.m.

La figura successiva tratta dalla carta del microrilievo evidenzia quanto esposto.

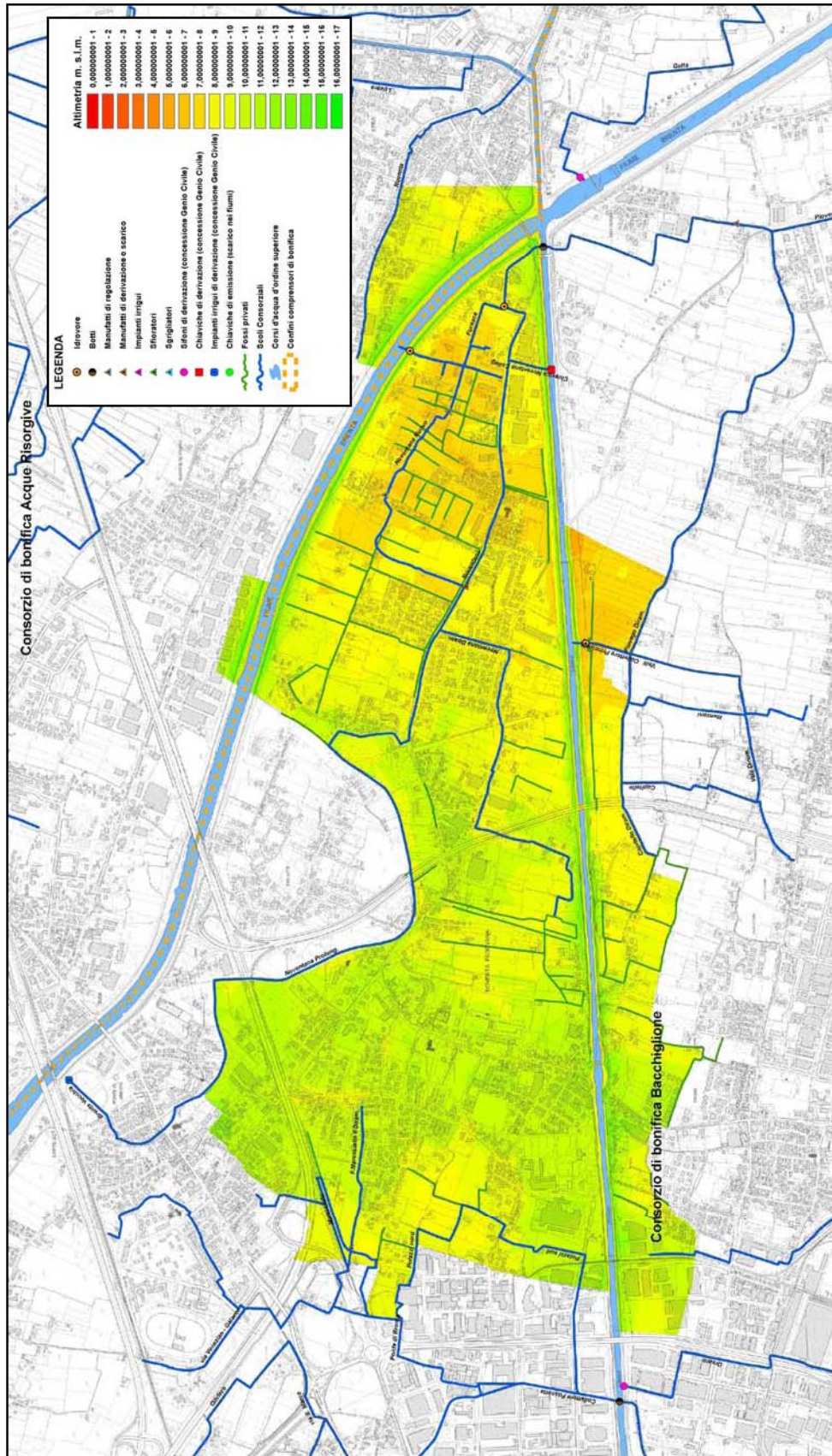


Figura 2-2: Carta del Microrilievo.

Come accennato i due corsi d'acqua principali che interessano il territorio comunale sono il Fiume Brenta ed il Canale Piovego. Il Fiume Brenta rappresenta il corso d'acqua di maggior rilievo. Il fiume scorre da nord-ovest a sud-est, si presenta arginato, e per circa 1 km segue il confine tra il territorio comunale di Noventa Padovana, posizionato in destra idrografica, e il territorio comunale di Vigonza a nord.

Il secondo corso d'acqua in ordine di importanza è il Canale Piovego, scolmatore del Bacchiglione, che scorre con percorso rettilineo da ovest verso est tagliando il territorio comunale per una lunghezza di circa 5,4 km, dei quali 1,8 km rappresentano anche il confine sud del comune. Anch'esso scorre arginato e scarica le proprie acque nel Brenta nella zona sud orientale del territorio comunale.

In occasione delle piene del Bacchiglione parte delle acque di quest'ultimo vengono fatte defluire lungo il Piovego. Può accadere che la piena del Bacchiglione si presenti in concomitanza a quella del Brenta: in tali circostanze sul Piovego si riscontrano importanti fenomeni di rigurgito indotti dai livelli elevati nel Brenta che si traducono in un aumento dei livelli idrometrici lungo tutto il percorso del Piovego con conseguente pericolo di esondazione.

2.2 DESCRIZIONE DELLA RETE IDROGRAFICA CONSORTILE

Nel territorio comunale di Noventa Padovana si riconosce una fitta rete di canali e scoli in parte tubati e in parte a cielo aperto gestiti dai Consorzi di Bonifica. In particolare tutta la porzione di territorio che si sviluppa in destra idrografica al Brenta è attualmente gestita dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione, mentre l'area denominata Oltre Brenta, in sinistra idrografica del Fiume Brenta, rientra nei territori del Consorzio di Bonifica Acque Risorgive.

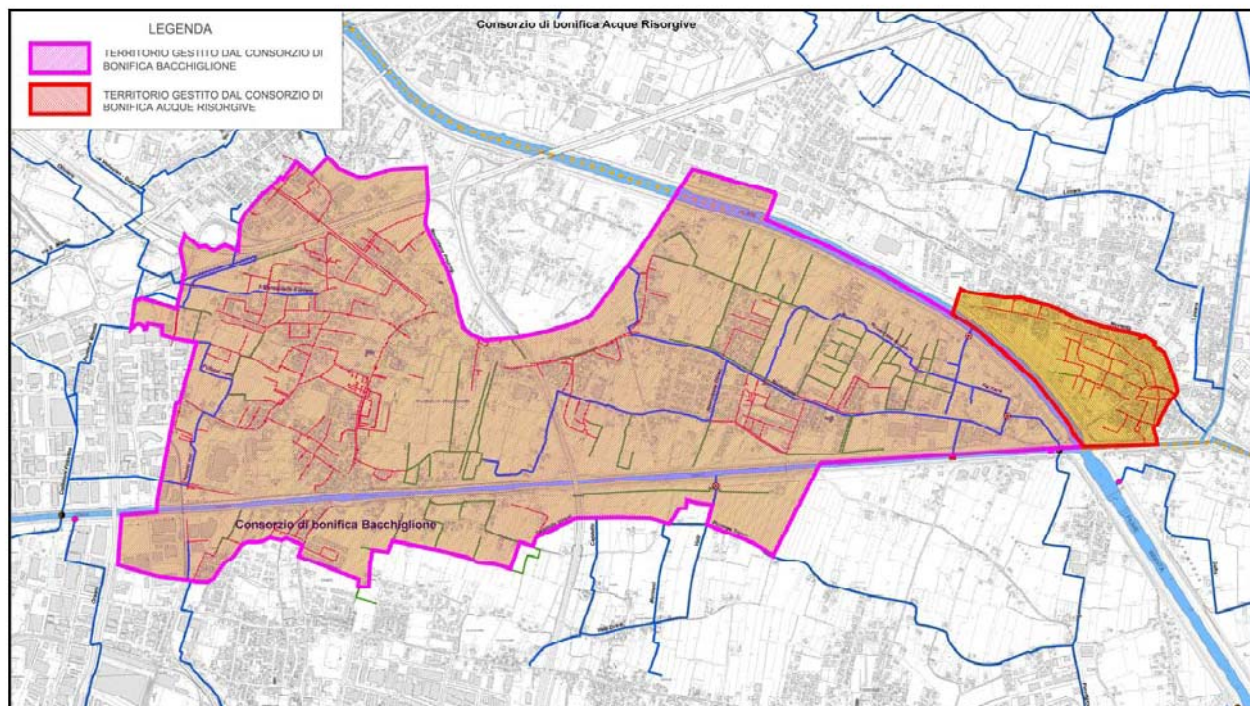


Figura 2-3: Competenza dei Consorzi di Bonifica sulla rete idrografica consortile.

Oltre agli scoli consortili dei rispettivi Consorzi, la rete idrografica superficiale è formata da una serie di corsi d'acqua minori che, a seconda della loro ubicazione, sono gestiti e mantenuti in efficienza idraulica dal Comune (fossi lungo le strade comunali), dalla Provincia (fossi lungo le strade provinciali) e dai privati (fossi a confine tra proprietà private).

Il territorio comunale di Noventa Padovana appartiene ai seguenti bacini idrografici:

- Consorzio Bacchiglione
 - o Bacino Fossetta, in parte a scolo naturale ed in a parte a sollevamento meccanico;
 - o Bacino Noventana, in parte a sollevamento meccanico e in parte a scolo naturale;
 - o Bacino Fornaci, a sollevamento meccanico;
 - o Bacino Valli di Camin, a sollevamento meccanico;
 - o Bacino Idrovia, a scolo alternato;
- Consorzio Acque Risorgive
 - o Bacino Noventa, a scolo naturale.

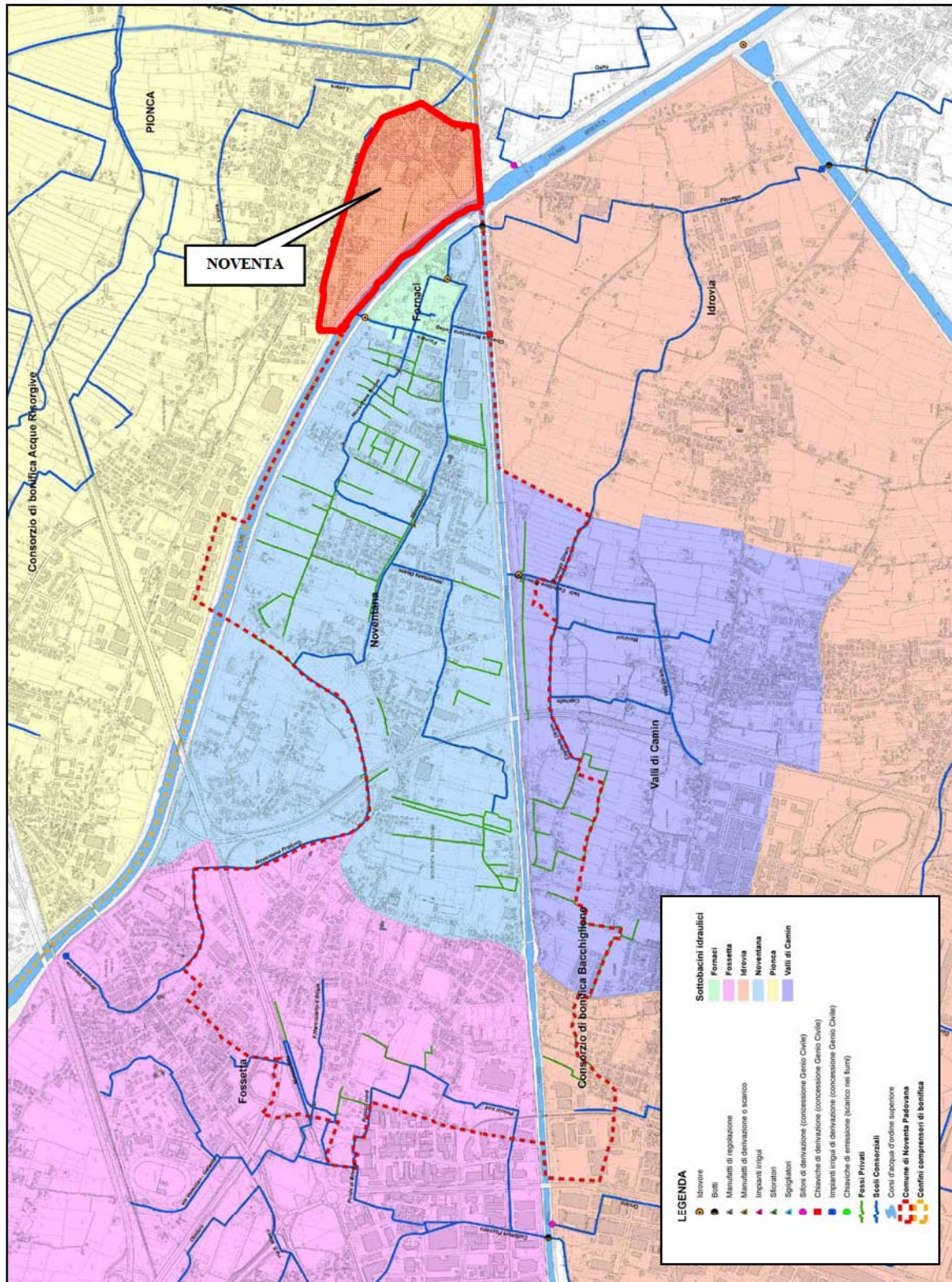


Figura 2-4: Carta dei Bacini Idrografici.

Si descrivono di seguito le caratteristiche principali dei bacini che interessano il territorio comunale di Noventa Padovana.

Bacino Fossetta:

Il Bacino Fossetta assieme ai Bacini Montà Portello Superiore (o di Limena) e di Montà Brusegana costituisce il Bacino Montà Portello. Il Bacino Montà Portello Superiore scola naturalmente nel Fiume Brenta attraverso la chiavica “Zaguri” e in parte in “Brentella” tramite la chiavica “Ponterotto”. Il Bacino Montà Brusegana scola, invece, in parte a cadente naturale e in parte a seguito di sollevamento meccanico nel “Tronco Maestro Piovego”.

il Bacino Fossetta, che a differenza dei precedenti interessa il territorio comunale, scola le proprie acque in parte a cadente naturale ed in parte a seguito di sollevamento meccanico. Esso è caratterizzato dalla presenza dell’omonimo collettore il quale dopo aver raccolto tutte le acque provenienti dalla zona a nord di Padova, del centro di Noventa Padovana e di parte della zona industriale di Noventa Padovana, si immette nel canale “Roncajette” dopo aver sottopassato, mediante botte a sifone, il Canale Piovego. Tale botte a sifone è realizzata con due canne aventi sezioni all’imbocco ed all’uscita di 2,87x2,57m e nel tratto centrale di 2,36x1,02m di lunghezza complessiva pari a 70 m. La portata massima che può transitare con una perdita di carico accettabile, dell’ordine dei 40 cm, è stimata attorno ai 10 m³/s (fonte: Università degli Studi di Padova – Centro Internazionale di Idrologia “Dino Tonini” Monselice-Padova, Ottobre 1998: *“Implementazione Numerica di un Modello Matematico-Idrologico dei Bacini Idrografici del Territorio Nord-Occidentale del Comune di Padova”*).

Fino alla realizzazione dell’impianto di sollevamento di “Cà Nordio” i livelli del “Roncajette” erano legati ai livelli del Bacchiglione. L’impianto oggi garantisce lo scarico finale delle acque del “Collettore Fossetta” indipendentemente dalle condizioni del Bacchiglione.

A seguito della realizzazione del canale “Scolmatore Fossetta” (due canne di sezione 2,90x2,45m) parte delle acque del Bacino Fossetta possono venire sollevate in Piovego attraverso l’idrovora “San Lazzaro”.

L’idrovora “San Lazzaro” presenta le seguenti caratteristiche principali:

- portata complessiva sollevabile: 15,00 m³/s;
- pompe n. 4 (2 da 5,00 m³/s, 2 da 2,50 m³/s);
- corpo idrico ricettore Canale Piovego;
- quote di attacco: da +7,40 a +7,55 m s.m.m;
- quote di stacco: da +6,95 a +7,10 m s.m.m.

I principali scoli afferenti, in sinistra idrografica, al Bacino Fossetta ricadenti nel territorio comunale sono:

- il “Fosso Maresciallo” che con sviluppo est-ovest si immette nello scolo “Ponte di Brenta”, affluente in sinistra al Bacino Fossetta;
- le “Diramazioni Fosso Maresciallo I e II” affluenti del “Fosso Maresciallo”;
- il “Fosso Polazzi Nord” ed il “Fosso Polazzi Sud” affluenti in sinistra del Bacino Fossetta e recapito di parte della rete tubata di Noventa Padovana.

Bacino Noventana:

Il Bacino Noventana, presenta un deflusso in parte di tipo meccanico, e in parte di tipo naturale. E' confinato tra il Canale Piovego, a sud, il Fiume Brenta ed il Bacino Fornaci, a nord e ad est, ed il Bacino Fossetta, a ovest.

Il principale collettore del Bacino Noventana è lo scolo “Noventana” il quale nasce in prossimità dello svincolo autostradale A4-A13, come “Prolungamento Noventana”, e dopo aver attraversato il territorio comunale per circa 5 km esce dal territorio comunale sottopassando in botte a sifone il Canale Piovego dopo averlo attraversato per circa 5 km, sottopassando in botte a sifone (dimensioni 1,60x1,20m) il Canale Piovego.

I principali affluenti dello scolo Noventana sono:

- lo scolo “Noventana Diramazione” che nasce nei pressi di villa Gemma e percorre il territorio comunale nella zona a nord del Canale Piovego. Inizialmente drena le acque di una area agricola e dopo aver sottopassato l’autostrada Padova-Bologna si affianca a via Collini e ne raccoglie le acque fino all’immissione nello scolo “Noventana”;
- lo scolo “Chiavica Noventana Collegamento” che congiunge il Canale Piovego allo scolo “Noventana” attraverso una chiavica sul Piovego stesso, denominata “Chiavica Trenta”.

Lo scolo “Noventana”, soprattutto nella sezione terminale, fino a poco tempo fa era caratterizzato da esondazioni di rilevante entità. Per tale motivo il Consorzio di Bonifica Bacchiglione ha provveduto alla realizzazione di un nuovo scolo, denominato “Noventana Nuovo”, e di nuovo impianto idrovoro, l’idrovora “Noventana” a servizio dello stesso.

Il nuovo canale si sviluppa per una lunghezza di circa 1650 m nella zona compresa tra il Fiume Brenta e lo scolo “Noventana” e drena le acque della porzione nord-est del bacino. In caso di necessità, inoltre, funge da scolmatore dello scolo “Noventana”. Le acque raccolte sono convogliate all’impianto idrovoro “Noventana” caratterizzato come segue:

- portata complessiva sollevabile: 2,00 m³/s;
- pompe n. 2 (1 da 1,50 m³/s, 1 da 0,50 m³/s);
- corpo idrico ricettore Fiume Brenta;
- quote di attacco: da +6,00 a +6,10 m s.m.m.;
- quote di stacco: +5,70 m s.m.m.

Bacino Fornaci:

Il Bacino Fornaci con un’estensione di circa 16 ettari è solcato dal collettore “Fornace” che nasce nei pressi della vecchia fornace e scarica le acque raccolte allo scolo “Noventana” attraverso un impianto di sollevamento.

L’idrovora “Fornaci” presenta le seguenti caratteristiche principali:

- portata complessiva sollevabile: 0,30 m³/s;
- pompe n. 2 (ciascuna da 0,15 m³/s);
- corpo idrico ricettore scolo “Noventana”;
- quote di attacco: da +5,90 a +5,95 m s.m.m.;
- quote di stacco: +5,75 m s.m.m.

Attualmente lo scolo “Fornace” risulta collegato a monte con lo scolo “Noventana Nuovo” cosicché le acque vengano per lo più recapitate all’impianto “Noventana” riducendo i tempi di funzionamento dell’impianto “Fornaci”.

Bacino Valli di Camin:

Il Bacino Valli di Camin, sito a sud del Canale Piovego, è caratterizzato da un deflusso di tipo meccanico dovuto alla presenza dell’omonima idrovora.

All’epoca della sua realizzazione, nel 1975, l’idrovora “Valli di Camin” era in grado di sollevare nel Canale Piovego portate fino a 1 m³/s. Nel 1993, a seguito dell’ultimazione dei lavori di

riassetto idraulico del bacino, la rete scolante è stata notevolmente potenziata portando la capacità di sollevamento alla portata massima attuale di 3 m³/s.

L'impianto è posizionato al termine dello scolo "Collettore Principale" che collega lo scolo "Capitello" al Canale Piovego attraverso la suddetta idrovora.

L'idrovora "Valli di Camin" presenta, pertanto, le seguenti caratteristiche principali:

- portata complessiva sollevabile: 3,00 m³/s;
- pompe n. 2 (ciascuna da 1,50 m³/s);
- corpo idrico ricettore Canale Piovego;
- quote di attacco: da +7,00 a +7,05 m s.m.m.;
- quote di stacco: da +6,60 a +6,65 m s.m.m.;

Costituiscono il Bacino Camin:

- lo scolo "Capitello" che nasce in via delle Valli, a Valli di Camin, e si immette nel "Collettore Principale";
- lo scolo "Capitello Diramazione", che nasce nei pressi di via Lombardia e si immette nello scolo "Capitello";
- lo scolo "Manzoni" che nasce anch'esso in via delle Valli e si immette in destra idrografica nello scolo "Capitello";
- lo scolo "Valli" che ha origine sempre in via delle Valli ed immette le proprie acque in corrispondenza della confluenza tra gli scoli "Capitello" e "Collettore Principale";
- dal nodo idraulico tra gli scoli "Capitello", "Collettore Principale" e "Valli" nasce lo scolo "Diramazione Piovego" che prosegue verso sud-est lungo il confine comunale prima di abbandonare il territorio di Noventa Padovana.

Bacino Idrovia:

Il Bacino Idrovia, come il Bacino Valli di Camin, è sito a sud del Canale Piovego e interessa marginalmente il territorio comunale. I livelli dell'Idrovia sono regolati con scarico a scolo alternato nel fiume Brenta a Vigonovo tramite manufatti dotati di paratoie e da un impianto di sollevamento della portata complessiva di 3000 l/s.

Principalmente sono due i collettori del Bacino Idrovia che interessano il comune di Noventa Padovana:

- lo scolo "Camin", che nasce nei pressi di via Panà e si immette nello scolo "Orsaro" che si sviluppa tra Noventa Padovana e Padova;

- lo scolo “Piovego Diramazione” che, come anticipato, nasce nel nodo idraulico costituito con gli scoli “Capitello”, “Collettore Principale e “Valli” e prosegue verso sud-est lungo il confine comunale prima di abbandonare il territorio di Noventa Padovana ed addentrarsi nel comune di Vigonovo, sino alla confluenza con lo scolo “Piovego”.

Lo scolo “Orsaro” riversa le proprie acque dapprima nello scolo “Cornio di Villatora” ed in seguito, sottopassando il Canale Idrovia mediante il manufatto “Botte Cornio di Villatora”, nello scolo “Cornio di Celeseo”. Lo scolo “Piovego”, invece, scarica direttamente nello scolo “Cornio di Celeseo” dopo aver sottopassato il Canale Idrovia grazie alla “Botte Piovego”.

Bacino Noventa:

Il territorio comunale a nord, al confine con il comune di Stra, è interessato dallo scolo “Noventa” che raccogliendo le acque di un territorio di circa 44 ettari, sviluppatasi per lo più in comune di Noventa Padovana, scarica le proprie acque in modo libero nel canale “Veraro” alla confluenza con il Naviglio Brenta.

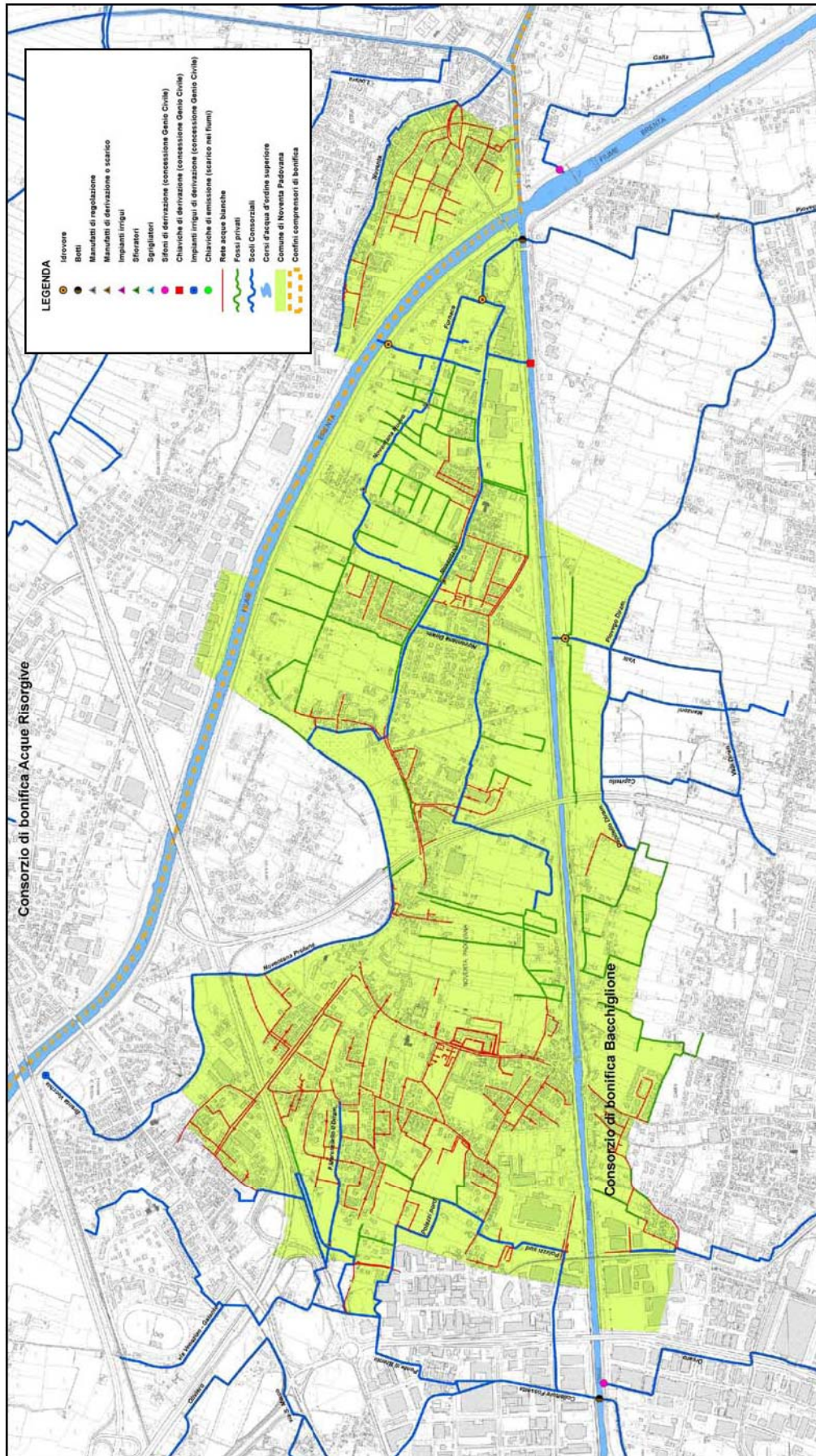


Figura 2-5: Inquadramento rete principale.

3 VERIFICA DELLA RETE SCOLANTE

3.1 GENERALITÀ

Sulla base delle conoscenze acquisite mediante l'analisi della documentazione esistente e i rilievi in campo effettuati, è stato possibile simulare, a mezzo di opportuni strumenti matematici, il funzionamento delle reti idriche a cielo aperto e tubate.

Tali analisi permettono di definire scientificamente le aree di criticità idraulica e le cause che le generano.

Inoltre lo strumento implementato permette di simulare il comportamento della rete idrica negli scenari futuri con la realizzazione di interventi per la mitigazione idraulica delle sofferenze.

3.2 DESCRIZIONE DELLA MODELLAZIONE IDRAULICA

Per la simulazione idraulica delle reti si è utilizzato il modello EPA SWMM 5.0.022, che risolvendo le equazioni di De Saint Venant a moto vario, consente di verificare il comportamento dei canali e delle condotte a seguito di un evento pluviometrico di progetto.

A tal scopo la rete è stata schematizzata come una sequenza di nodi e tronchi.

Le caratteristiche geometriche dei canali sono state ricavate dai sopralluoghi e dai rilievi topografici compiuti in campagna mediante strumento GPS. Gli stessi hanno permesso di assegnare quote e sezioni trasversali medie agli elementi della schematizzazione matematica.

I bacini imbriferi afferenti ai diversi tronchi e nodi della rete sono stati anch'essi schematizzati, caratterizzandoli in base alla forma, alle dimensioni, alla percentuale di territorio urbanizzato ed alla tipologia del suolo.

Per la trattazione teorica del modello utilizzato si rimanda all'appendice.

Per le simulazioni, e per una maggiore facilità di interpretazione dei risultati è stato implementato un unico modello matematico; non si esclude, comunque, la possibilità di separare il modello in funzione della competenza. Infatti si potrebbero implementare due distinti modelli: il primo considerando i bacini imbriferi, la rete idraulica, nonché il territorio, sito in destra idrografica del Fiume Brenta, gestito dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione ed il secondo, posto in sinistra idrografica del Brenta, competente al Consorzio di Bonifica Acque Risorgive.

3.3 DEFINIZIONE DELL'EVENTO PLUVIOMETRICO DI PROGETTO

Per ciò che attiene alla valutazione degli eventi pluviometrici estremi, a seguito della precipitazione calamitosa del 26.09.2007, nel Settembre 2008, il Commissario Delegato per l'Emergenza concernente gli eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto (OPCM n. 3621 del 18.10.2007), ha definito le nuove curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento nel territorio.

Il territorio oggetto di studio per ciò che attiene alla pluviometria, può essere suddiviso in una unica zona omogenea dal punto di vista delle precipitazioni:

- Zona Sud-Occidentale (SW): comuni di Noventa Padovana, Padova, Vigonovo, Vigonza.

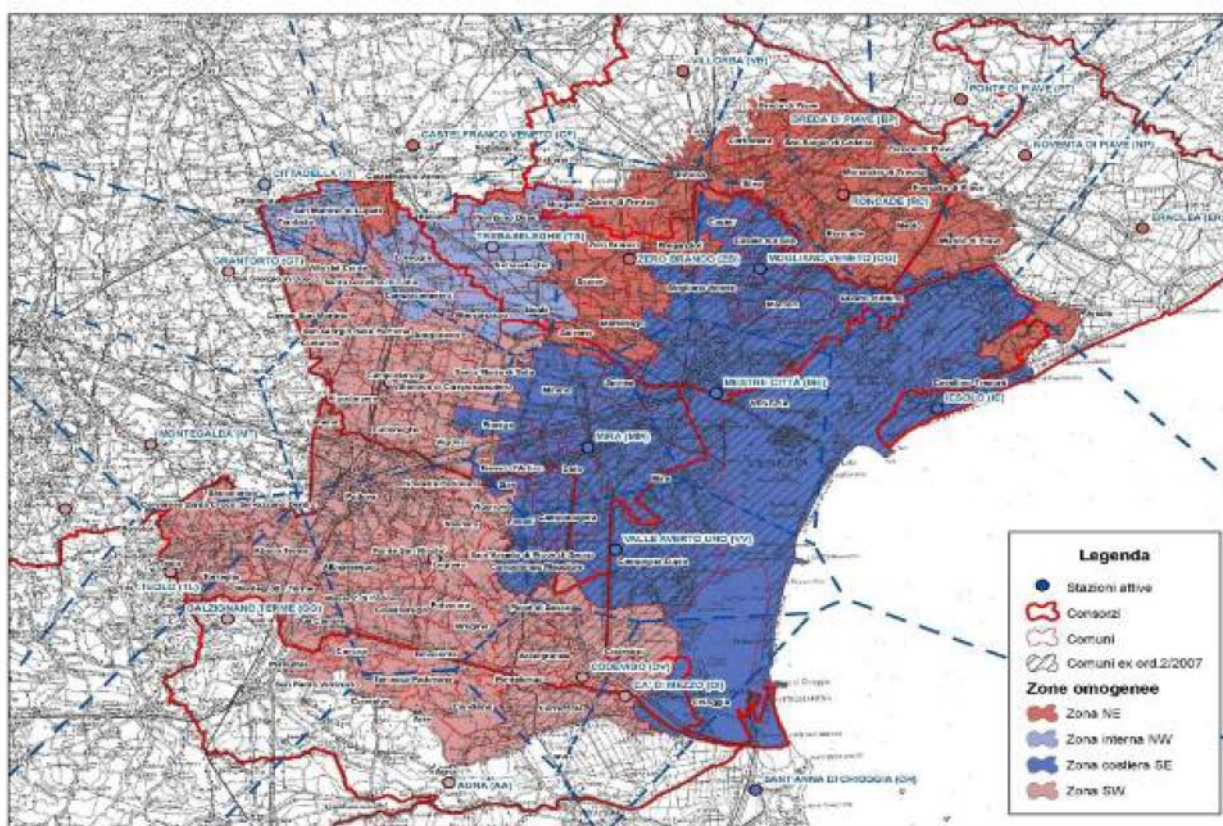


Figura 3-1: Zone omogenee di precipitazione (Analisi Regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento - Commissario Delegato per l'Emergenza concernente gli eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto (OPCM n. 3621 del 18.10.2007).

Per il territorio in esame la curva è:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t \quad \text{con } t \text{ in minuti}$$

dove, numericamente si ha:

Zona SW:

Tr	a	b	c
5 anni	27,4	12,1	0,839
10 anni	31,6	12,9	0,834
20 anni	35,2	13,6	0,827
50 anni	39,5	14,5	0,817

Per la definizione del rischio idraulico del territorio si sono indagati due eventi meteorologici correlati ad un tempo di ritorno di 20 anni e durata di 1 e 3 ore.

La precipitazione di 1 ora risulta infatti critica per i sistemi tubati ed i sottobacini di piccole dimensioni mentre la precipitazione intermedia di 3 ore risulta critica per i bacini di media estensione. Non sono indagate precipitazioni di durata maggiore in quanto i territori non contribuirebbero in modo significativo alla formazione di portate considerevoli e dannose per la rete.

Utilizzando le curve di possibilità pluviometrica estrapolate dagli studi statistici eseguiti dal Commissario Delegato per l’Emergenza concernente gli eventi meteorologici che hanno colpito parte del territorio della Regione Veneto nel Settembre 2007, si ottengono i seguenti valori:

Bacino	Altezza di pioggia (mm) con durata 1 ora	Altezza di pioggia (mm) con durata 3 ore
Sud - Ovest	60,37	81,39

Bacino	Intensità di pioggia (mm/h) con durata 1 ora	Intensità di pioggia (mm/h) con durata 3 ore
Sud - Ovest	60,37	27,13

Infine si è assegnata una precipitazione di 5 mm/ora per le 3 ore precedenti l’evento in modo da simulare una condizione di saturazione del terreno prima del verificarsi della precipitazione critica.

3.4 LA MODELLAZIONE DEL TERRITORIO

Per la modellazione matematica della rete si è implementato un unico modello che ha previsto la modellazione dei seguenti scoli tombinati e a cielo aperto, degli impianti di sollevamento e di altri manufatti gestiti dal Consorzio di Bonifica Bacchiglione, quali:

“Canale Scolmatore”, “Collettore Fossetta”, “Ponte di Brenta”, “Polazzi Nord”, “Polazzi Sud”, “Fosso Maresciallo”, “Fosso Maresciallo I° Diramazione”, “Fosso Maresciallo II° Diramazione”, “Noventana Prolungamento”, “Noventana”, “Noventana Diramazione”, “Noventana Nuovo”, “Noventana Collegamento”, “Fornace”, “Fornace I° Diramazione”, “Piovego”, “Piovego Diramazione”, “Camin”, “Capitello”, “Capitello Diramazione”, “Collettore Principale”, idrovora “San Lazzaro”, idrovora “Noventana”, idrovora “Fornaci”, idrovora “Valli di Camin”, botte a sifone “Noventana”.

Per quanto riguarda ciò che compete al Consorzio di Bonifica Acque Risorgive è stato modellato lo scolo “Noventa”.

Il modello è stato completato con la schematizzazione dei principali fossi privati e della rete di collettori per la raccolta delle acque bianche.

3.5 DISCRETIZZAZIONE MATEMATICA DELLA RETE IDROGRAFICA

Complessivamente sono stati schematizzazione in 656 nodi, 660 tronchi, 14 scarichi e 10 pompe di sollevamento.

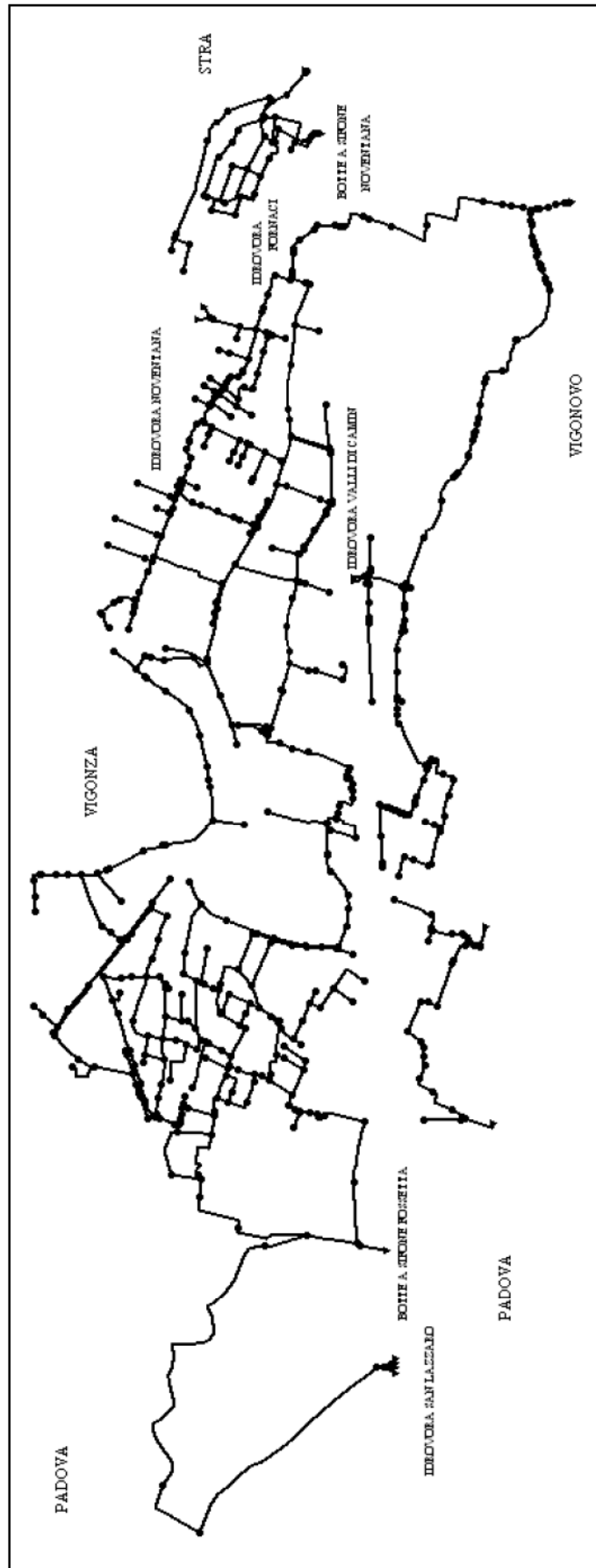


Figura 3-2: Schematizzazione della rete di calcolo.

3.6 INDIVIDUAZIONE BACINI IMBRIFERI

Si definisce bacino idrografico o bacino tributario apparente, l'entità geografica costituita dalla superficie scolante sottesa ad una sezione trasversale di un corso d'acqua. Nel linguaggio tecnico dell'idraulica fluviale la corrispondenza biunivoca che esiste tra sezione trasversale e bacino idrografico si esprime affermando che la sezione "sottende" il bacino, mentre il bacino idrografico "è sotteso" alla sezione. L'aggettivo "apparente" si riferisce alla circostanza che il bacino viene determinato individuando, sulla superficie terrestre, lo spartiacque superficiale senza tenere conto che particolari formazioni geologiche potrebbero provocare in profondità il passaggio di volumi idrici da un bacino all'altro.

In maniera molto efficace Puglisi ha definito il bacino idrografico "come il luogo dei punti da cui le acque superficiali di provenienza meteorica ruscellano verso il medesimo collettore". In altri termini il bacino idrografico è l'unità fisiografica che raccoglie i deflussi superficiali, originati dalle precipitazioni che si abbattano sul bacino stesso, che trovano recapito nel corso d'acqua naturale e nei suoi diversi affluenti.

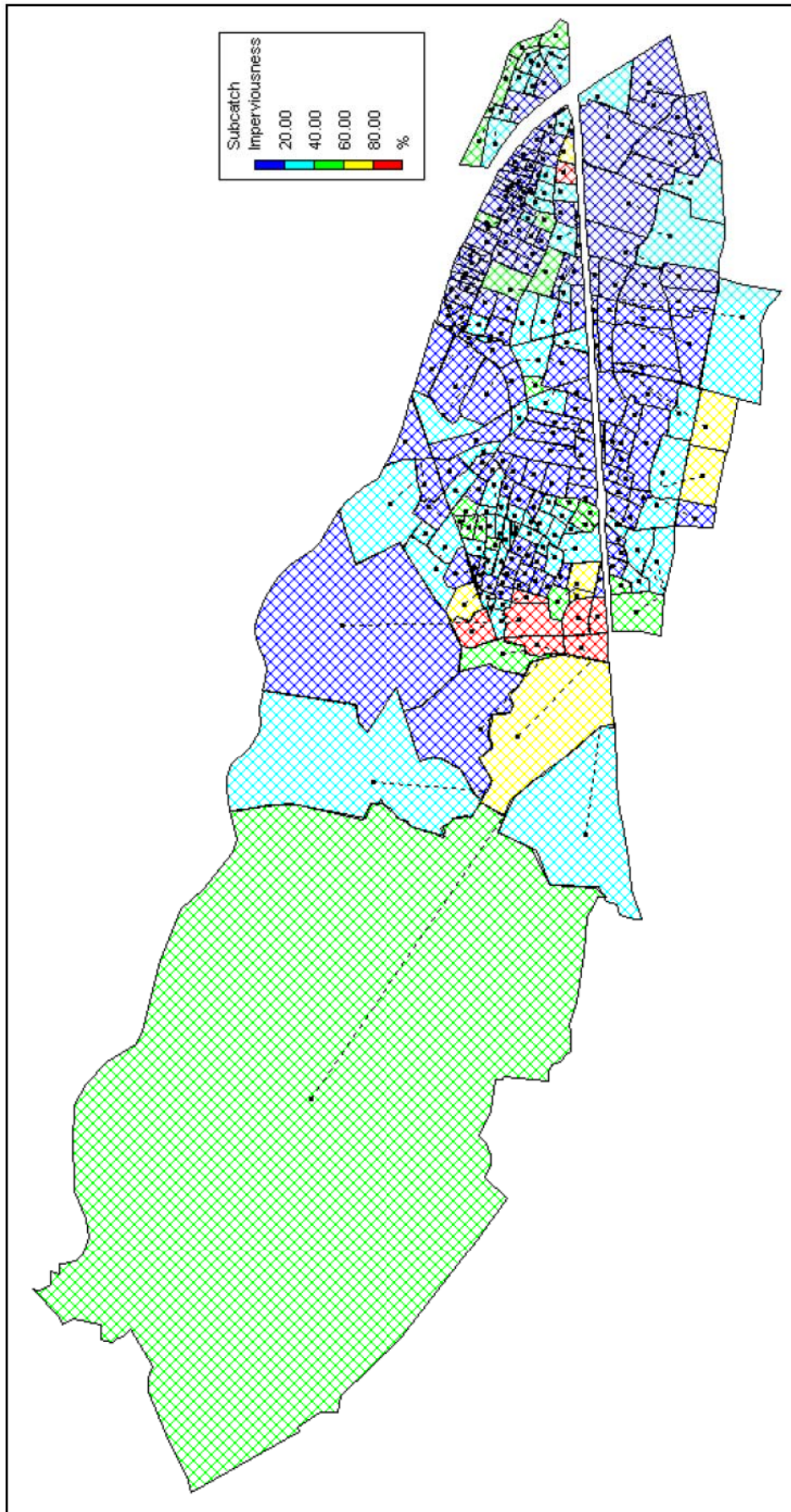


Figura 3-3: Schematizzazione bacini imbriferi di calcolo.

Come si può osservare, a ciascun bacino è stato associato un grado di impermeabilità legato alla configurazione del territorio e alla presenza o meno di zone impermeabili quali strade, piazzali dipendenti dal locale uso del suolo.

In generale il territorio in esame presenta un'importante urbanizzazione concentrata, in particolare modo, in corrispondenza dei centri abitati di Noventa Padovana e, in parte, di Padova e della zona industriale. In queste aree si riscontra un'impermeabilizzazione variabile tra 21 e 80%.

La restante parte del territorio è, comunque, a carattere agricolo e quindi presenta una ridotta percentuale di impermeabilizzazione (variabile tra 3 e 20%).

3.7 PARAMETRI IDRAULICI DI SIMULAZIONE E CONDIZIONI AL CONTORNO

I principali parametri di simulazione idraulica utilizzati sono i seguenti:

- Scabrezza canali/fossati: $0,033 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Scabrezza tubazioni: $0,016 \text{ s/m}^{(1/3)}$;
- Coefficiente di perdita di carico imbocco+sbocco tombinamenti: 0,5 – 1,0;
- Costante decadimento Horton: 4;
- Invasi superficiali aree pavimentate: (3÷32) mm, per la maggior parte dei bacini imbriferi si è utilizzato un vaso superficiale di 3 mm;
- Invasi superficiali aree permeabili: (15÷50) mm, per la maggior parte dei bacini imbriferi si è utilizzato un vaso superficiale di 25 mm;

Come condizioni al contorno si è assunto:

- livello di piena del Naviglio Brenta pari a 6,80 m s.m.m.;
- livello di piena del Fiume Brenta pari a 13,80 m s.m.m.;
- livello di piena del Canale Piovego pari a 13,00 m s.m.m.;
- Portata massima transitante su Botte a Sifone Fossetta pari a $10,00 \text{ m}^3/\text{s}$.

Oltre a queste condizioni è stato necessario riprodurre il contributo dato dal Bacino Fossetta in corrispondenza agli eventi pluviometrici analizzati. Noventa Padovana infatti si sviluppa nel tratto terminale di detto bacino e risente pertanto del contributo totale dello stesso. Per schematizzare i parametri di un bacino che si sviluppa ampiamente all'esterno del territorio comunale si è fatto riferimento allo studio dell'Università degli Studi di Padova – Centro Internazionale di Idrologia “Dino Tonini” Monselice-Padova, Ottobre 1998: “*Implementazione*

Numerica di un Modello Matematico-Idrologico dei Bacini Idrografici del Territorio Nord-Occidentale del Comune di Padova". In tale trattazione sono stati infatti ricostruiti gli idrogrammi generati da ciascun sottobacino appartenente al Bacino Fossetta. Si è scelto quindi di definire i parametri di ciascun sottobacino, esterno al territorio comunale, in modo da riprodurre gli idrogrammi del citato studio.

La figura successiva riporta gli idrogrammi utilizzati per la taratura. Ai bacini è stato poi applicato l'evento di progetto.

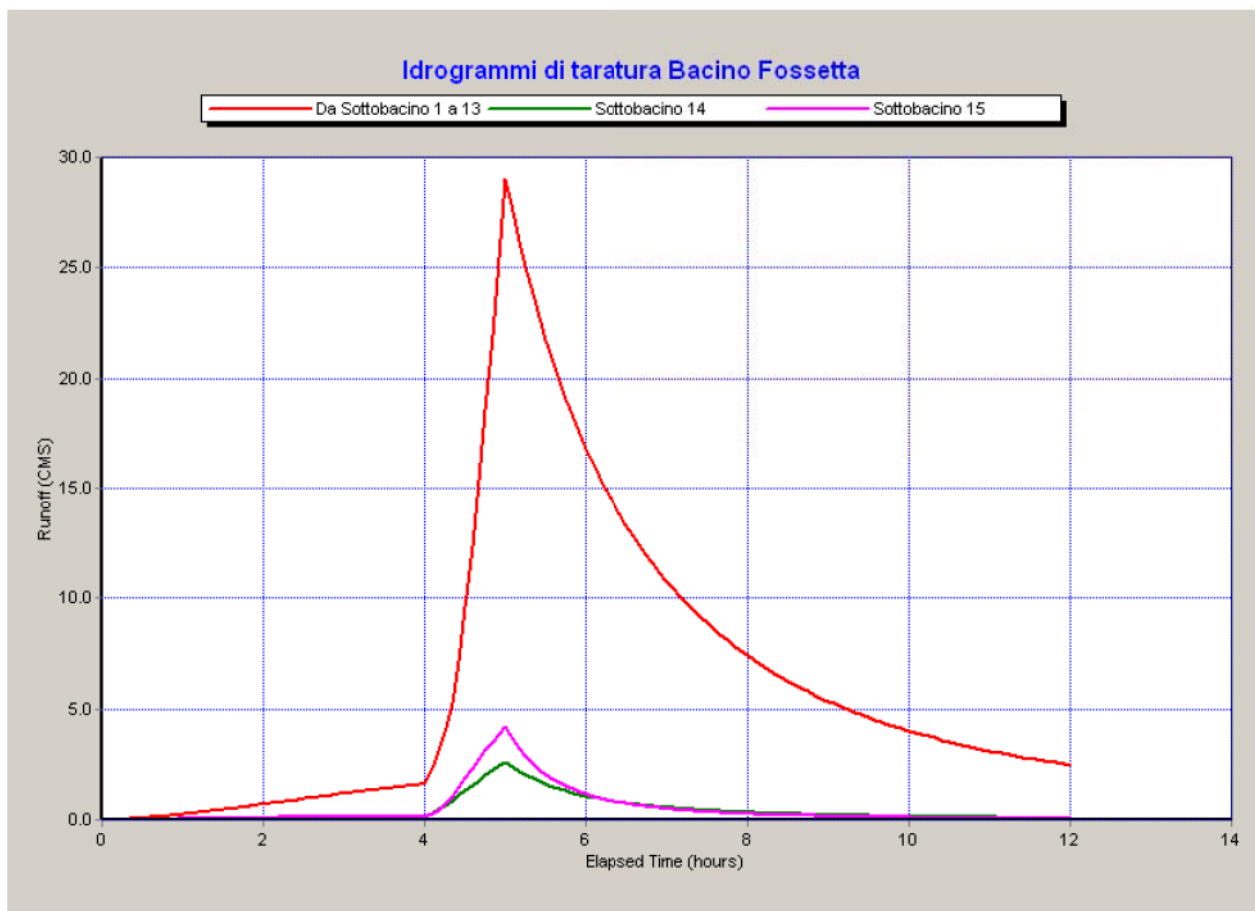


Figura 3-4: Idrogrammi di taratura Bacino Fossetta; studio di riferimento: “Implementazione Numerica di un Modello Matematico-Idrologico dei Bacini Idrografici del Territorio Nord-Occidentale del Comune di Padova”.

Per la definizione dei parametri di Horton da introdurre al fine di modellare la filtrazione si è fatto riferimento a dati di letteratura che definiscono i parametri in base al tipo di suolo presente. Considerando la definizione ASCE si individuano 4 gruppi di suoli:

- **Gruppo A:** terreni con scarsa potenzialità di deflusso; comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla, ghiaie profonde;

- **Gruppo B:** terreni con potenzialità di deflusso moderatamente bassa; comprende suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A; il gruppo ha alta capacità di infiltrazione anche a saturazione;
- **Gruppo C:** terreni con potenzialità di deflusso moderatamente alta; comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione;
- **Gruppo D:** terreni con potenzialità di deflusso molto alta; comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento e suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Secondo la classificazione riportata nel modello *ILLUDAS* a ciascun suolo è possibile assegnare i parametri riportati nella seguente tabella:

Tipo di suolo	f_0 (mmh ⁻¹)	f_c (mmh ⁻¹)	k (h ⁻¹)
Gruppo A	250	25.4	2
Gruppo B	200	12.7	2
Gruppo C	125	6.3	2
Gruppo D	76	2.5	2

Figura 3-5: Parametri della formula di Horton secondo il modello *ILLUDAS*.

Il territorio di Noventa Padovana a livello pedologico, secondo la carta dei suoli del bacino scolante in Laguna di Venezia, appartiene al distretto della pianura alluvionale del Fiume Brenta, a sedimenti fortemente calcarei (B). Esso è caratterizzato da una mediocre permeabilità e terreni costituiti prevalentemente da limi e sabbie (CPC1 e CPC1/PNG1 – colore azzurro chiaro, PDS1 e PDS1/COD1- colore azzurro scuro).

Dalla seguente analisi emerge che il suolo di Noventa Padovana, secondo il modello *ILLUDAS*, è compreso tra il Gruppo B ed il Gruppo C.

I valori assunti nella modellazione sono riportati nella tabella di seguito riportata:

Tipologia terreno	f_0 (mm/h)	f_c (mm/h)	d_s (mm)
GRUPPO B/C	180	10	4

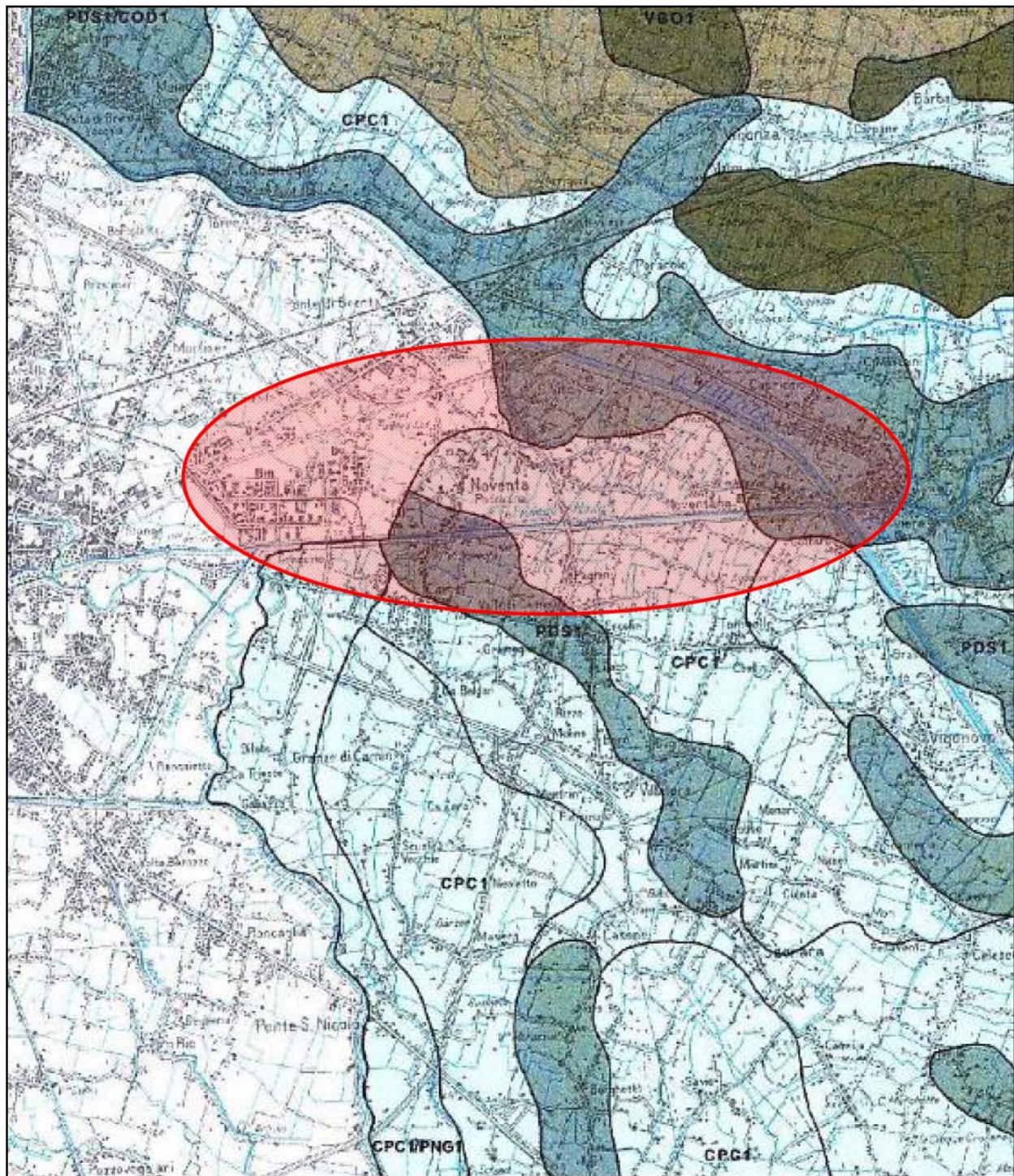


Figura 3-6: Estratto della Carta dei Suoli del bacino sciolante in Laguna di Venezia con evidenziato il territorio di Noventa Padovana.

3.8 I RISULTATI DELLE SIMULAZIONI ALLO STATO DI FATTO E DEFINIZIONE DELLE CRITICITÀ

Dall'analisi delle simulazioni matematiche condotte sono emerse diverse criticità concentrante sia lungo gli scoli superficiali che nelle fognature dei centri abitati.

Il confronto dei risultati del modello con le aree effettivamente allagate (segnalate dal comune e dai consorzi come zone critiche) ha permesso di evidenziare una buona corrispondenza tra i valori matematici del modello e gli eventi accaduti nel passato.

In seguito si descrivono i risultati delle simulazioni eseguite considerando eventi di durata pari rispettivamente ad 1 ora e 3 ore ed il cui tempo di ritorno, ovvero la frequenza media di accadimento, è pari a 20 anni.

3.8.1 SIMULAZIONE CON TEMPO DI PIOGGIA PARI AD 1 ORA

La modellazione della rete idrografica afferente il territorio di Noventa Padovana, nel caso di precipitazioni di durata pari ad 1 ora, ha evidenziato le seguenti problematiche:

- Il sistema idrografico in esame comincia a manifestare criticità dopo circa 15 minuti dall'inizio dell'evento meteorico soprattutto in via Torquato Tasso, via Giosuè Carducci, via Pietro Micca, via XXV Aprile, via Salata e nella zona a monte dello scolo "Noventa".
- Con lo scorrere del tempo i fenomeni vanno ad aggravarsi raggiungendo il colmo ad 1 ora dall'inizio dell'evento. Le insufficienze della rete si manifestano prevalentemente nei collettori fognari dei centri abitati di Noventa Padovana e di Oltre Brenta ed in corrispondenza dei tombinamenti degli scoli "**Ponte di Brenta**", "**Polazzi Nord**", "**Polazzi Sud**", "**Maresciallo I° Diramazione**", "**Maresciallo II° Diramazione**" e "**Noventa**". Un'altra importante criticità, si riscontra in corrispondenza del confine comunale nord, con esondazioni dello scolo "**Noventana Prolungamento**". Infine alcuni problemi localizzati si hanno lungo alcuni fossi privati con esondazioni nelle aree più depresse.

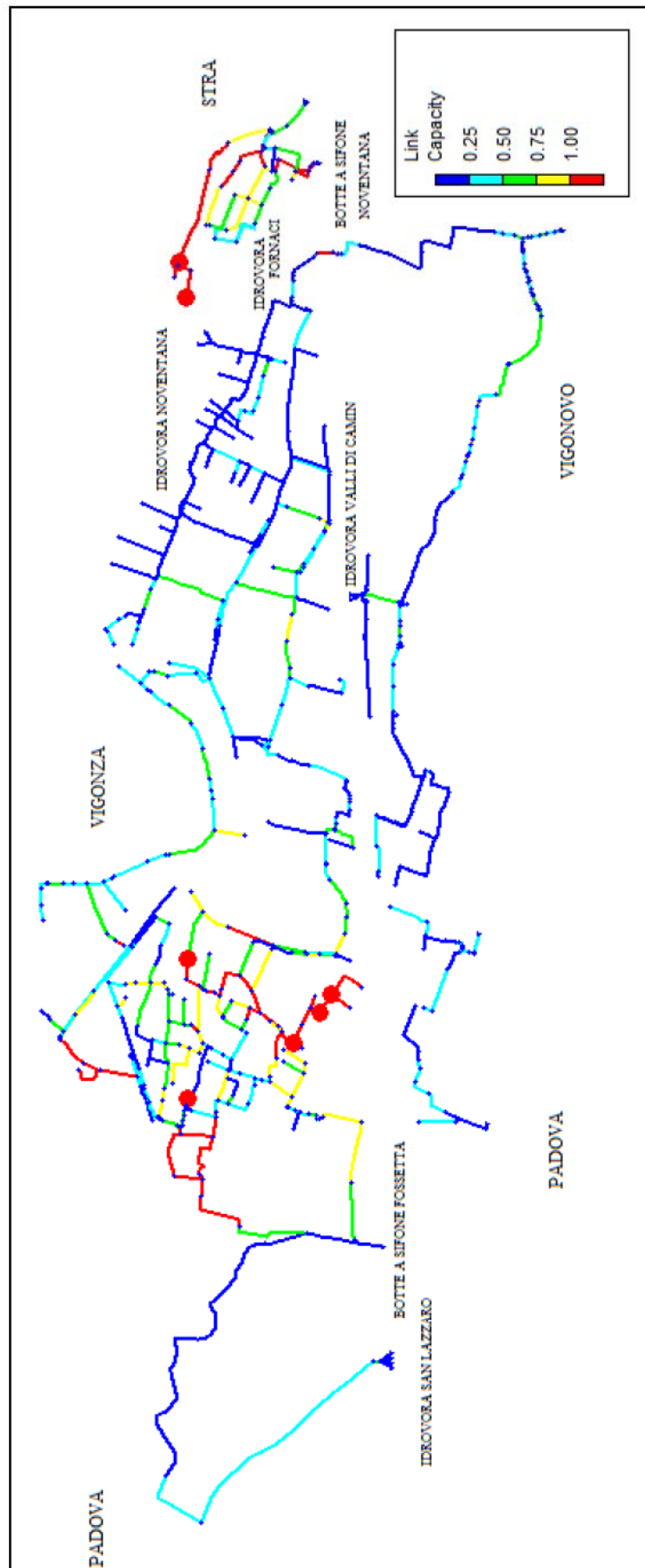


Figura 3-7: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 15 minuti dall'inizio dell'evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

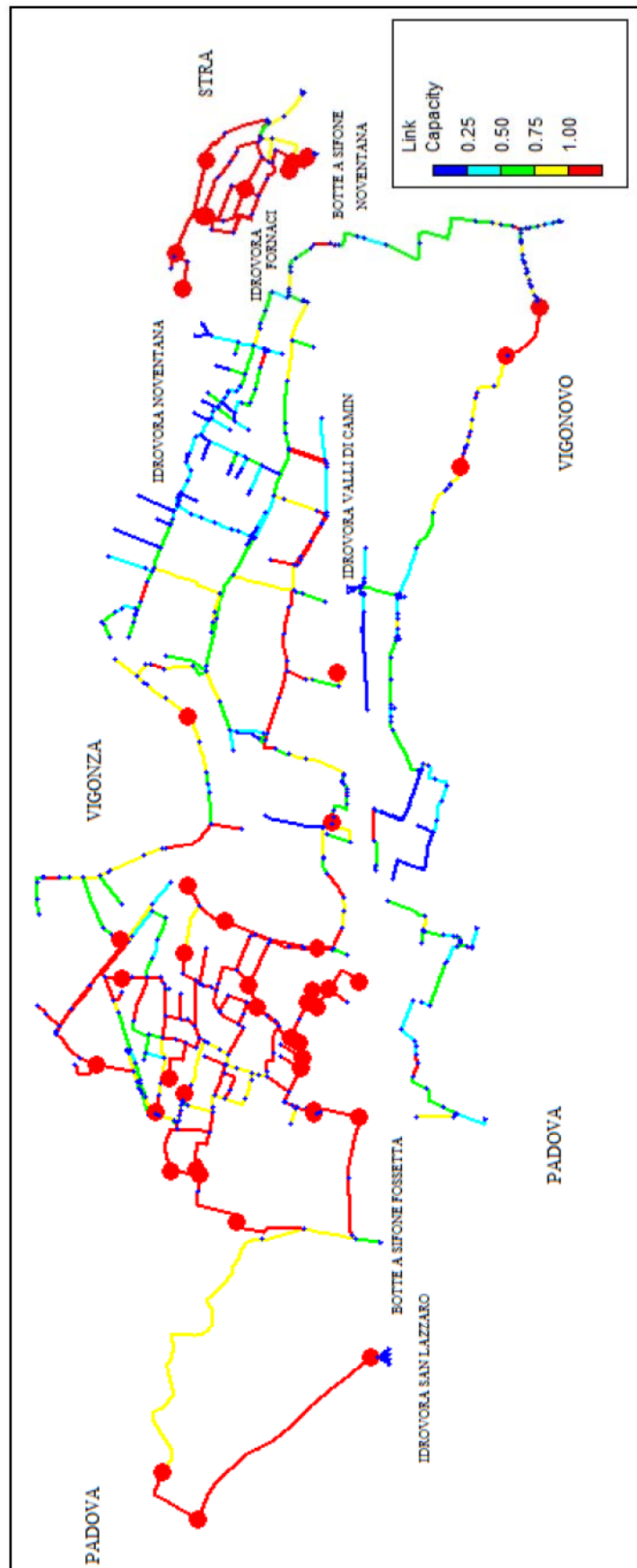


Figura 3-8: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 60 minuti dall'inizio dell'evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

3.8.2 SIMULAZIONE CON TEMPO DI PIOGGIA PARI A 3 ORE

Nel caso di precipitazioni di durata pari a 3 ore, si sono evidenziate le seguenti problematiche:

- Il sistema idrografico in esame comincia a manifestare criticità dopo circa 15 minuti dall'inizio dell'evento meteorico in via Pietro Micca.
- Con lo scorrere del tempo i fenomeni vanno ad aggravarsi; in particolare:
 - ad 1 ora dall'inizio dell'evento si manifestano criticità, oltre che in via Pietro Micca, in via Torquato Tasso, via Salata, via Montegrappa, via Argine Sinistro Brenta, via Baracca ed in corrispondenza dei tombinamenti degli scoli **“Ponte di Brenta”**, **“Maresciallo II° Diramazione”** e **“Noventa”**.
 - a 2 ore si registrano ulteriori problemi in via Cappello, via XXV Aprile negli scoli **“Maresciallo I° Diramazione”**, **“Noventana Prolungamento”**.
- Il colmo delle criticità si raggiungono a 3 ore dall'inizio dell'evento. Le insufficienze della rete si manifestano, come per l'evento di 1 ora, nei collettori fognari dei centri abitati di Noventa Padovana e di Oltre Brenta ed in corrispondenza dei tombinamenti degli scoli **“Ponte di Brenta”**, **“Polazzi Nord”**, **“Polazzi Sud”**, **“Maresciallo I° Diramazione”**, **“Maresciallo II° Diramazione”**, **“Noventana Prolungamento”** e **“Noventa”**.

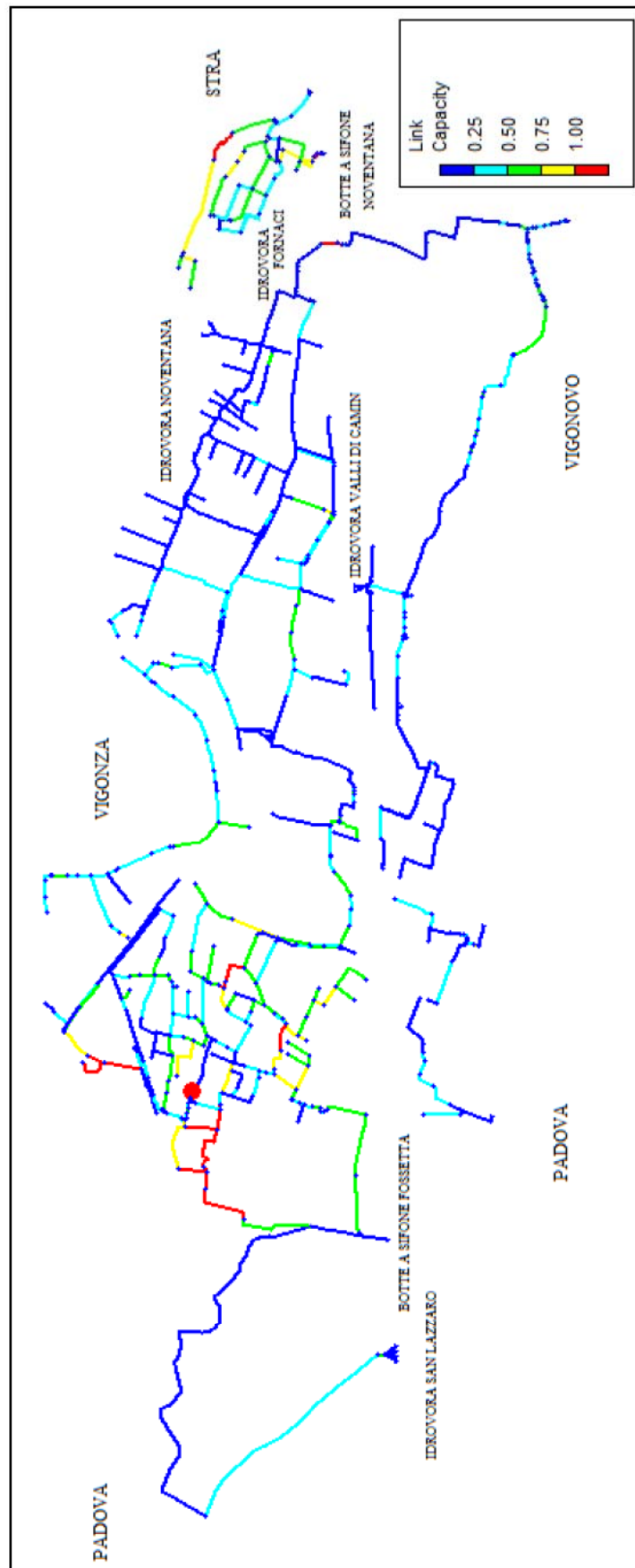


Figura 3-9: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 15 minuti dall'inizio dell'evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

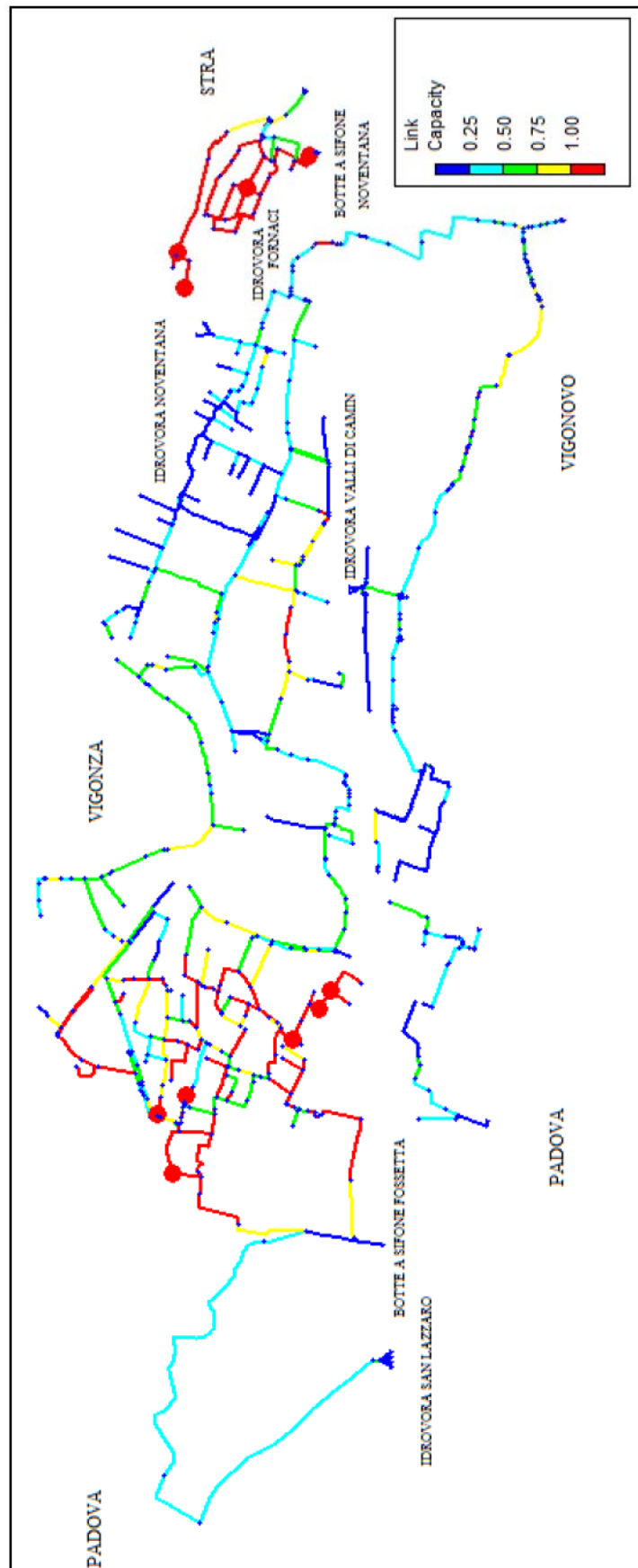


Figura 3-10: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 60 minuti dall'inizio dell'evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

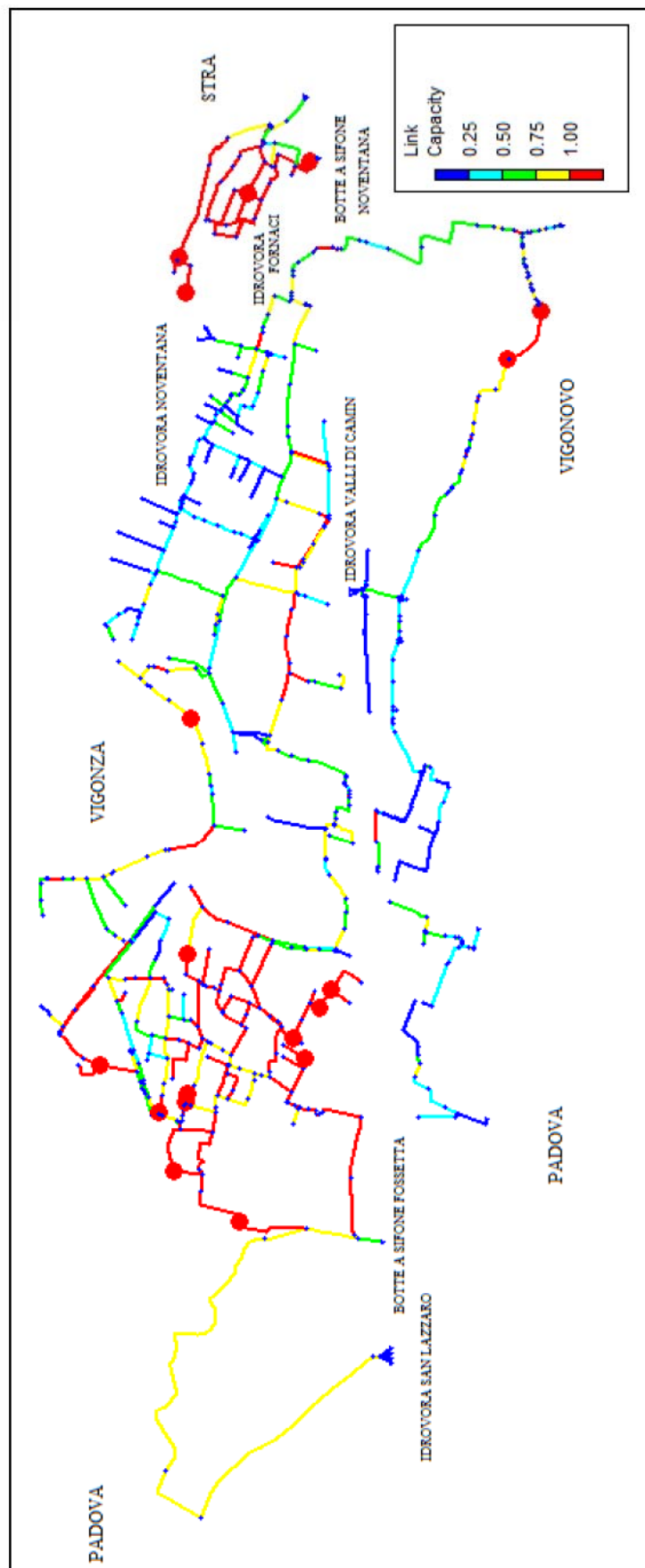


Figura 3-11: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 120 minuti dall'inizio dell'evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

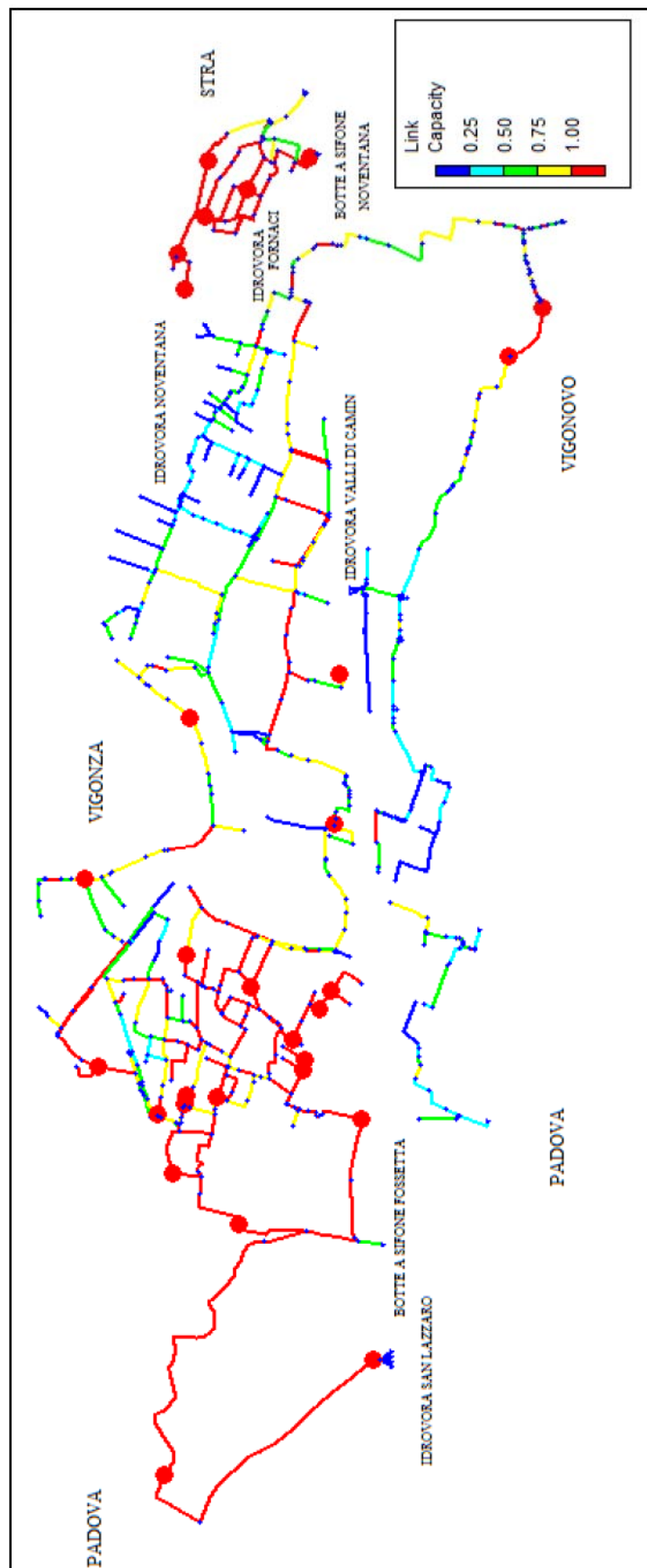


Figura 3-12: Grado di riempimento in rete e punti di esondazione (pallini in rosso) a 180 minuti dall'inizio dell'evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

Si evidenziano ora le criticità risultanti dalla modellazione le quali sottolineano la mancanza di uno schema di deflusso prevalente nella zona di Noventa Padovana dove si riscontrano numerose contropendenze e restringimenti:

- **CRITICITA' 1 – “via Cappello – incrocio via Tasso”**: presenza di diametri ridotti (DN 400 mm) e difficoltà di deflusso verso la rete consortile;
- **CRITICITA' 2 – “via Cappello – incrocio via Leopardi”**: si riscontrano locali contropendenze e difficoltà nello scaricare le acque sulla rete consortile per una insufficienza della rete tubata e per i livelli sostenuti sulla rete consortile;
- **CRITICITA' 3-4 – “via Foscolo – civici 10, 12 e via Leopardi – incrocio via Cappello ”**: presenza di locali contropendenze e diametri insufficienti, difficoltà di recapito allo scolo consortile per la presenza di livelli sostenuti;
- **CRITICITA' 5-6-7 – “via Roma – incrocio via Leopardi, via Roma – civici 53, 61, 26 e – via XXV Aprile”**: presenza di contropendenze, diametri ridotti e restringimenti;
- **CRITICITA' 8 – “via Cappello – incrocio via Matteotti/I° Maggio”**: presenza di un punto depresso del piano campagna e di contropendenze significative che rendono difficile il deflusso;
- **CRITICITA' 9 – “via Serenissima”**: tratto di rete fognaria insufficiente dovuto essenzialmente ad un significativo restringimento di diametro;
- **CRITICITA' 10 – “via Serenissima/scolo Maresciallo e Ponte di Brenta”**: difficoltà di deflusso per insufficienza della rete e brusco restringimento ai recapiti;
- **CRITICITA' 11 – “via Kennedy – civico 20/Fosso Maresciallo Diramazione”**: difficoltà di scarico sullo scolo “Fosso Maresciallo” per la presenza di contropendenze e salti di quota;
- **CRITICITA' 12-20 – “scolo Polazzi Nord e Sud”**: scolo, a cielo aperto e tombinato, caratterizzato da contropendenze e restringimenti che limitano ed ostacolano il deflusso delle acque generando locali esondazioni, difficoltà di scarico attraverso la botte a sifone;
- **CRITICITA' 13 – “zona Argine Sinistro Brenta e via Baracca”**: rete fognaria insufficiente e difficoltà di scarico per gli elevati livelli del ricettore;
- **CRITICITA' 14 – “via Montegrappa”**: difficoltà di scarico per gli elevati livelli del ricettore;
- **CRITICITA' 15 – “via Salata – via Isonzo – scolo Noventa”**: rete fognaria insufficiente per la presenza di diametri piccoli (DN 400 mm), lo scolo consortile presenta dimensioni modeste, significative contropendenze e difficoltà di scarico per gli elevati livelli del ricettore;

- **CRITICITA' 16 – “scolo Noventana Prolungamento”**: scolo, a cielo aperto e tombinato, caratterizzato da contropendenze e restringimenti che limitano ed ostacolano il deflusso delle acque generando puntuali esondazioni nei punti più depressi del piano campagna;
- **CRITICITA' 17 – “fosso privato”**: scolo a cielo aperto con la presenza di locali contropendenze che limitano ed ostacolano il deflusso delle acque generando puntuali esondazioni soprattutto nei punti più depressi del piano campagna;
- **CRITICITA' 18 – “fosso privato a monte scolo Noventana Diramazione”**: scolo a cielo aperto caratterizzato da contropendenze e restringimenti che limitano ed ostacolano il deflusso delle acque generando puntuali esondazioni nei punti più depressi del piano campagna;
- **CRITICITA' 19 – “via Torquato Tasso - via Giosuè Carducci”**: presenza di un brusco restringimento prima dello scarico che rende difficile il deflusso delle acque;
- **CRITICITA' 21 – “via Donatello”**: presenza di diametri piccoli che risultano incapaci di allontanare correttamente le acque.

I seguenti grafici illustrano le criticità nei principali scoli consorziali e privati che interessano il territorio comunale. I profili sono stati effettuati in corrispondenza all'evento di durata 1 ora.

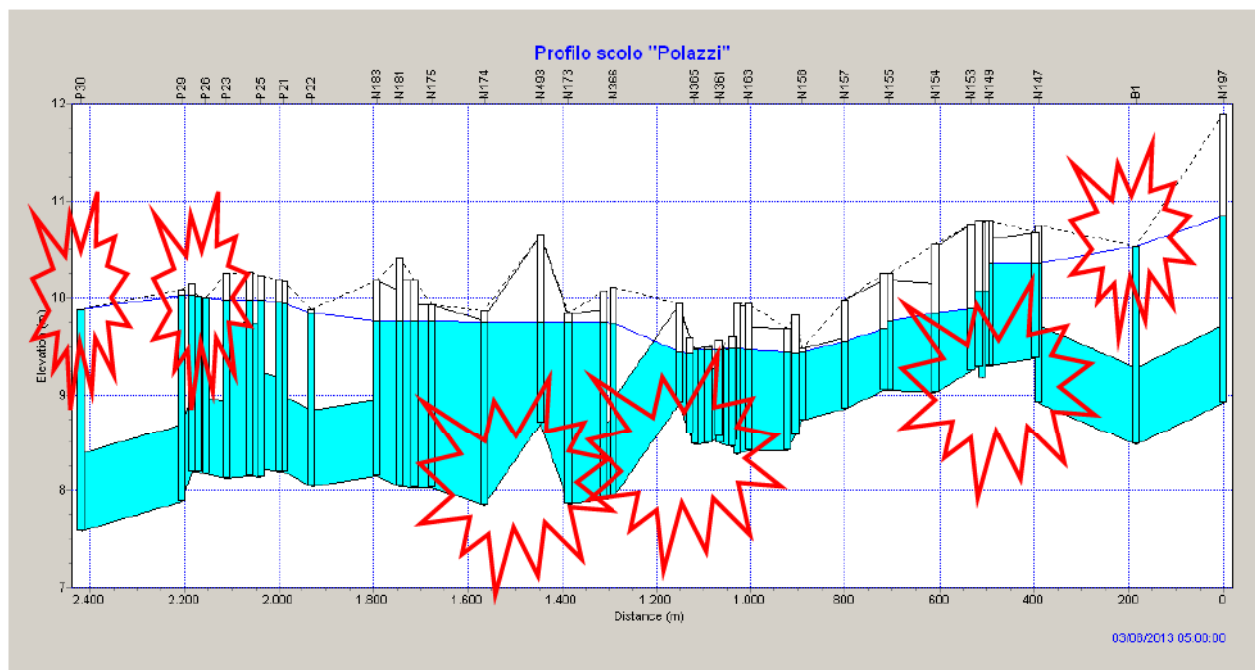


Figura 3-13: Profilo dello scolo “Polazzi” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

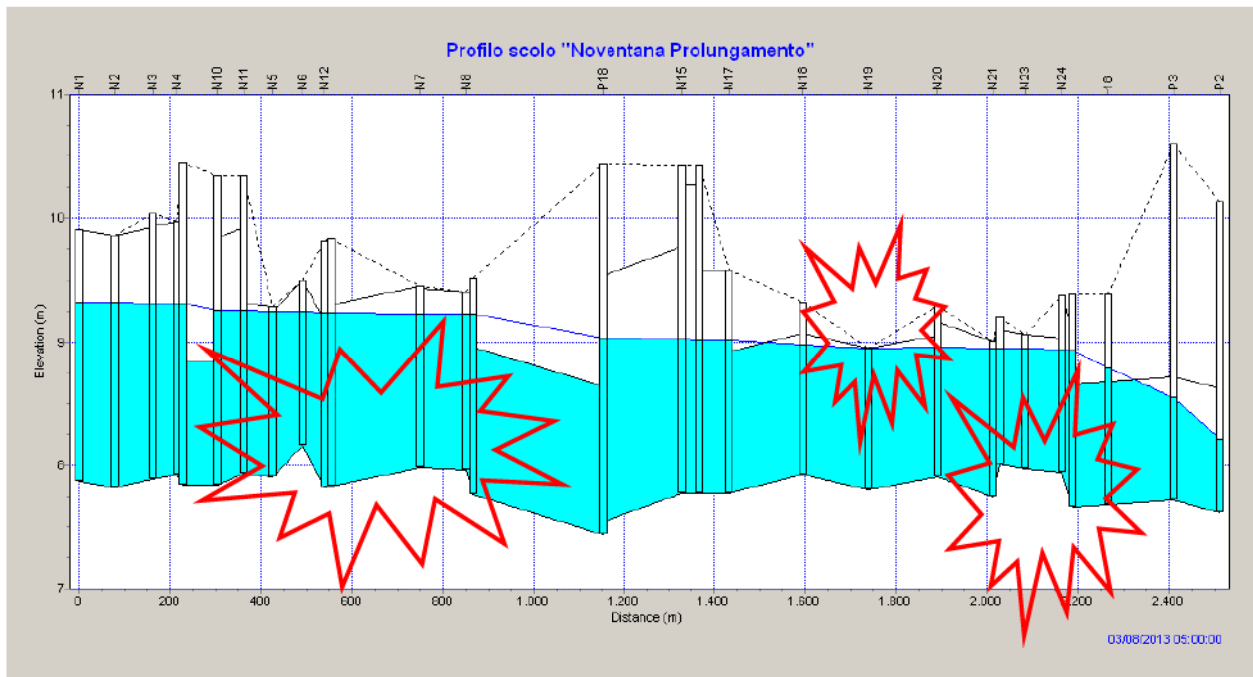


Figura 3-14: Profilo dello scolo “Noventana Prolungamento” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

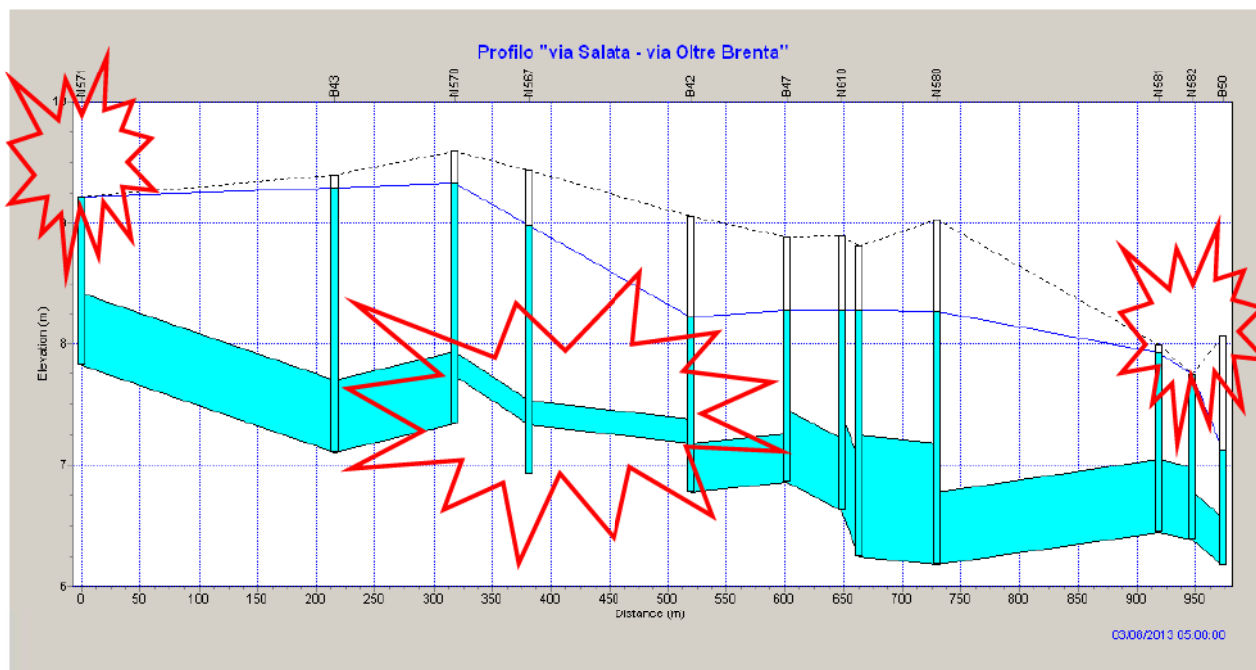


Figura 3-15: Profilo “via Salata – via Oltre Brenta” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

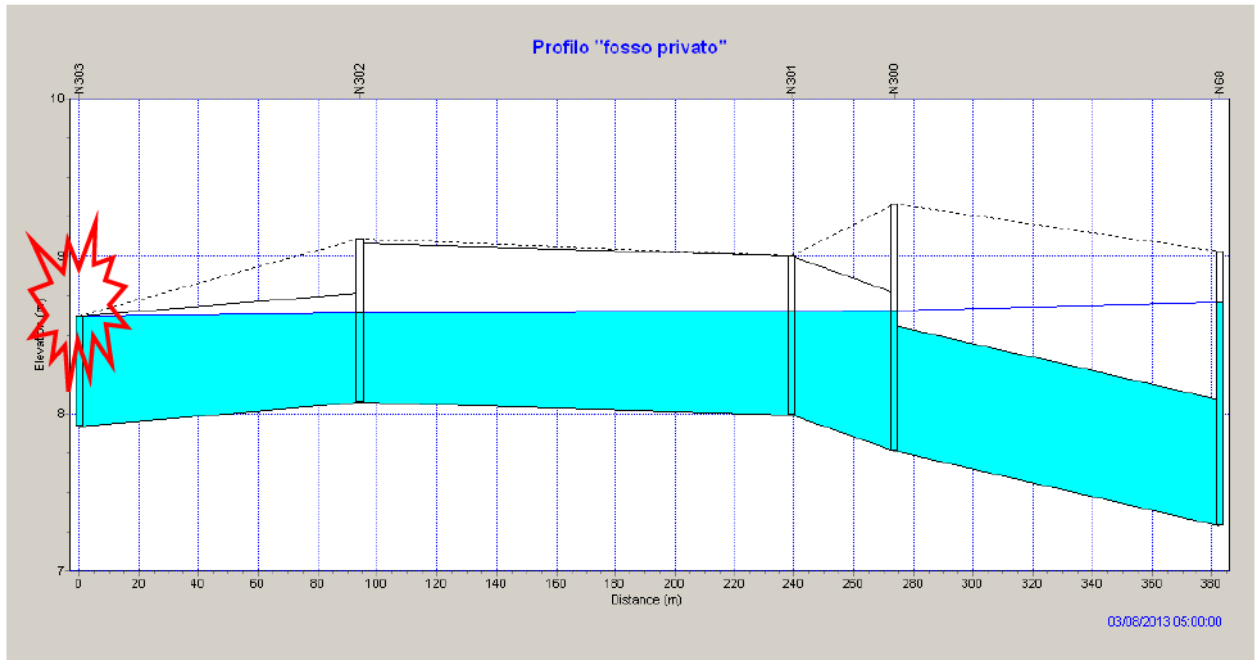


Figura 3-16: Profilo “fosso privato” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

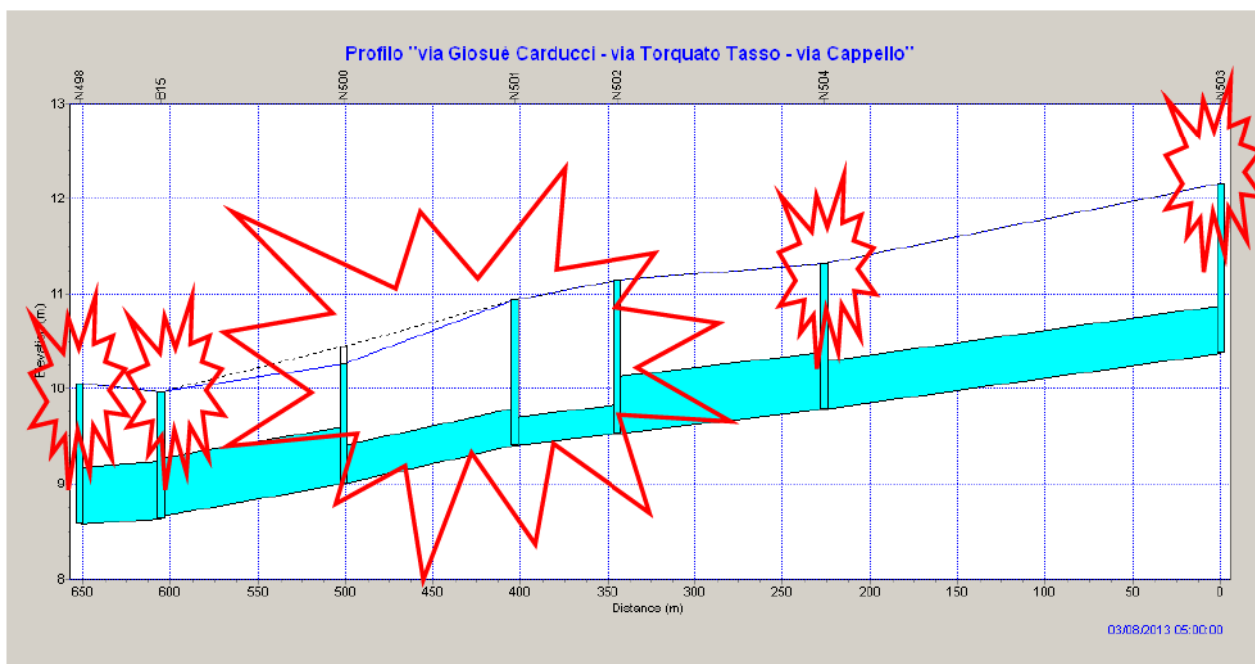


Figura 3-17: Profilo “via Giosuè Carducci – via Torquato Tasso – via Cappello” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

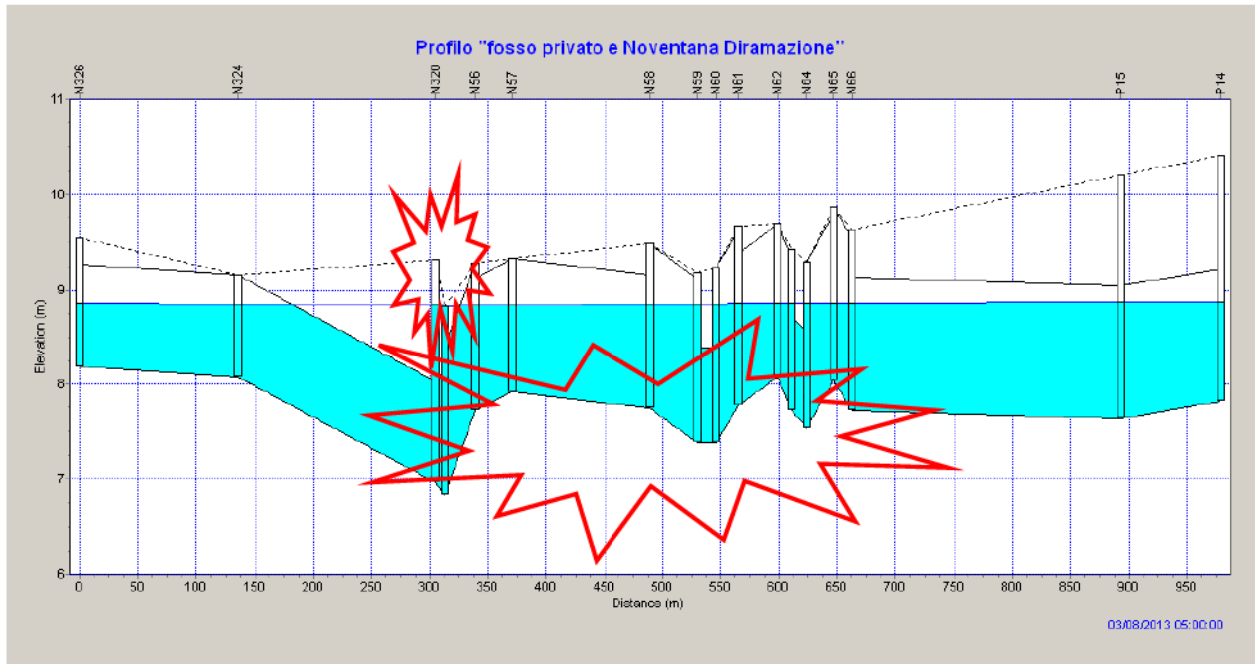


Figura 3-18: Profilo “fosso privato e Noventana Diramazione” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

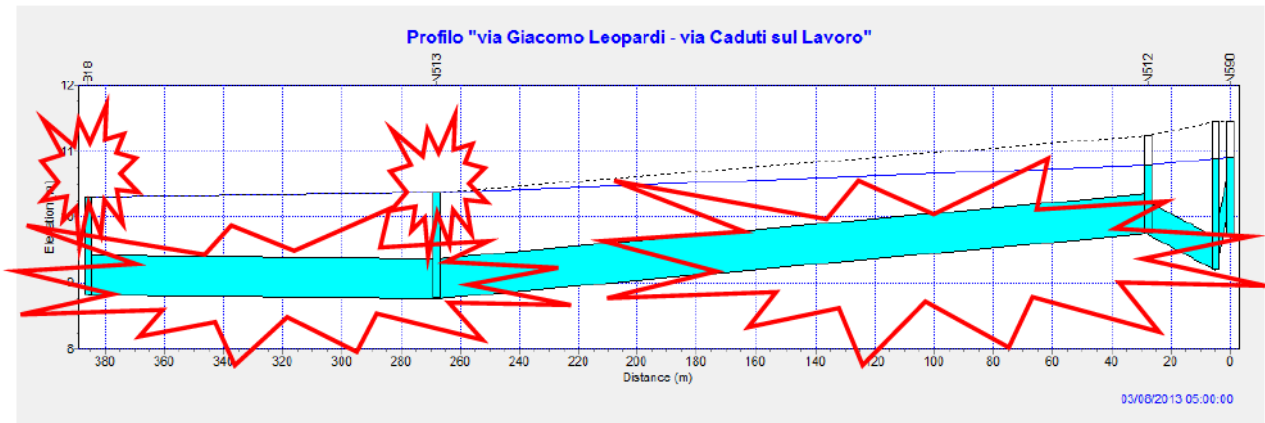


Figura 3-19: Profilo “via Giacomo Leopardi – via Caduti sul Lavoro” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

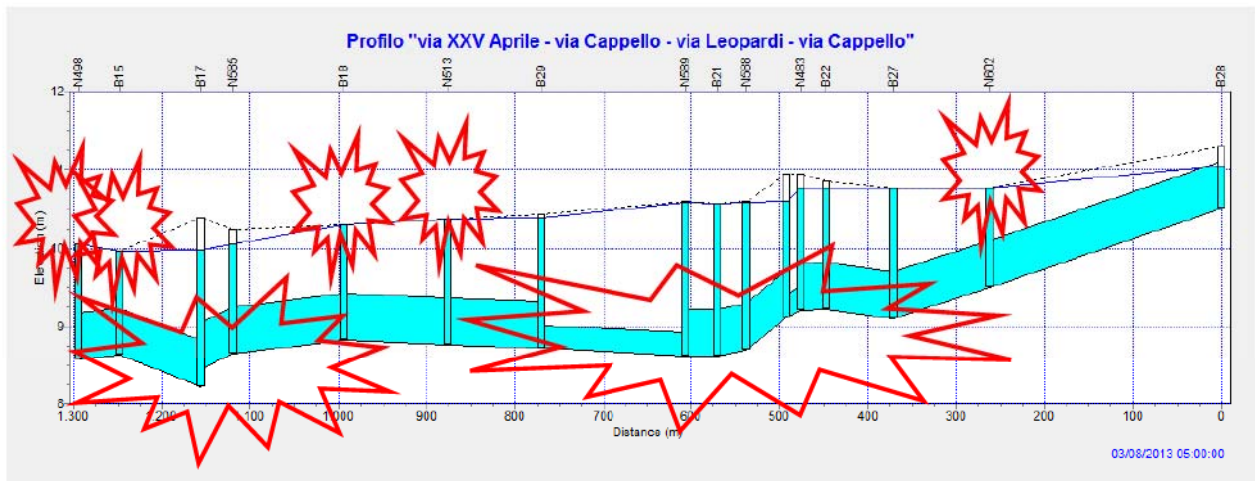


Figura 3-20: Profilo “via XXV Aprile – via Cappello – via Leopardi – via Cappello” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

Si riportano, nel seguito, i profili dei collettori della rete tubata per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

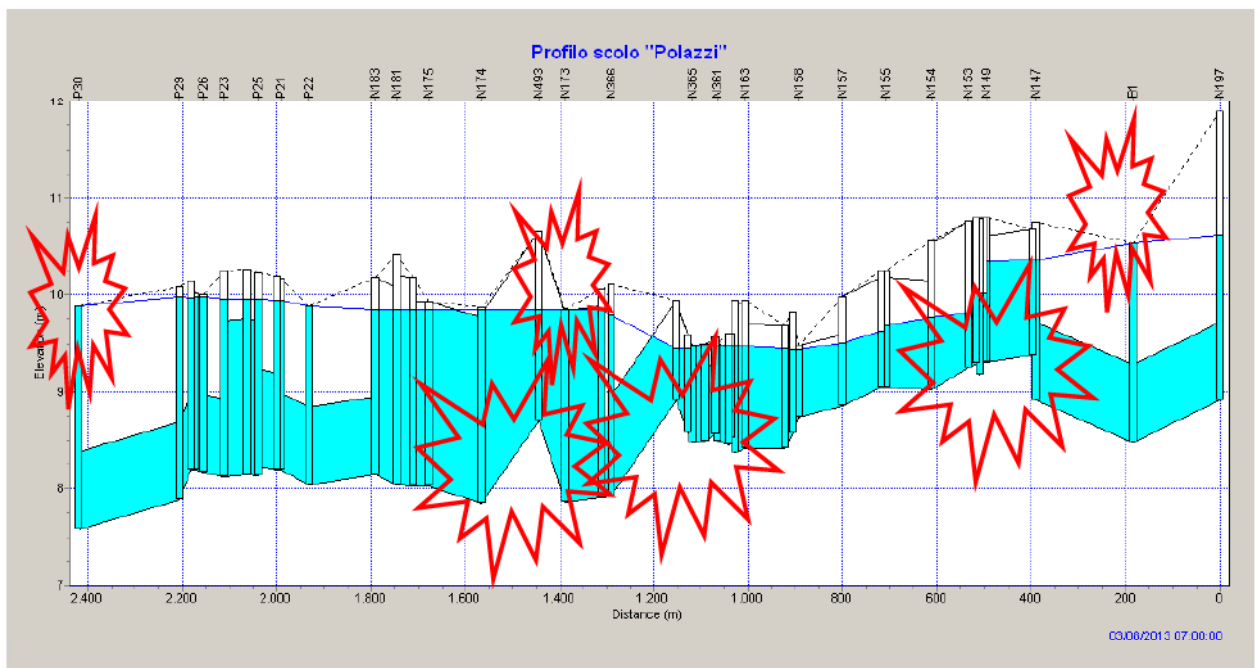


Figura 3-21: Profilo dello scolo “Polazzi” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

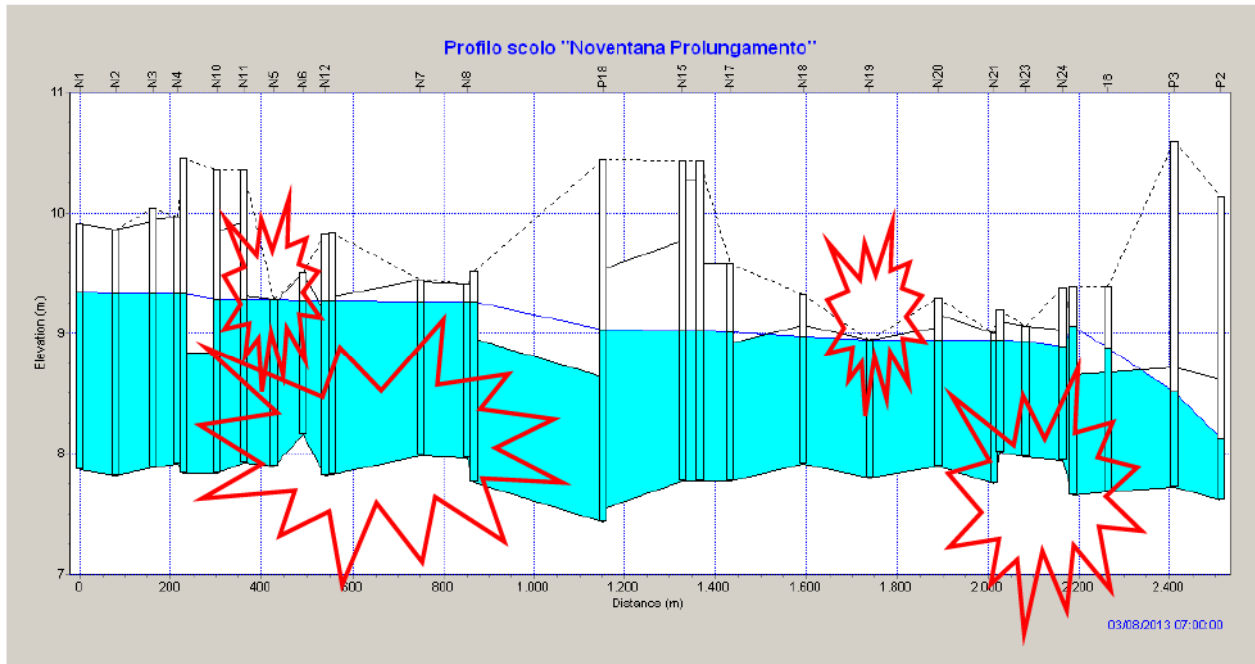


Figura 3-22: Profilo dello scolo “Noventana Prolungamento” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

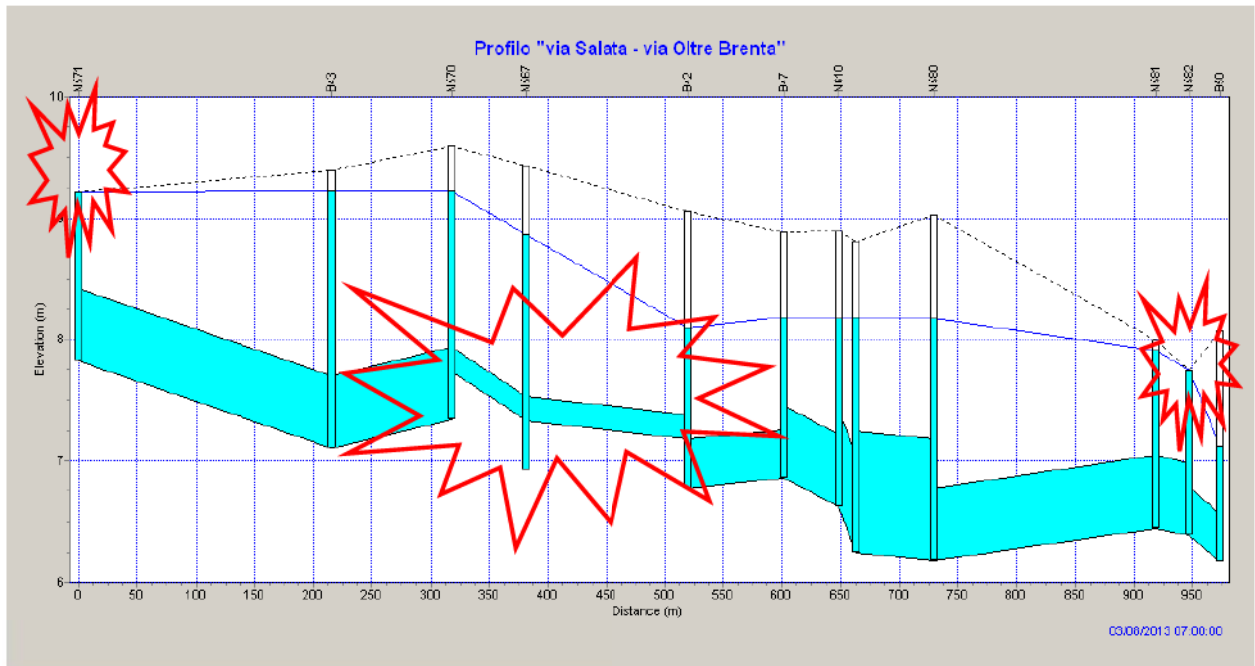


Figura 3-23: Profilo “via Salata – via Oltre Brenta” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

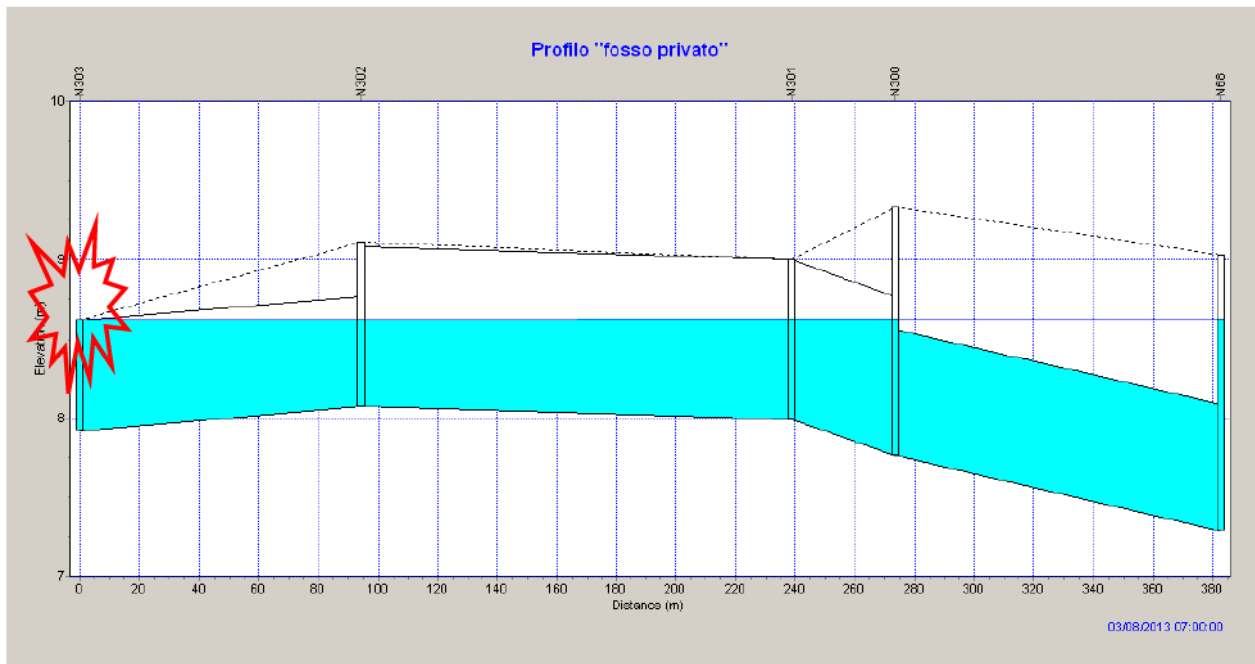


Figura 3-24: Profilo "fosso privato" per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

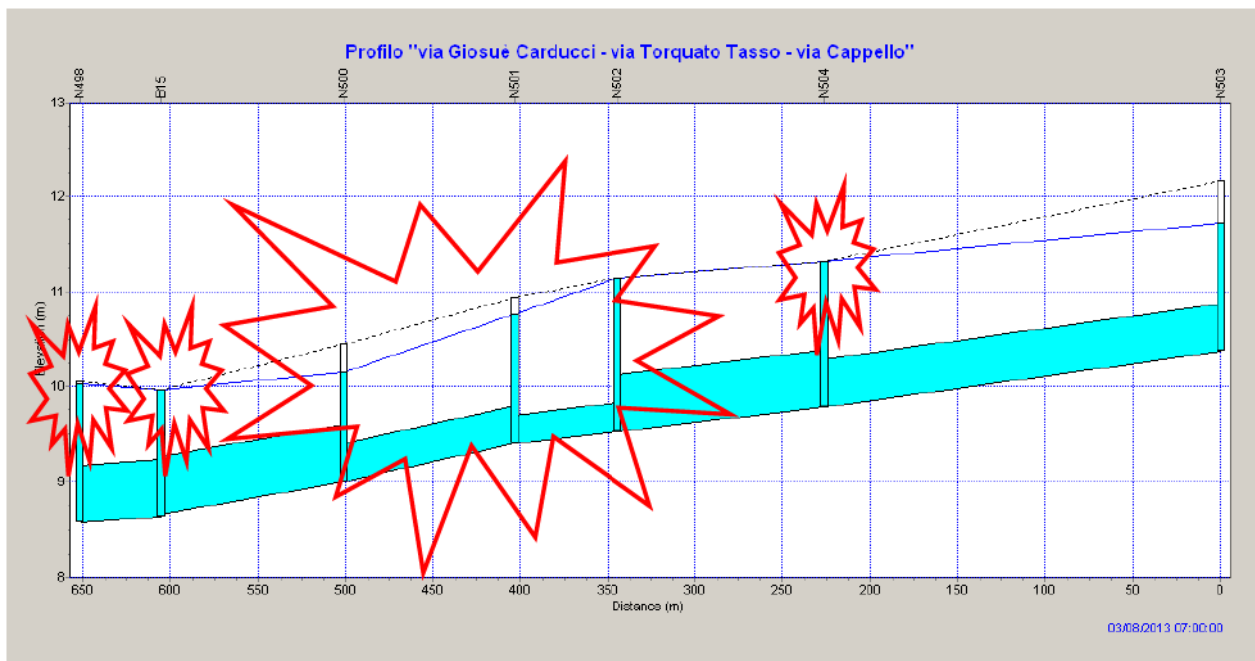


Figura 3-25: Profilo "via Giosuè Carducci – via Torquato Tasso – via Cappello" per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

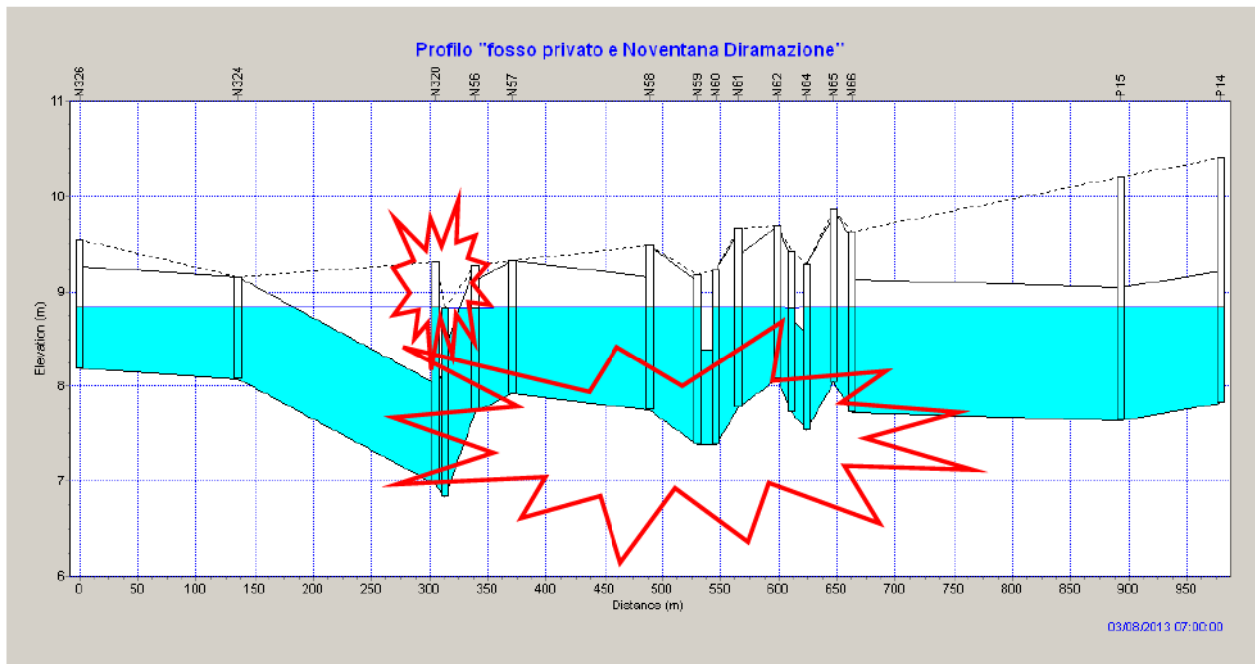


Figura 3-26: Profilo “fosso privato e Noventana Diramazione” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

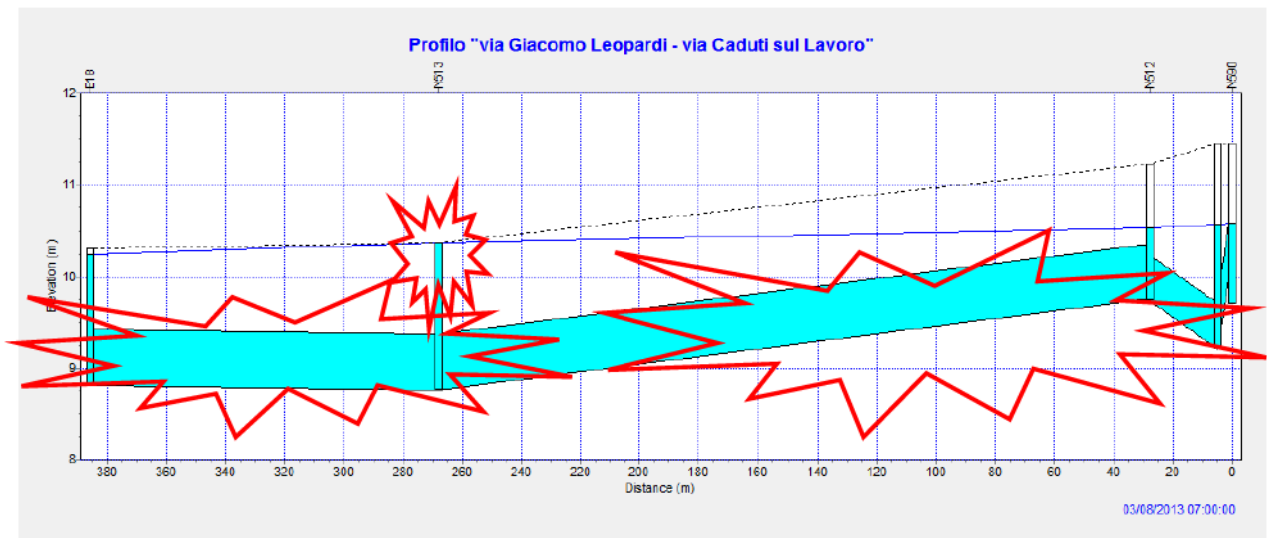


Figura 3-27: Profilo “via Giacomo Leopardi – via Caduti sul Lavoro” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

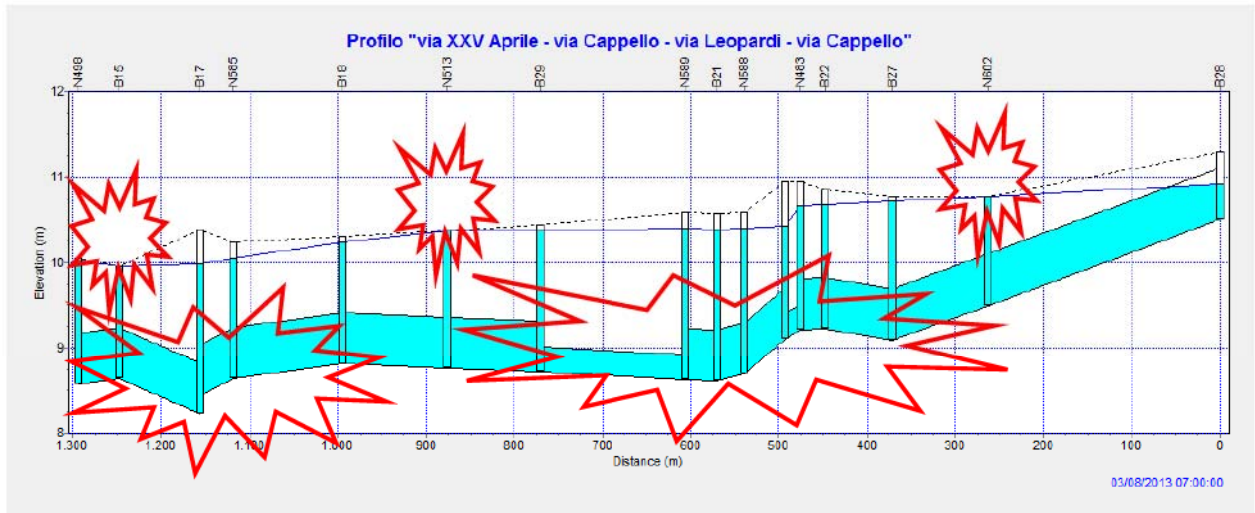


Figura 3-28: Profilo “via XXV Aprile – via Cappello – via Leopardi – via Cappello” per un evento di durata 3 or3 e tempo di ritorno 20 anni.

4 INTERVENTI DI PIANO

4.1 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI PER LA RISOLUZIONE DELLE CRITICITA' RISCONTRATE MEDIANTE LA MODELLAZIONE MATEMATICA

Per la risoluzione delle criticità evidenziate nel precedente capitolo saranno necessari degli interventi di riqualifica del sistema idrografico consortile, privato e delle reti tubate, in parte attualmente insufficiente a garantire la sicurezza idraulica di fronte ad eventi caratterizzati da un tempo di ritorno di 20 anni.

E' da evidenziare come l'insufficienza dei collettori sia sostanzialmente dovuta alla crescente impermeabilizzazione dei suoli che ha, di fatto, diminuito la capacità drenante del terreno e di conseguenza incrementato le portate afferenti alla rete, la quale a sua volta non è stata nel tempo adeguata, mediante ricalibrature, alle nuove esigenze di smaltimento delle acque meteoriche.

Di seguito si riporta la descrizione degli interventi di piano e le simulazioni idrauliche condotte per il loro dimensionamento. Si sottolinea che tutte le simulazioni nella configurazione di progetto prevedono, per quanto riguarda parte della rete tubata dei centri abitati, la preliminare pulizia delle condotte esistenti.

4.1.1 INTERVENTI DI PROGETTO

Nella definizione degli interventi di progetto si sottolinea che, per quanto riguarda il Bacino Fossetta si è tenuto conto dell'intervento di realizzazione dello "Scolmatore di piena Limenella – Fossetta per la difesa idraulica della zona di Padova nord" previsto dal Piano Generale di Bonifica e Tutela del Territorio che consentirà di risolvere alcune criticità idrauliche presenti nel Bacino Fossetta riducendo la portata in ingresso dello stesso di circa 10 m³/s.

4.1.1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Si descrivono singolarmente gli interventi previsti per risanare le criticità evidenziate in precedenza nel territorio comunale di Noventa Padovana.

1. INTERVENTI PREVISTI PER LA ZONA OVEST DEL COMUNE – BACINO FOSSETTA

La presenza di tratti di rete insufficienti, dovuti sia a restringimenti di diametro che alla presenza di contropendenze, non permettono alle acque defluire liberamente verso gli scoli ricettori dando così origine a locali allagamenti. A questo problema si aggiunge la scarsa capacità di scarico della botte a sifone “Fossetta” sul Canale Piovego alla quale è vincolata tutta la capacità di deflusso dell’area.

Tali criticità richiedono dunque l’adeguamento della rete alle portate da evacuare e la modifica dei ricettori finali della stessa.

1.1 Risoluzione delle criticità 8-9-10-11-12-20

Gli interventi risolutivi prevedono:

- a) la deviazione delle acque appartenenti allo scolo consortile “fosso Maresciallo I° Diramazione” verso il fosso di guardia di via Serenissima con attraversamento autostradale realizzato con una tubazione DN 1200 mm;
- b) il risezionamento del fosso di guardia di Via Serenissima con invaso in linea;
- c) la creazione di un’area di laminazione di circa 3000 m² da collocarsi in area agricola, se possibile, tra il fosso di guardia di via Serenissima e lo scolo consortile “fosso Maresciallo II° Diramazione”;
- d) la sostituzione delle condotte esistenti nell’area industriale (DN 400 mm, DN 800 mm e DN 1200 mm) con tubi rettangolari armati 2000x1500mm (o soluzione equivalente) e l’adeguamento delle pendenze;
- e) il risezionamento dello scolo consortile “Polazzi Nord” e la sostituzione delle condotte esistenti (DN 400 mm, DN 500 mm) con la posa di tubi rettangolari armati aventi dimensione 3000x1500 mm;
- f) il risezionamento dello scolo consortile “Polazzi Sud” e la sostituzione delle condotte esistenti (DN 800 mm e DN 1000 mm e scatolari 1000x1600mm) con la posa di tubi rettangolari armati aventi dimensione 4000x1500mm (o soluzione equivalente).
- g) il risezionamento del fosso di via Pietro Micca con la sostituzione dell’esistente condotta (DN 800 mm) con tubazione DN 1200 mm e l’adeguamento del fosso di collegamento (o soluzione equivalente);
- h) l’installazione di una nuova idrovora a ridosso di via Argine Sinistro del Piovego prolungando lo scolo consortile “Polazzi Sud”; l’idrovora potrà essere collocata in un’area di proprietà comunale e dovrà garantire lo scarico delle acque generate dal bacino

dello scolo “Ponte di Brenta”, del “Fosso Maresciallo” e del “Fosso Polazzi” (sottobacini del “Collettore Fossetta”) oltre a quelle del centro di Noventa Padovana.

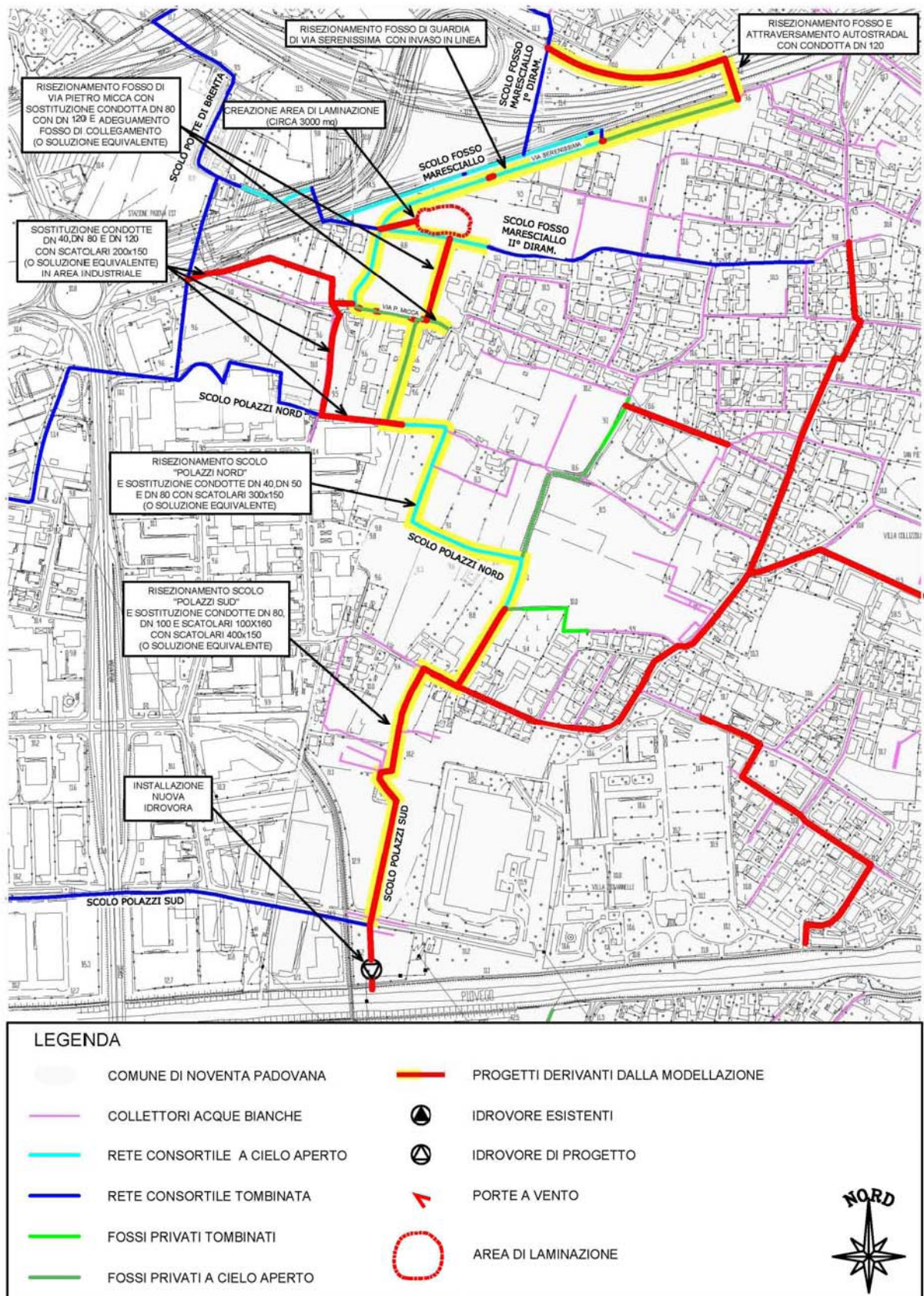


Figura 4-1: Interventi proposti a risoluzione delle criticità 8-9-10-11-12-20.

1.2 Risoluzione delle criticità 1-2-3-4-7

Gli interventi risolutivi prevedono:

- a) la sostituzione delle condotte di via Cappello con una nuova dorsale costituita da tubazioni DN 1000 mm, DN 1200 mm e tubi rettangolari armati di dimensioni 1000x1500mm e l'adeguamento delle pendenze;
- b) il collegamento, sempre in via Cappello, della nuova dorsale con l'esistente rete mediante una nuova condotta DN 1000 mm;
- c) programmato dai tecnici comunali di Noventa Padovana, sfruttando i lavori sulla fognatura da parte dell'ETRA, l'intervento ("***progetto di adeguamento della condotta per le acque meteoriche di via Ugo Foscolo***") consiste nella posa di una nuova condotta DN 500 mm al fine di collegare le reti esistenti di via Cappello e di via Ugo Foscolo. La funzione di questa tubazione è quella di by-passare la condotta DN 800 mm che risulta completamente ostruita nonché ubicata in proprietà privata con conseguenti difficoltà di intervento.

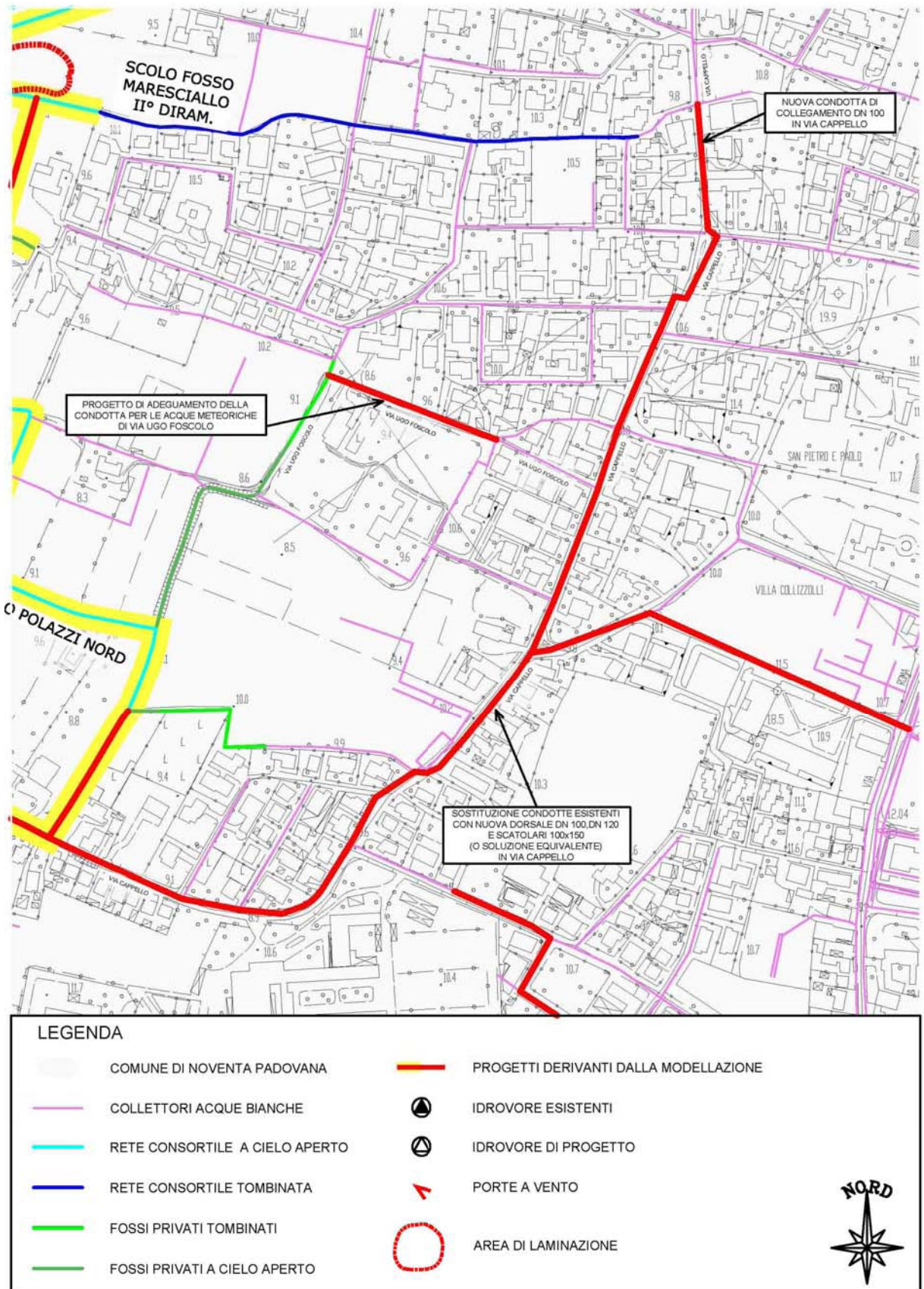


Figura 4-2: Interventi proposti a risoluzione delle criticità 1-2-3-4-7.

1.3 Risoluzione delle criticità 5-6

L'intervento prevede:

- la sostituzione delle tubazioni (DN 500 mm e DN 600 mm) esistenti in via Giacomo Leopardi e in via Caduti sul Lavoro con collettori DN 800 mm e l'adeguamento delle pendenze;

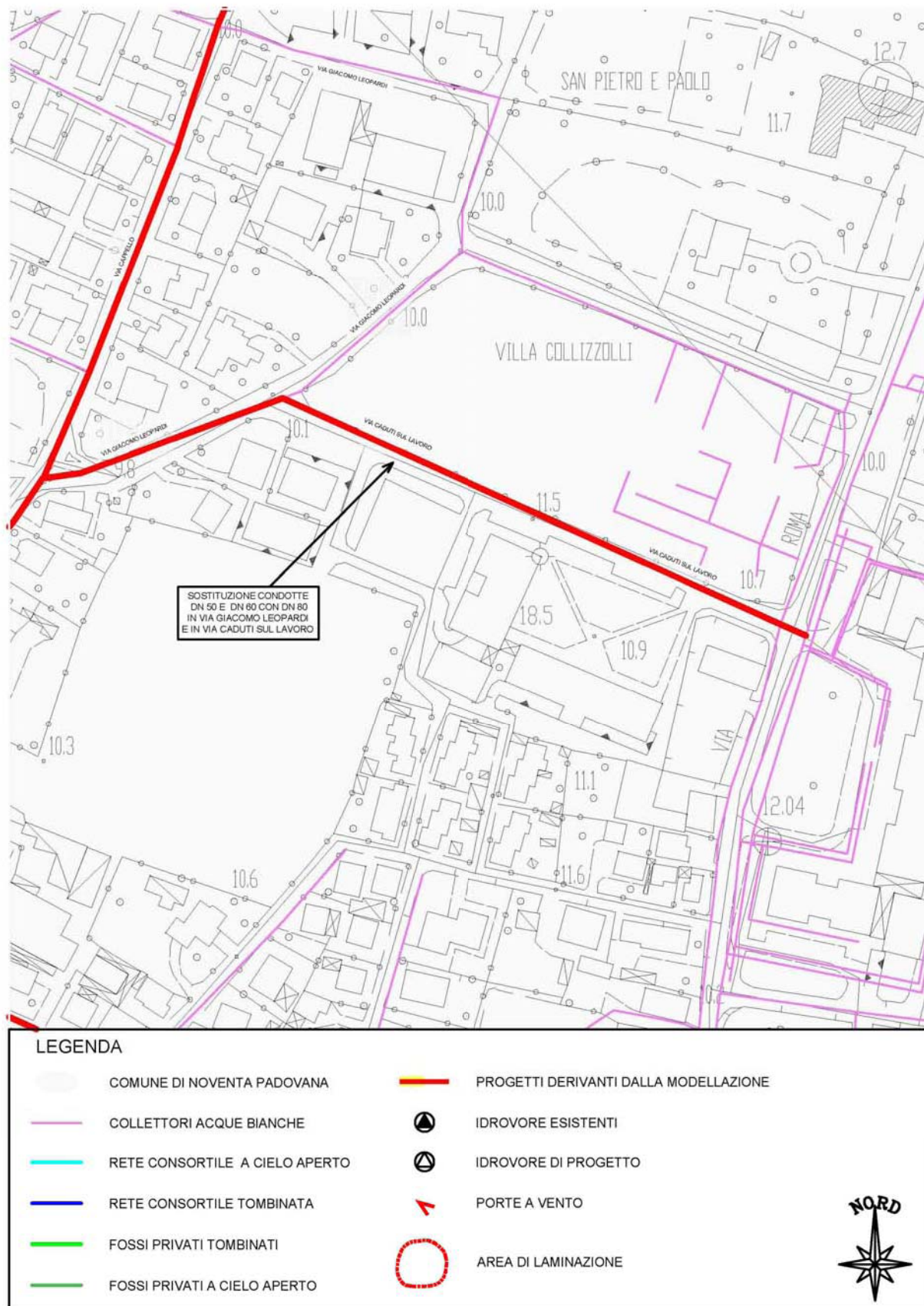


Figura 4-3: Interventi proposti a risoluzione delle criticità 5-6.

2. INTERVENTI NELLA ZONA EST

2.1 Risoluzione delle criticità 13-14-15: Adeguamento della rete fognaria del centro abitato di Oltre Brenta

Anche in questo caso la presenza di tratti di rete insufficienti, dovuti sia a restringimenti di diametro che alla presenza di contropendenze, non permettono alle acque defluire liberamente verso i ricettori finali. Inoltre visto che lo scarico dello scolo “Noventa” e della rete tubata è di tipo libero, lo stesso risulta dipendente dal livello dei ricettori che in caso di piena non permettono l’allontanamento delle acque rigurgitando in rete.

L’intervento risolutivo prevede pertanto:

- a) la sostituzione dell’esistente condotta (DN 400 mm) di via Salata con tubazione DN 800 mm;
- b) la sostituzione dell’esistente condotta (DN 400 mm) di via Pasubio, necessaria al collegamento tra i collettori fognari urbani e lo scolo consortile tombinato “Noventa”, con tubazione DN 1200 mm e l’adeguamento della pendenza;
- c) la sostituzione delle condotte di via Salata con una nuova dorsale costituita da tubi rettangolari armati di dimensioni 1600x1000mm (o soluzione equivalente) e l’adeguamento delle pendenze;
- d) la sostituzione delle condotte della parte terminale di via Salata e di via Oltre Brenta con una nuova dorsale costituita da tubi rettangolari armati di dimensioni 2000x1500mm e l’adeguamento delle pendenze;
- e) la realizzazione di un nuovo collegamento tra lo scolo consortile tombinato “Noventa” e l’intersezione con le due nuove dorsali mediante la posa di tubi rettangolari armati aventi dimensioni 1200x1000mm;
- f) l’installazione di porte a vento sulle due esistenti condotte di scarico (sbocco dello scolo consortile tombinato “Noventa” e della rete fognaria bianca nelle vicinanze di via Baracca) necessarie al fine di evitare problemi di rigurgito derivanti dall’elevato tirante idrico raggiunto dal Naviglio Brenta;
- g) installare una nuova idrovora a ridosso di via Oltre Brenta e di via IV Novembre; l’idrovora sarà collocata in un’area a verde e sarà opportunamente dimensionata allo scopo di sollevare nel Fiume Brenta la portata d’acqua del Bacino Noventa.

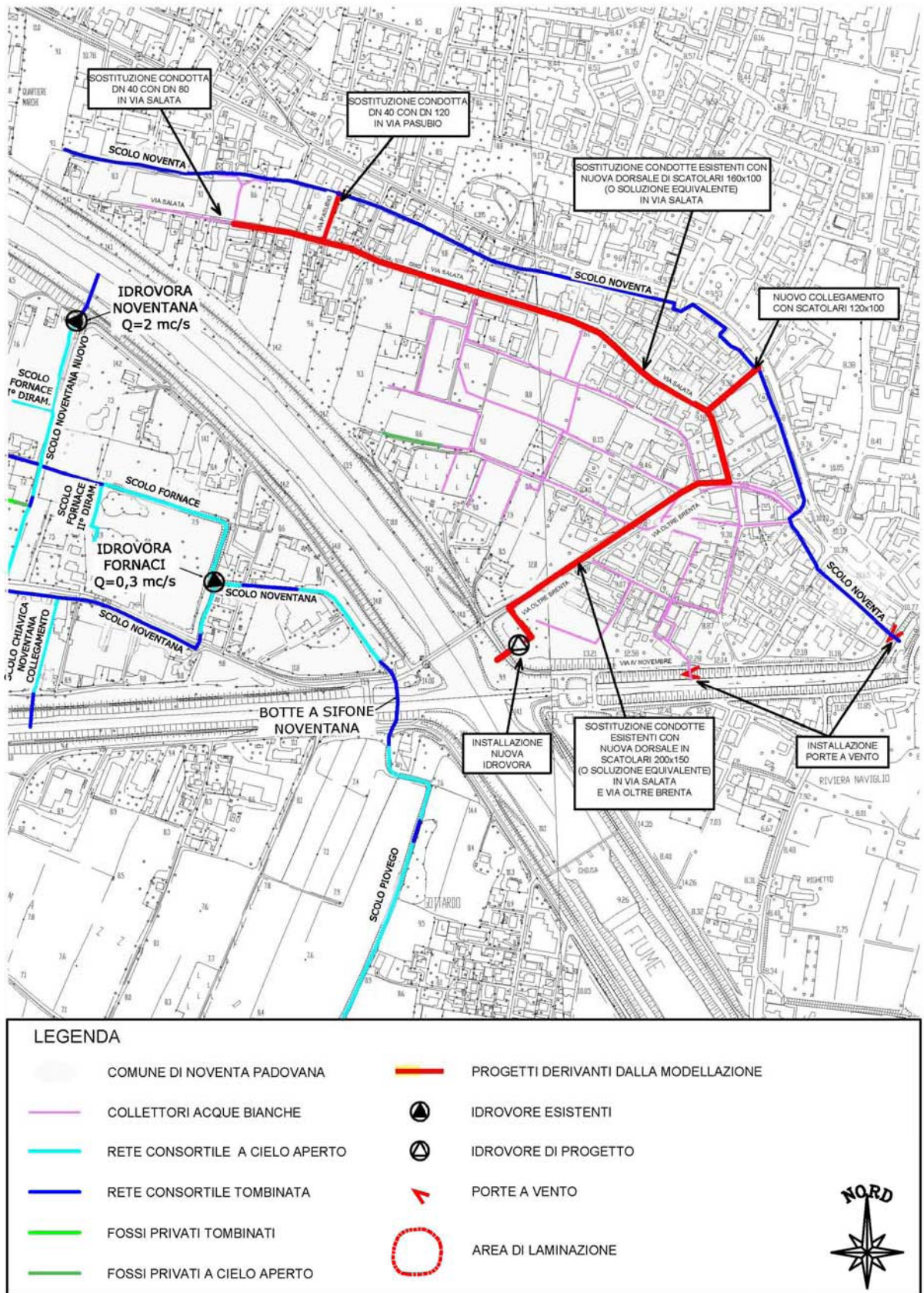


Figura 4-4: Interventi proposti a risoluzione delle criticità 13-14-15.

2.2 Risoluzione della criticità 16: Adeguamento scolo consortile “Noventana Prolungamento”

Lo scolo presenta un fondo irregolare dovuto probabilmente a fenomeni di interrimento. Localmente si segnalano dei restringimenti.

Tale criticità richiede dunque l'adeguamento dello scolo che prevede:

- il risezionamento e/o l'espurgo dello scolo consortile “Noventana Diramazione” e la sostituzione delle condotte esistenti (DN 1000 mm e DN 1200 mm) con tubi rettangolari armati aventi dimensione 2000x1500mm (o soluzione equivalente).

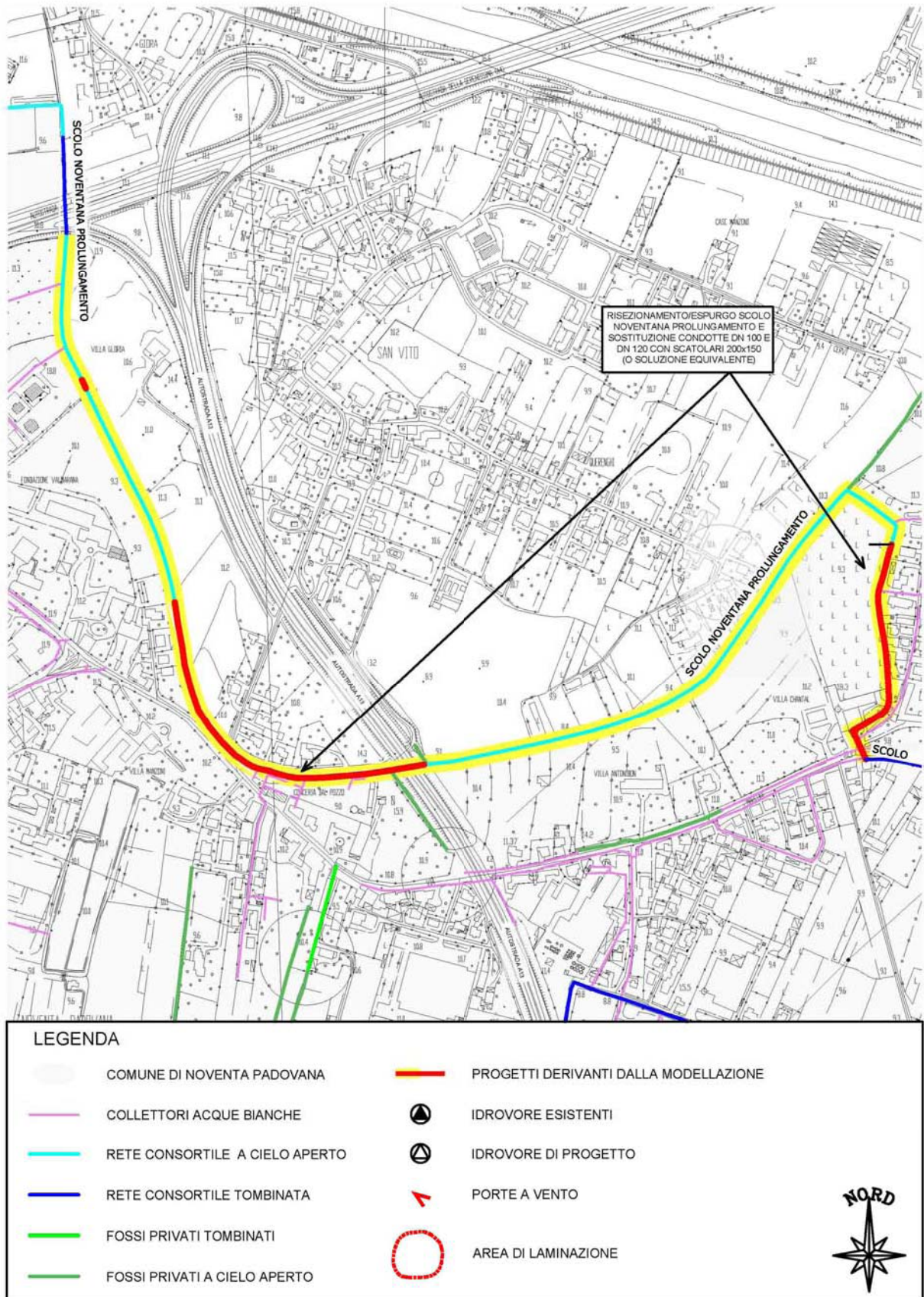


Figura 4-5: Interventi proposti a risoluzione della criticità 16.

2.3 Risoluzione della criticità 17: Adeguamento fosso privato.

La presenza di contropendenze limita il deflusso delle acque generando locali esondazioni nei punti più depressi del piano campagna.

- Per risolvere la criticità si prevede il risezionamento e la regolarizzazione del fossato.

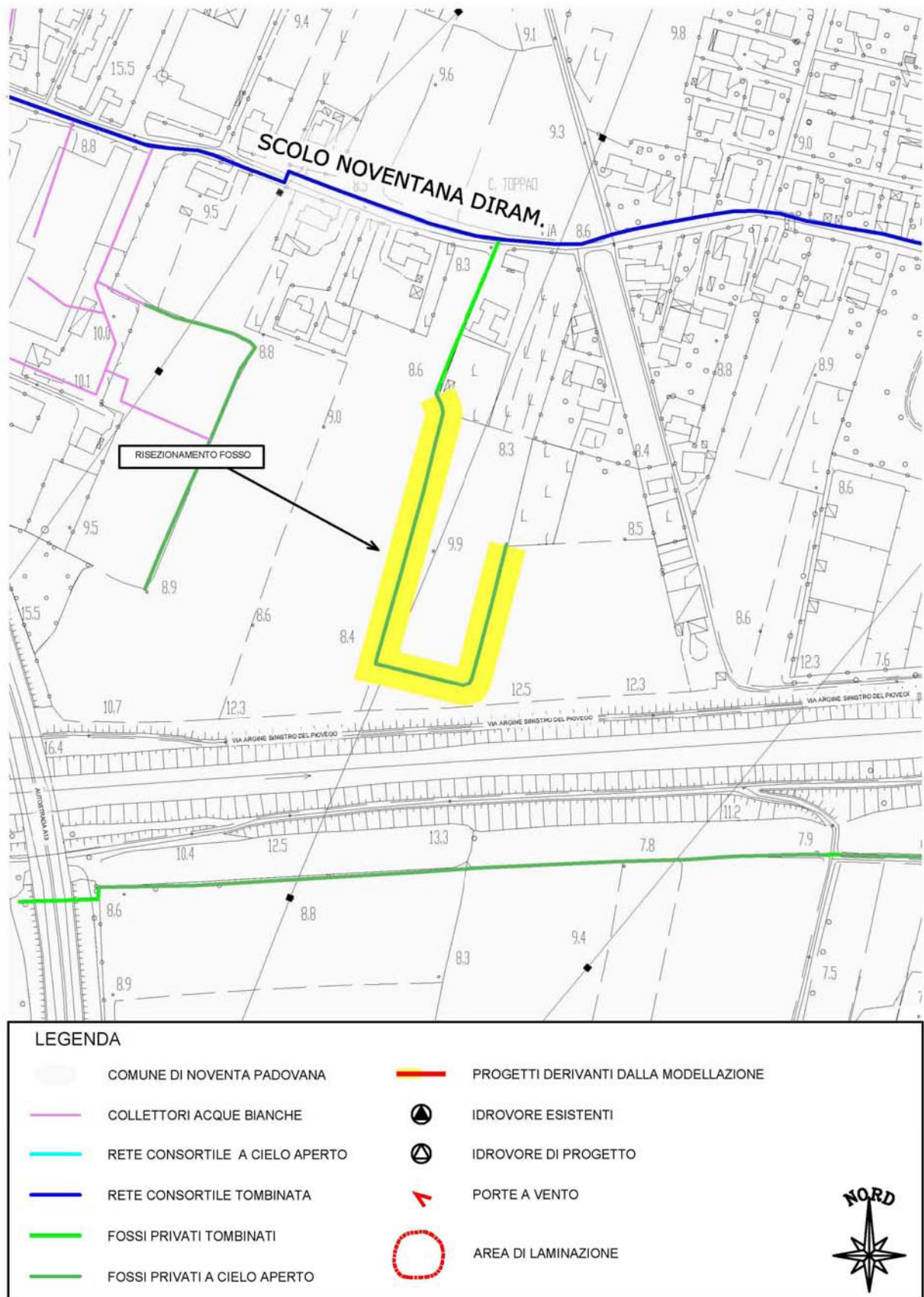


Figura 4-6: Interventi proposti a risoluzione della criticità 17.

***2.4 Risoluzione della criticità 18: Adeguamento fosso privato a monte dello scolo consortile
“Noventana Diramazione”.***

Per la risoluzione di questa criticità, legata alla presenza di condotte fuori asse e locali contropendenze, si prevede:

- il risezionamento del fosso privato ed il riallineamento delle tubazioni esistenti, in particolare, del primo tratto dello scolo consortile “Noventana Diramazione”.

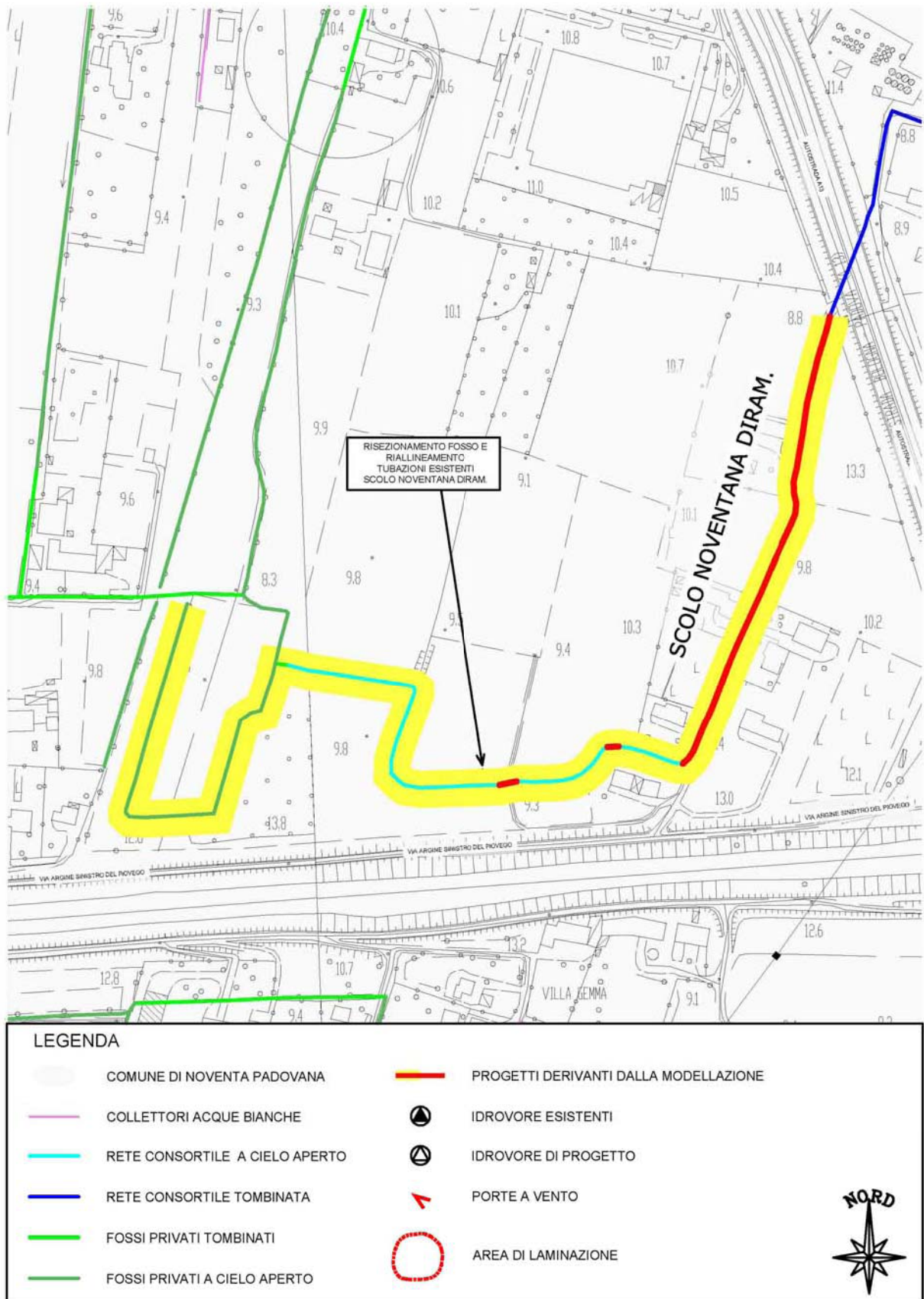


Figura 4-7: Interventi proposti a risoluzione della criticità 18.

2.5 Risoluzione della criticità 19: Adeguamento rete fognaria di via Torquato Tasso e Giosuè Carducci.

In questo tratto di rete fognaria si riscontra un significativo restringimento di diametro prima del collegamento alla rete principale pertanto si prevede:

- la sostituzione delle esistenti condotte (DN 300 mm, DN 400 mm, DN 500 mm e DN 600 mm) di via Torquato Tasso e di via Giosuè Carducci con tubazioni DN 800 mm e DN 1000 mm e l'adeguamento delle pendenze.

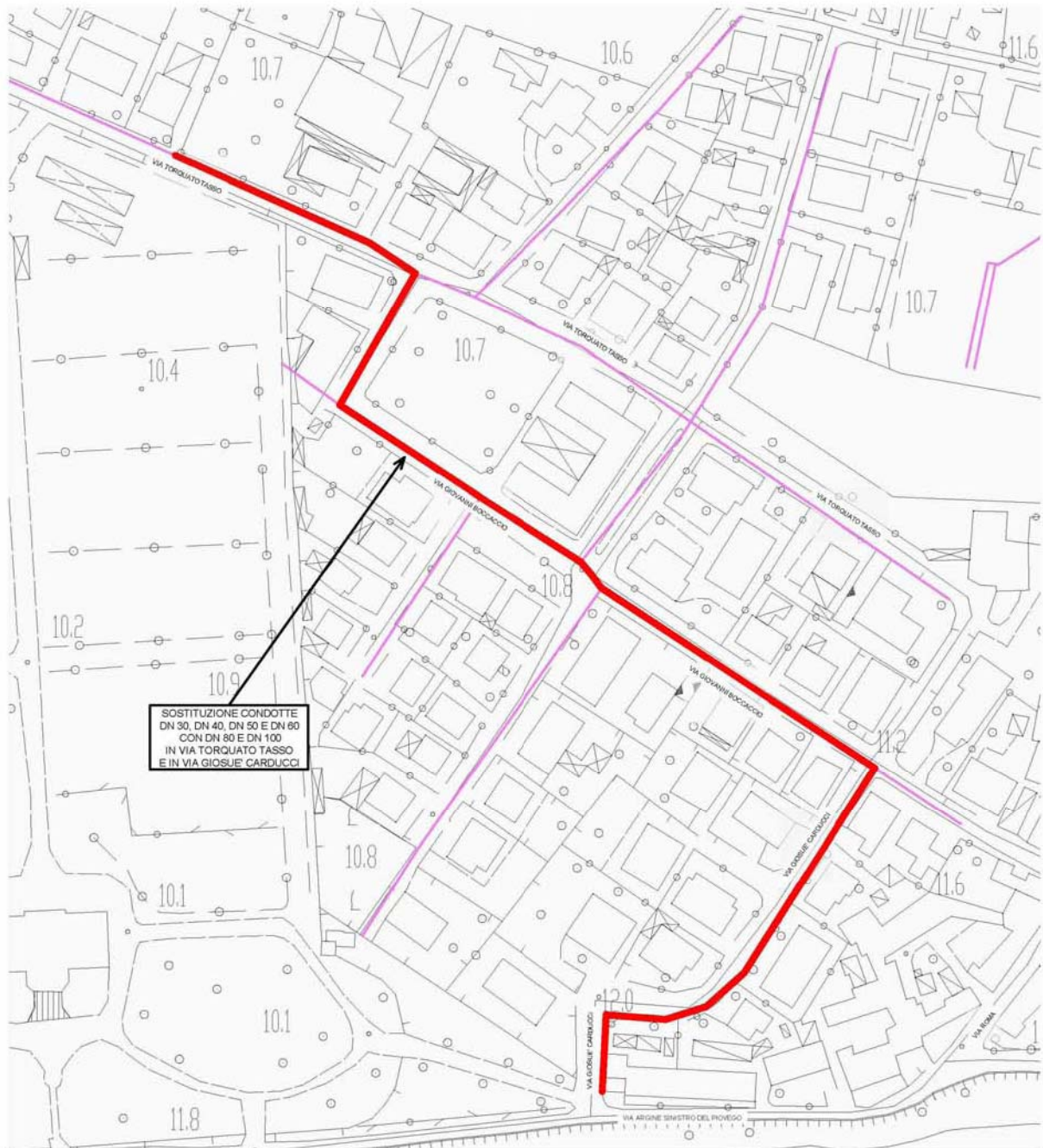


Figura 4-8: Interventi proposti a risoluzione della criticità 19.

2.6 Risoluzione della criticità 21: Adeguamento rete fognaria di via Donatello.

In questo tratto di rete fognaria i problemi sono legati al fatto che i diametri delle tubazioni sono troppo piccoli per far fronte alle portate generate. Si prevede pertanto:

- la sostituzione delle esistenti condotte (DN 300 mm e DN 400 mm) di via Donatello con tubazione DN 600 mm e l'adeguamento delle pendenze.

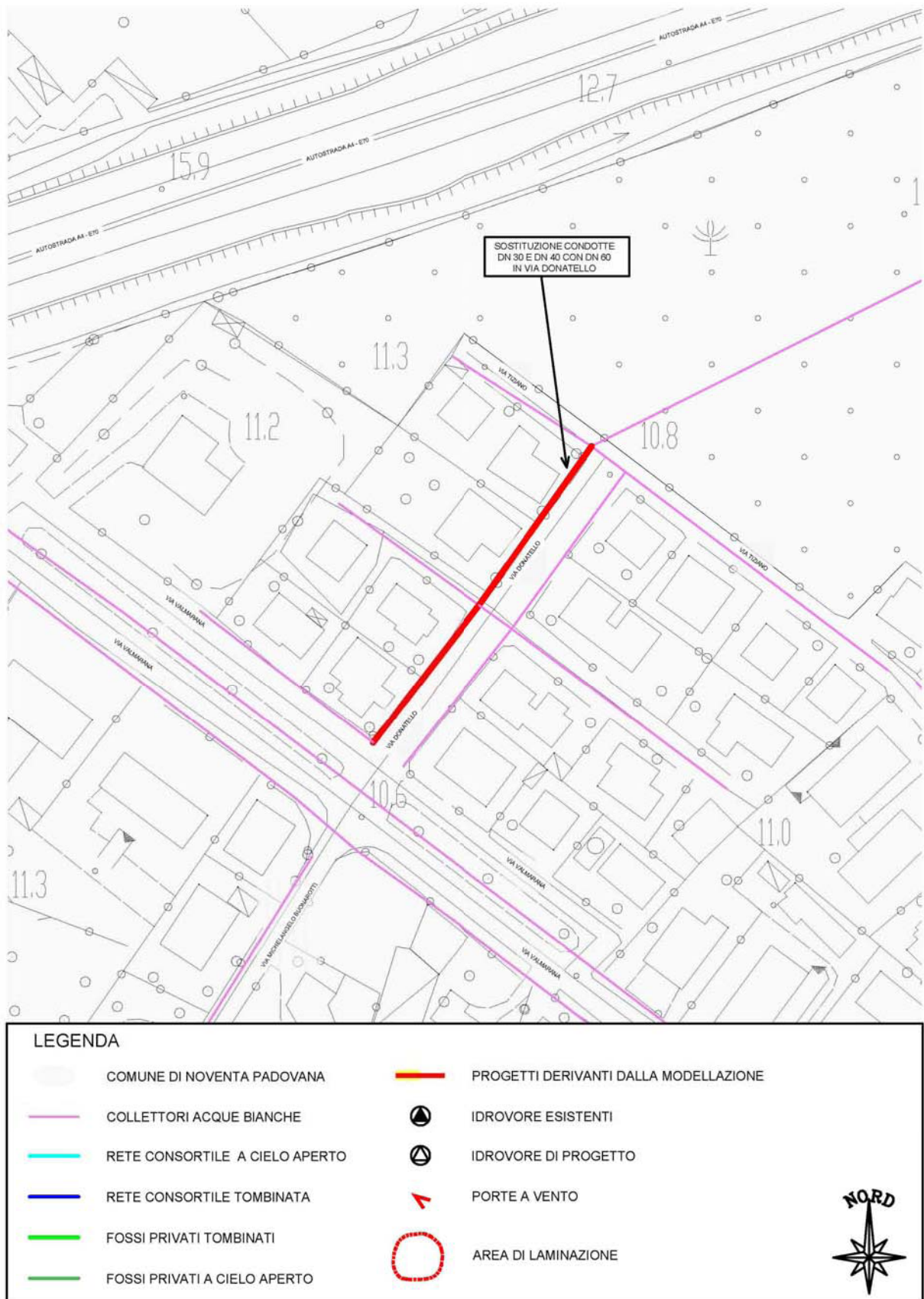


Figura 4-9: Interventi proposti a risoluzione della criticità 21.

4.1.1.2 VERIFICA IDRAULICA NELLO SCENARIO DI COMPLETAMENTO DEGLI INTERVENTI PREVISTI

Con l'ausilio del modello matematico utilizzato per la simulazione dello stato di fatto si è proceduto alla verifica idraulica degli interventi proposti a risoluzione delle criticità evidenziate. Nelle figure successive si presentano i risultati ottenuti che dimostrano come le opere previste annullino i problemi riscontrati nel bacino a fronte di eventi con tempo di ritorno pari a 20 anni.

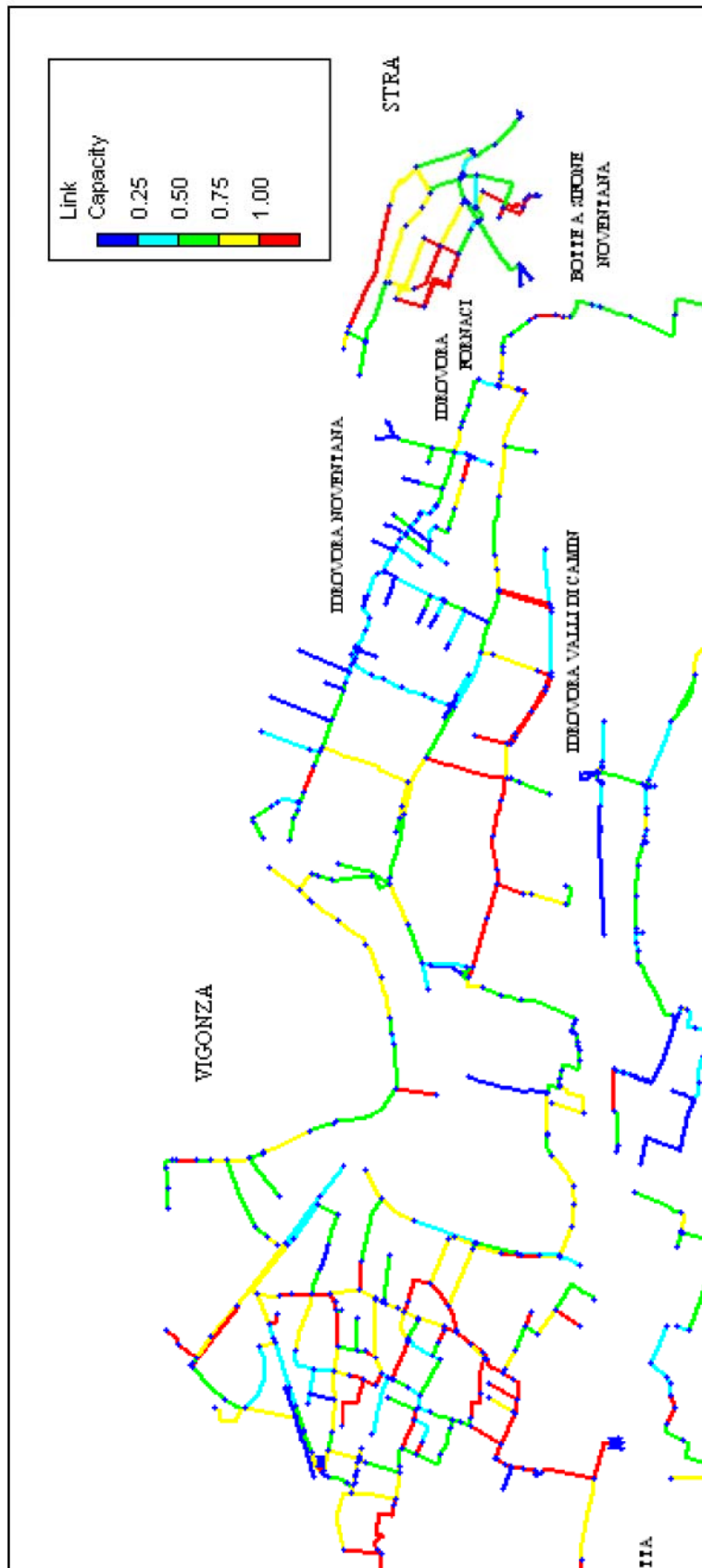


Figura 4-10: Grado di riempimento e punti di esondazione a 60 minuti dall'inizio dell'evento di durata 1 ora.

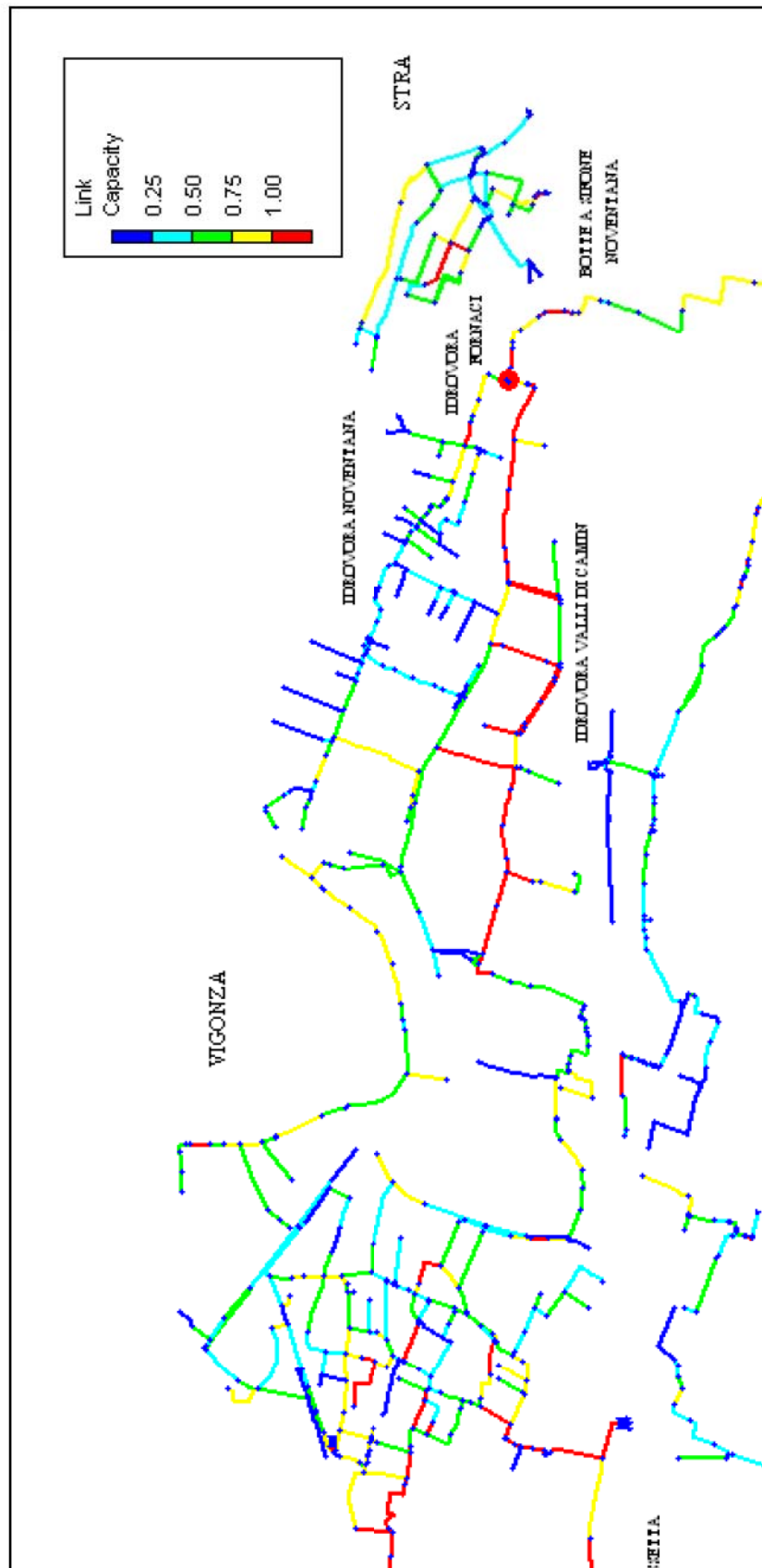


Figura 4-11: Grado di riempimento e punti di esondazione a 180 minuti dall'inizio dell'evento di durata 3 ore. La criticità presente in corrispondenza dell'Idrovora Fornaci non è da ritenersi tale in quanto la sua gestione permette di evitare esondazioni; lo scarico è comunque garantito grazie all'Idrovora Noventana.

Nel seguito si riportano, invece, i nuovi profili dei collettori a seguito degli interventi per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

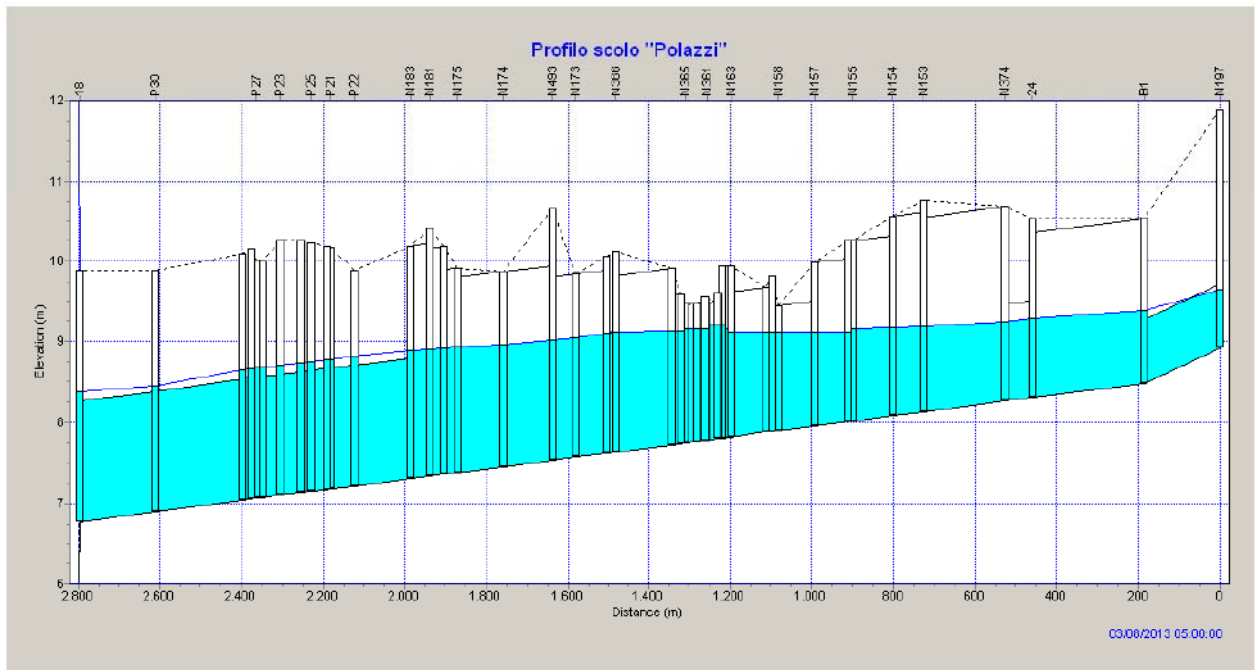


Figura 4-12: Profilo dello scolo “Polazzi” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

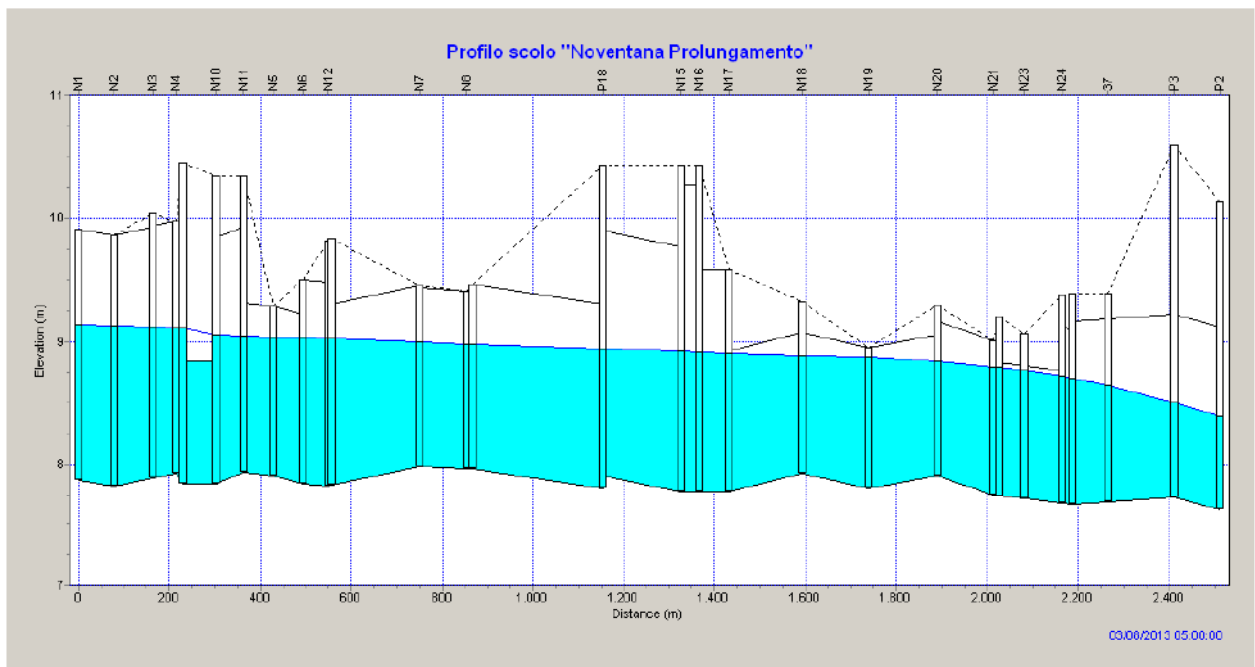


Figura 4-13: Profilo dello scolo “Noventana Prolungamento” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

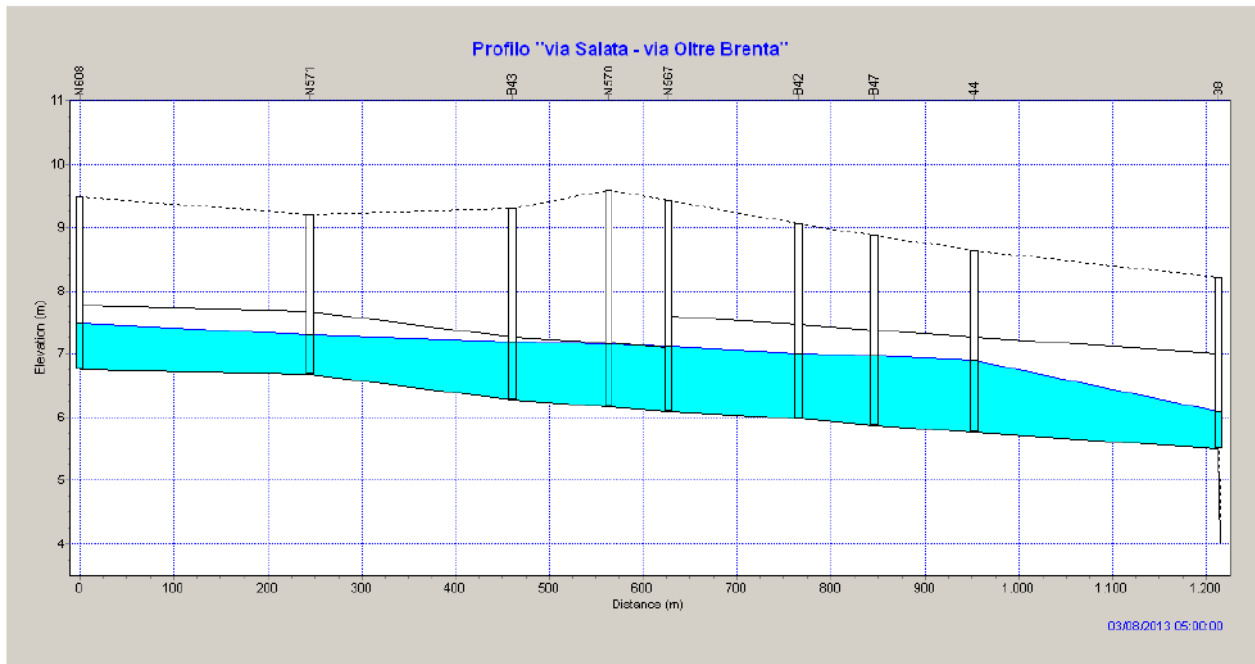


Figura 4-14: Profilo "via Salata – via Oltre Brenta" per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

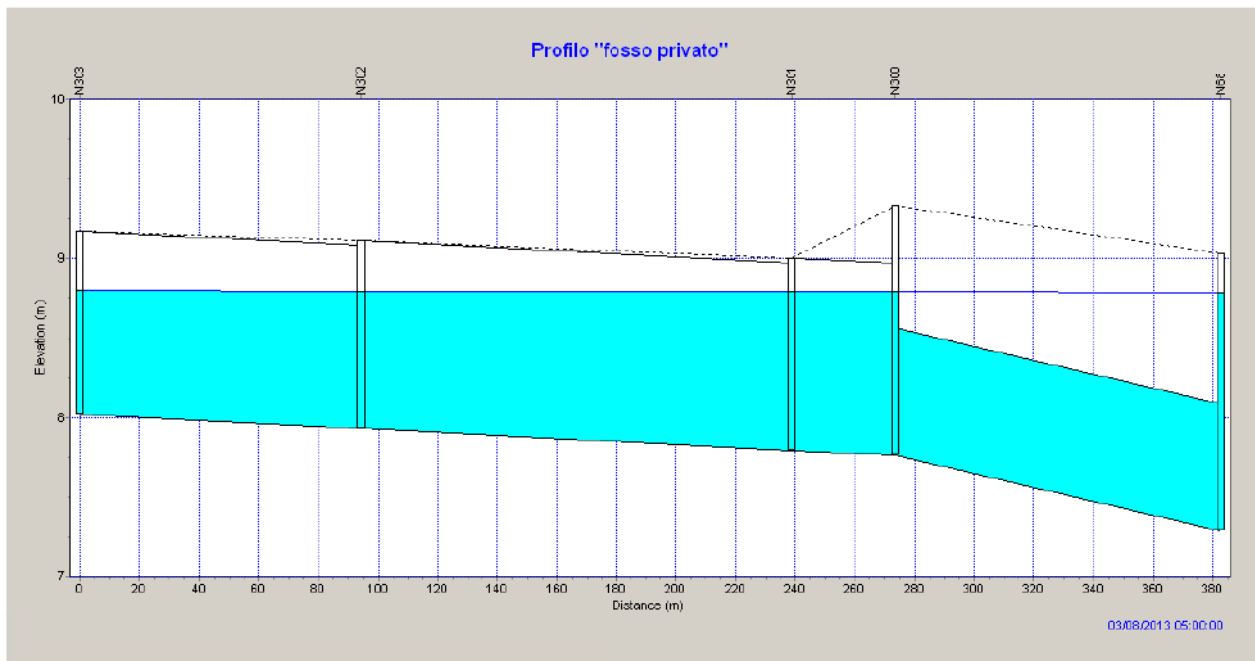


Figura 4-15: Profilo "fosso privato" per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

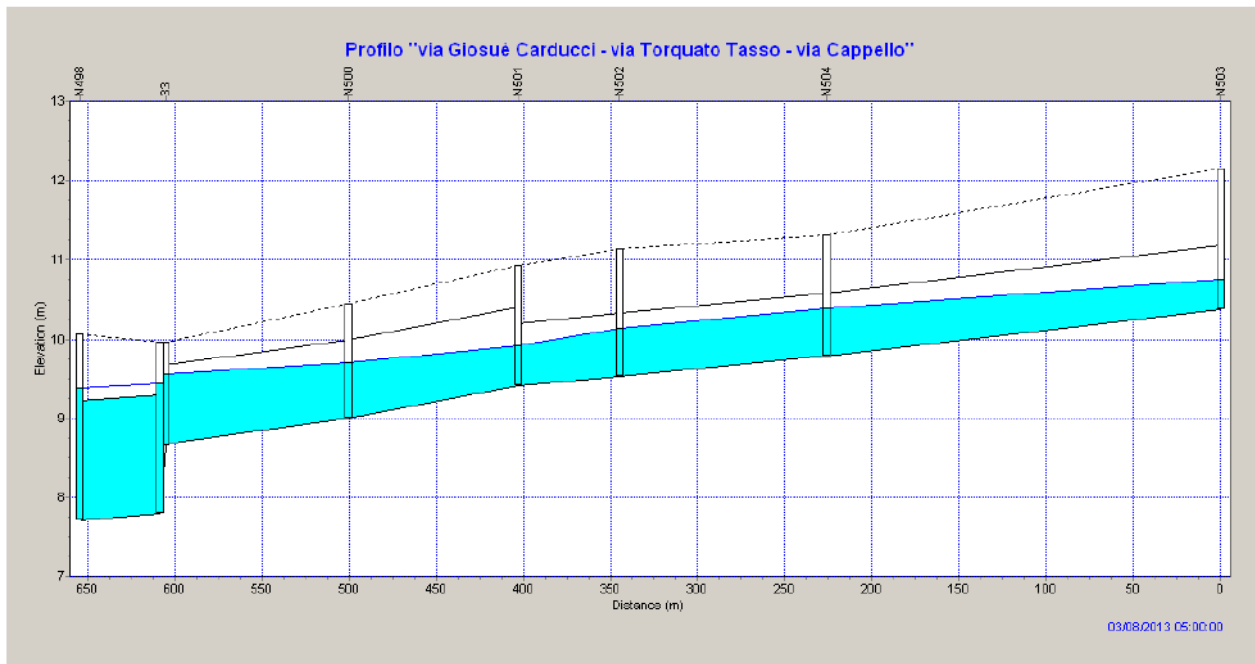


Figura 4-16: Profilo “via Giosuè Carducci – via Torquato Tasso – via Cappello” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

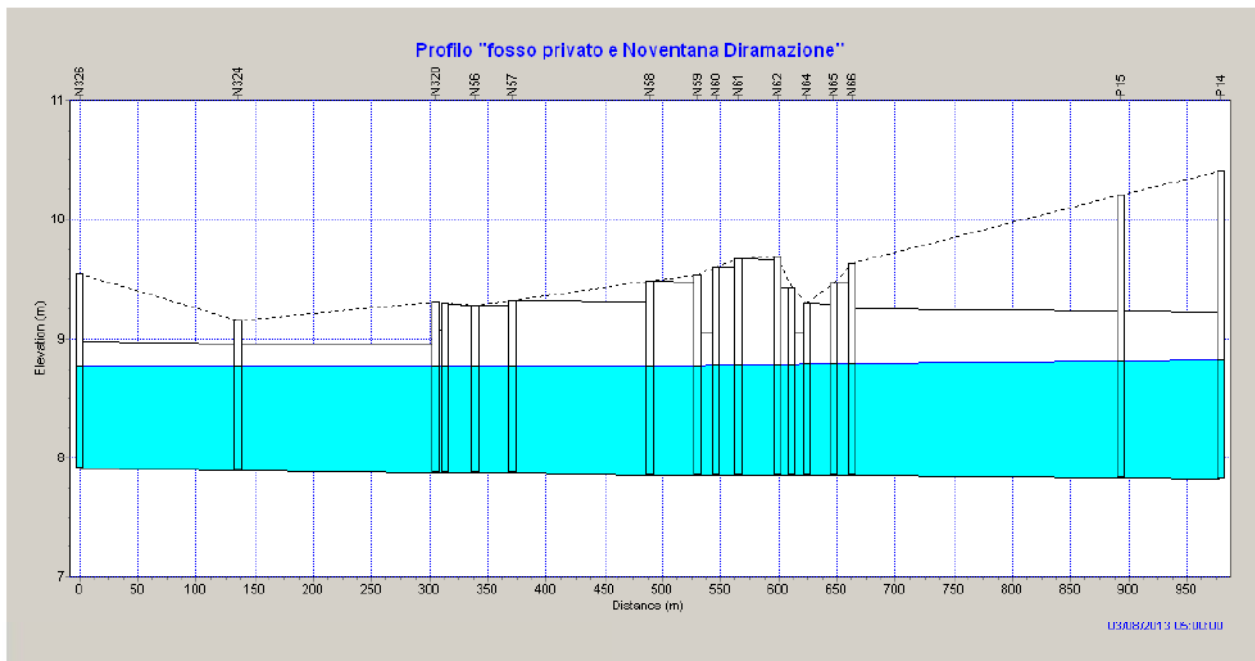


Figura 4-17: Profilo “fosso privato e Noventana Diramazione” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

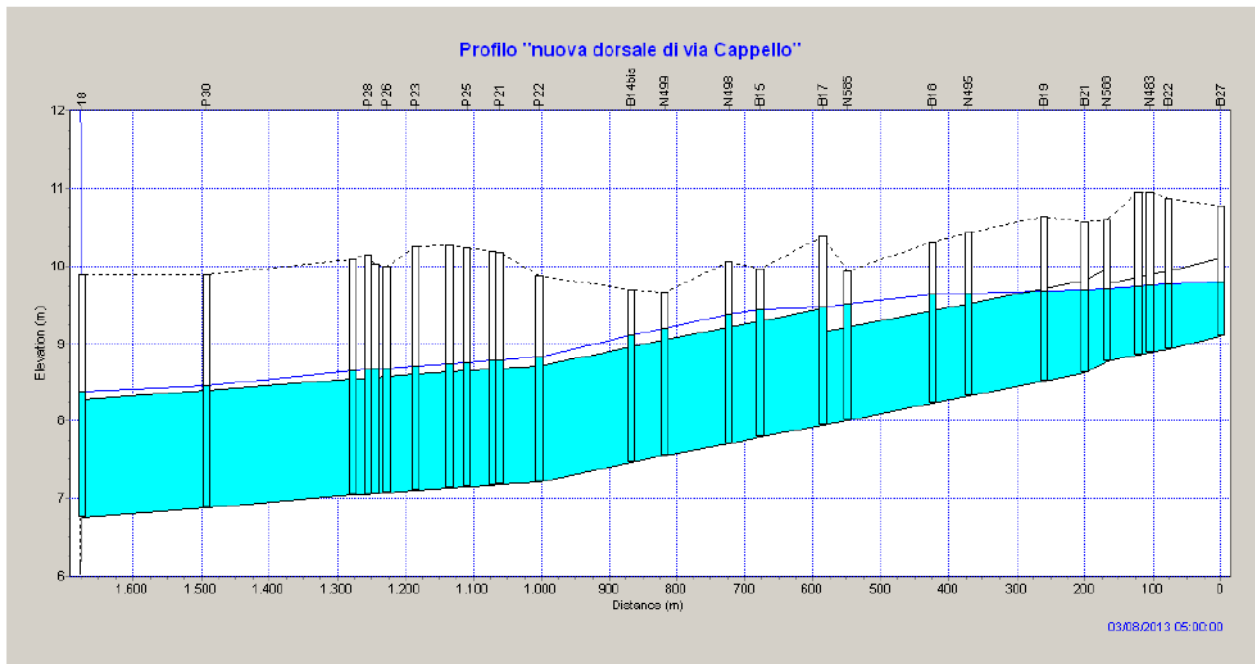


Figura 4-18: Profilo “nuova dorsale di via Cappello” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

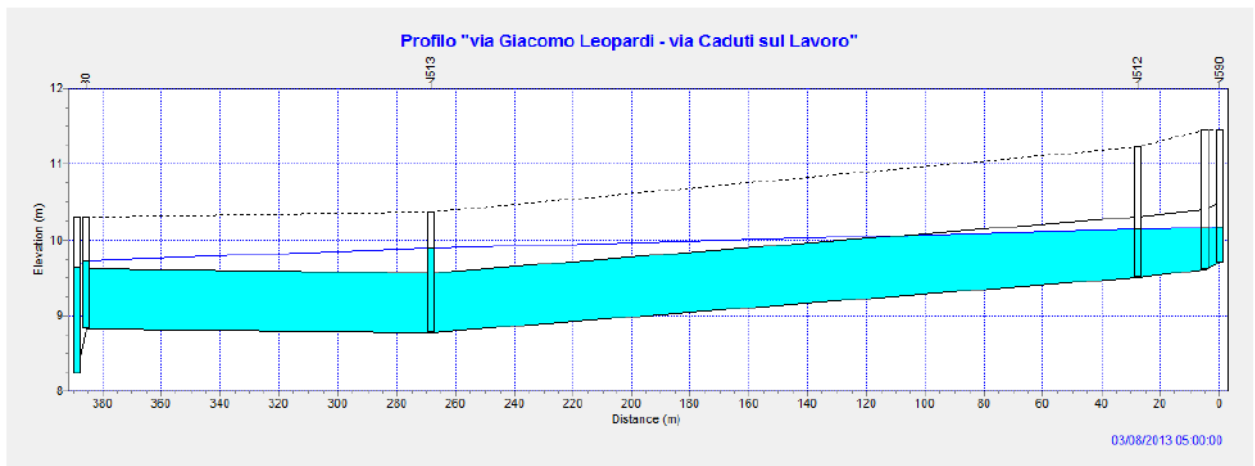


Figura 4-19: Profilo “via Giacomo Leopardi – via Caduti sul Lavoro” per un evento di durata 1 ora e tempo di ritorno 20 anni.

Si riportano anche i profili dei collettori della rete tubata per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

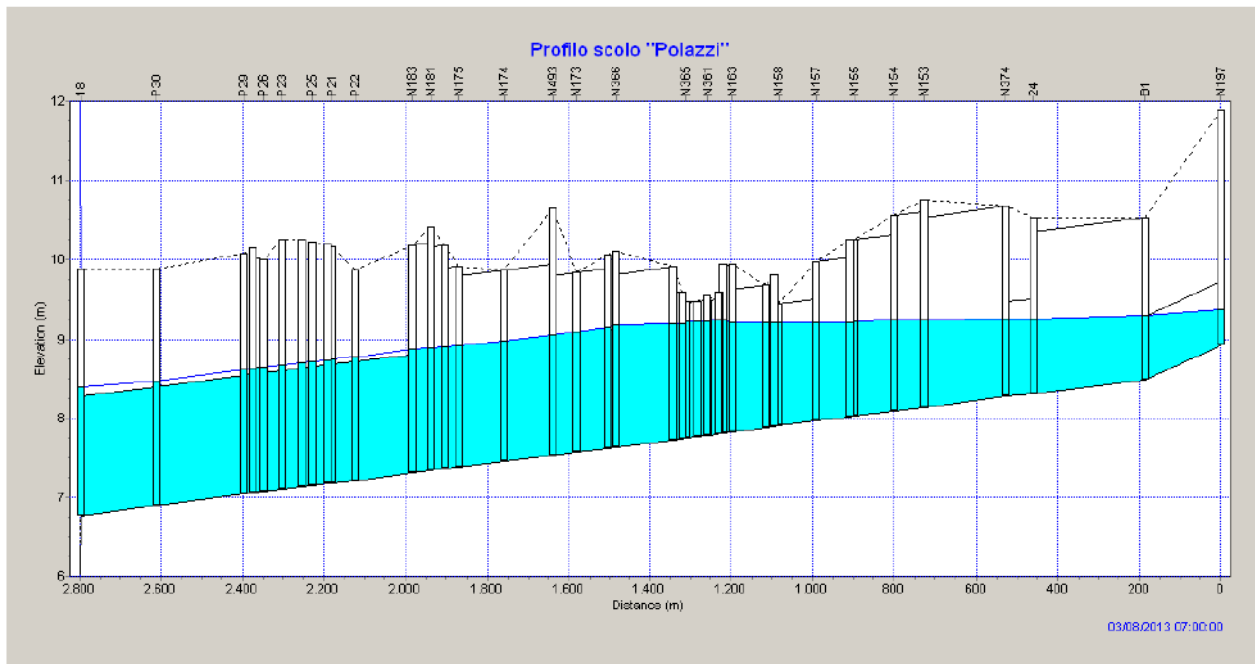


Figura 4-20: Profilo dello scolo “Polazzi” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

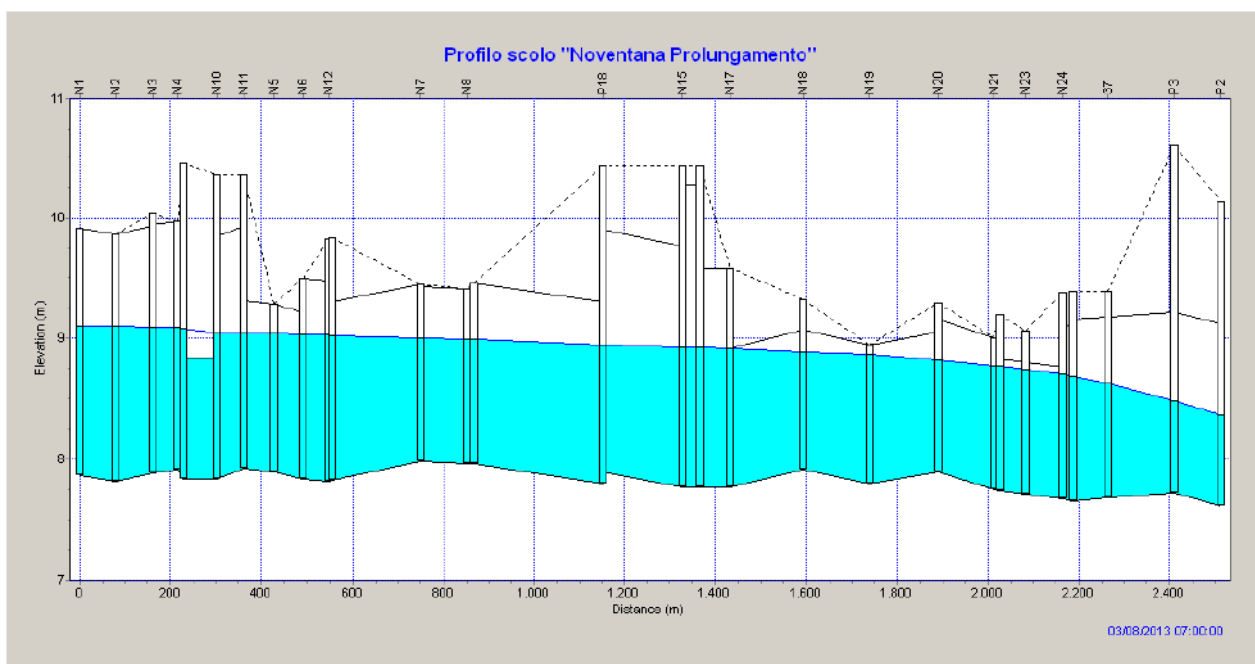


Figura 4-21: Profilo dello scolo “Noventana Prolungamento” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

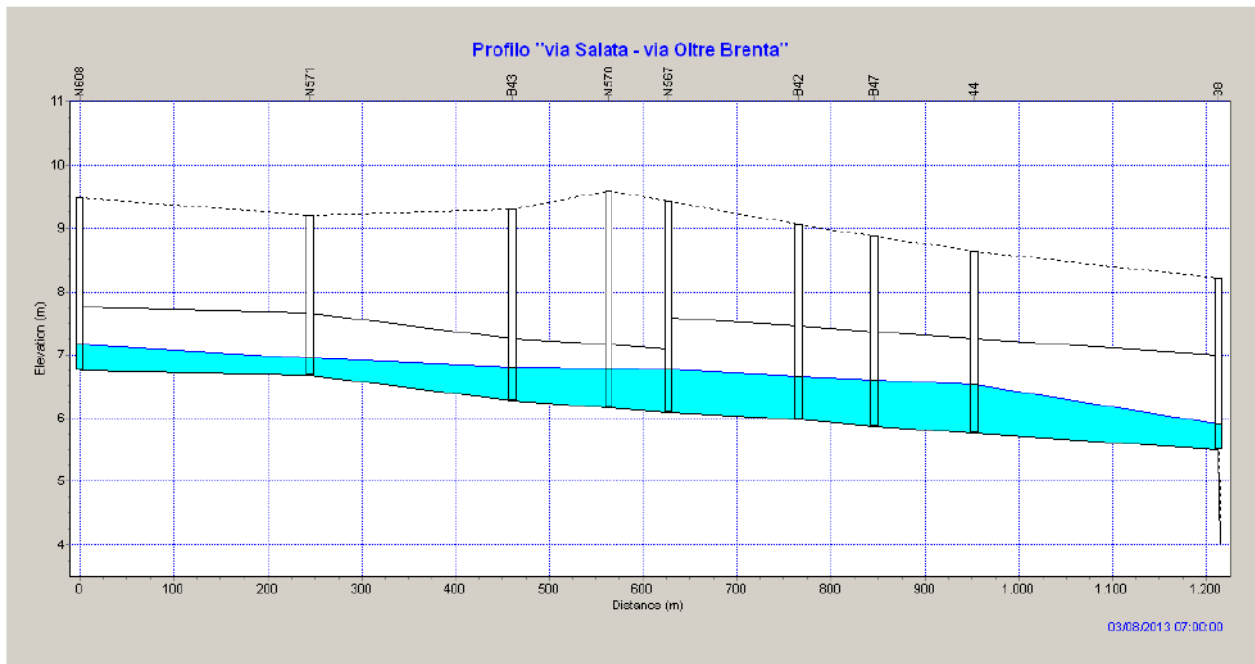


Figura 4-22: Profilo “via Salata – via Oltre Brenta” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

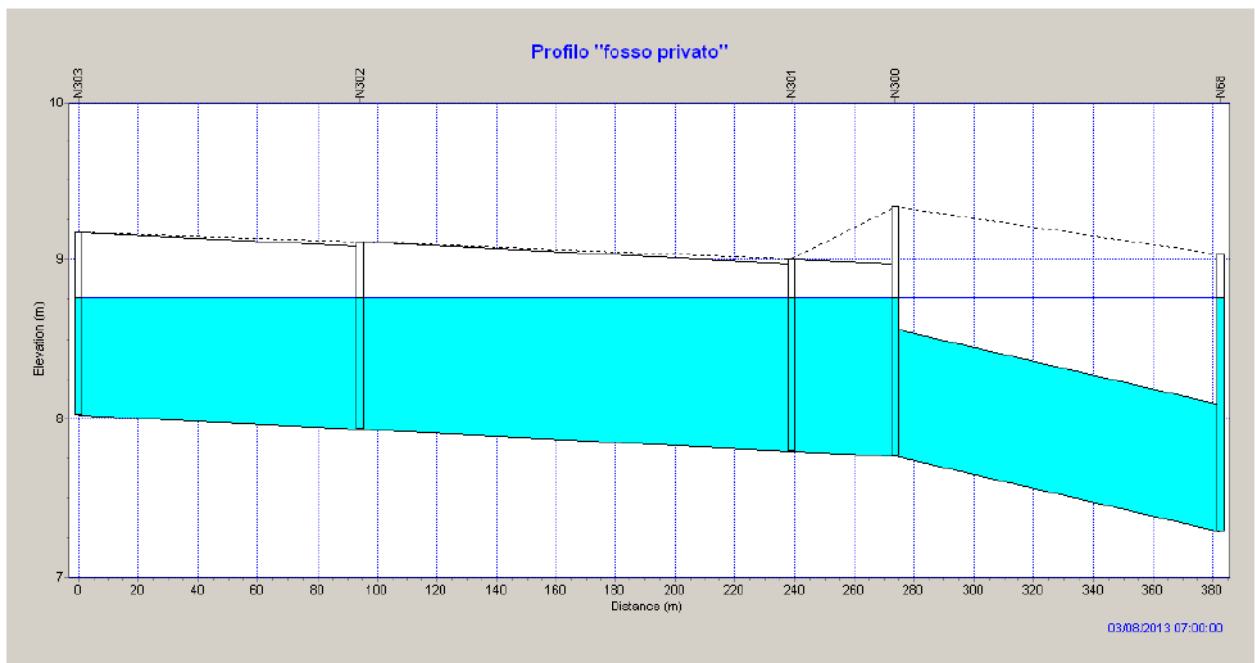


Figura 4-23: Profilo “fosso privato” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

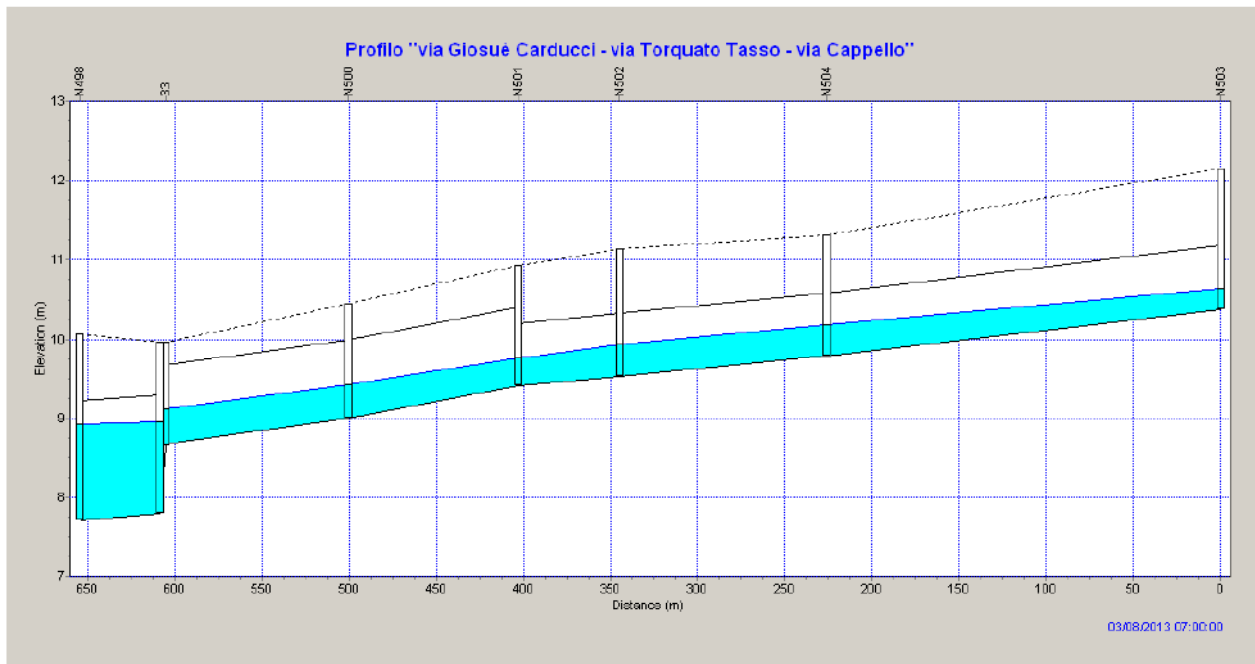


Figura 4-24: Profilo “via Giosuè Carducci – via Torquato Tasso – via Cappello” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

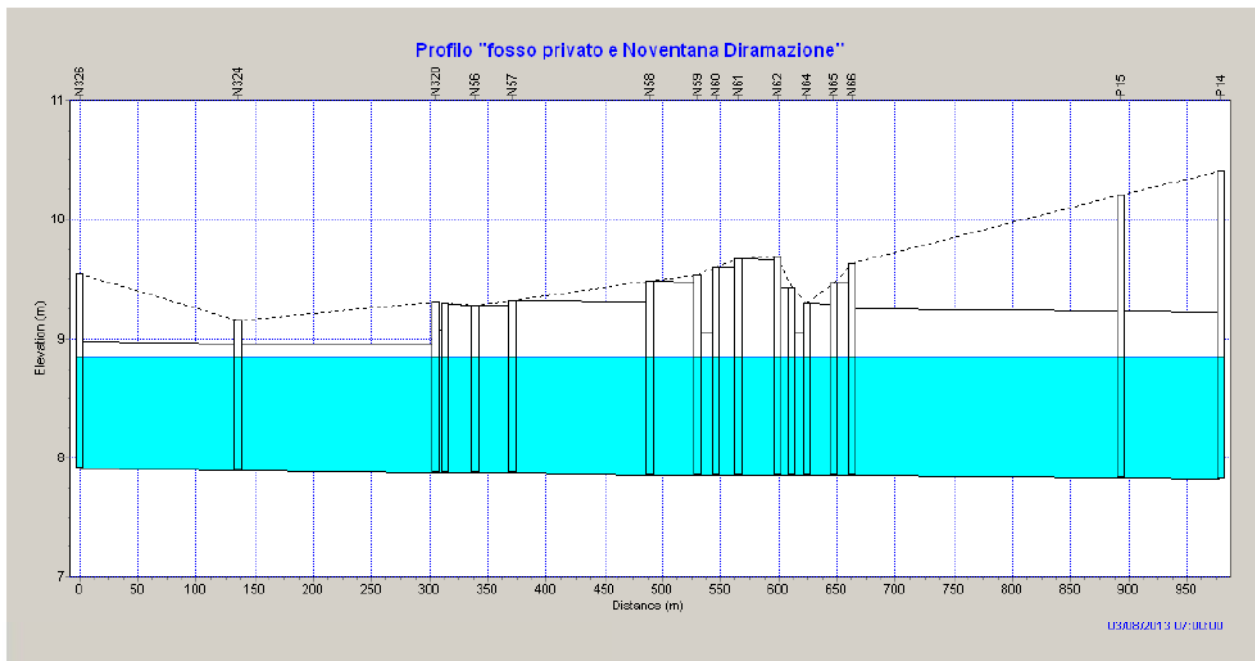


Figura 4-25: Profilo “fosso privato e Noventana Diramazione” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

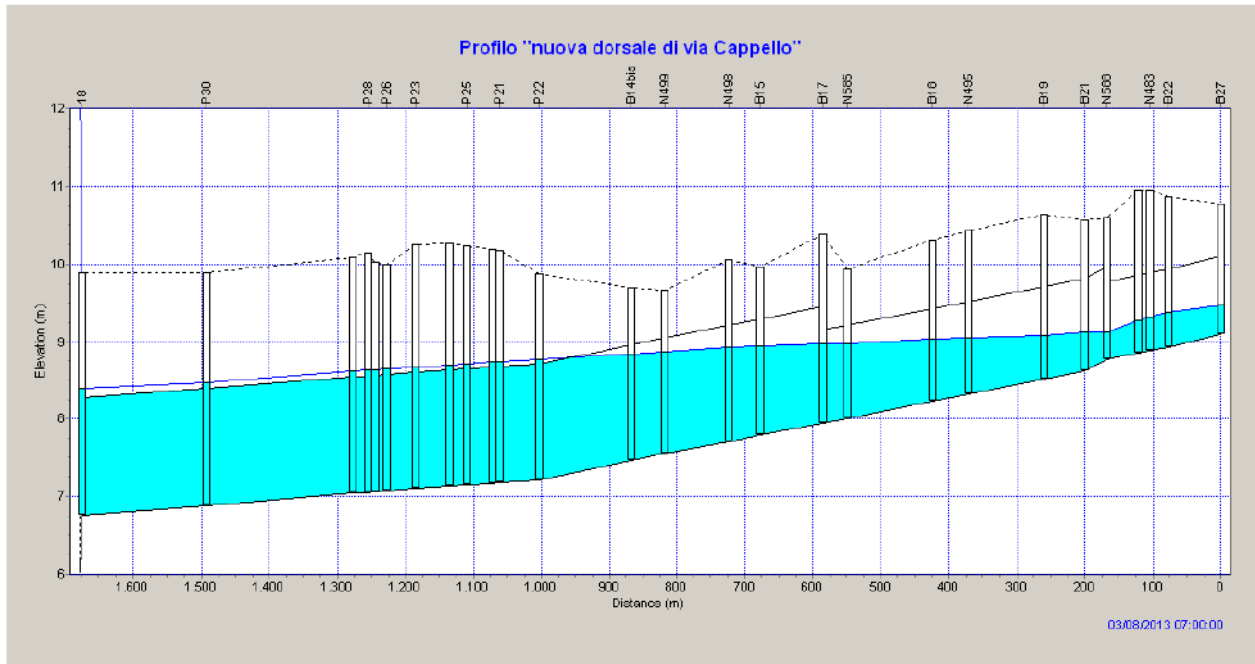


Figura 4-26: Profilo “nuova dorsale di via Cappello” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

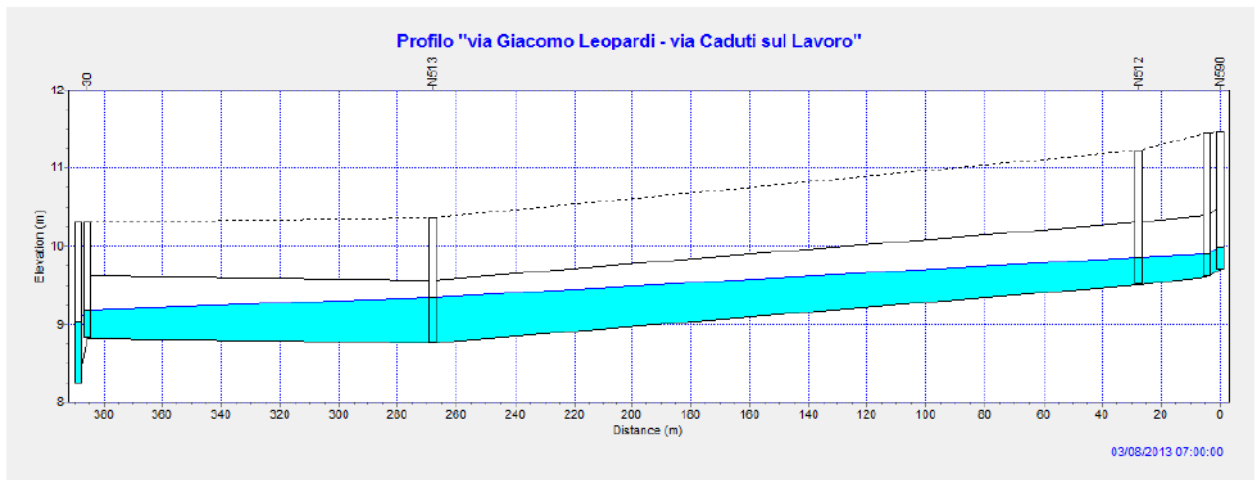


Figura 4-27: Profilo “via Giacomo Leopardi – via Caduti sul Lavoro” per un evento di durata 3 ore e tempo di ritorno 20 anni.

5 APPENDICE: DESCRIZIONE DEL MODELLO DI CALCOLO EPA SWMM

5.1 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.

SWMM inizialmente è stato sviluppato nel 1971 e da allora ha subito parecchi aggiornamenti importanti. Continua ad essere ampiamente usato per la progettazione e analisi di eventi di precipitazione eccezionale, fognature miste, fognature sanitarie ed altre reti di fognatura nelle aree urbane, con molte applicazioni nelle zone non-urbane per reti di canali.

SWMM 5 fornisce un ambiente integrato per la pubblicazione dei dati di input di zona di studio, le simulazioni di qualità idrologica, idraulica e dell'acqua e dell'esame dei risultati in una varietà di disposizioni. Questi includono i programmi *color-coded* del sistema di zona e del trasporto di drenaggio, grafici e tabelle di serie cronologiche, diagrammi di profilo ed analisi di frequenza statistiche.

SWMM rappresenta i vari processi idrologici che producono il deflusso dalle aree urbane. Questi includono:

- precipitazioni;
- evaporazione d'acqua;
- accumulo e scioglimento della neve;
- infiltrazione di pioggia negli strati insaturi del terreno;
- percolazione di acqua infiltrata negli strati dell'acqua freatica;

- interflow fra acqua freatica e la rete di fognatura;

La variabilità spaziale di questi processi è realizzata dividendo la zona di studio in sottobacini, *subcatchment*, ognuna delle quali sarà divisa sulla base dell'area permeabile ed impermeabile. Il flusso terrestre può essere diretto fra i *subcatchments*, o nei punti di entrata di una rete di fognatura.

SWMM inoltre contiene un insieme flessibile di possibilità per la modellazione idraulica usate per dirigere le portate e le affluenze esterne attraverso la rete di fognatura delle condotte, dei canali, delle unità di trattamento e di invaso e delle strutture di diversione. Questi includono:

- rete di drenaggio con numero di maglie illimitato;
- impiego di un'ampia varietà di figure chiuse standard ed aperte delle condotte come pure per canali naturali;
- elementi speciali di modello quali le unità trattamento/di invaso, i divisori di flusso, le pompe, gli stramazzi e luci di fondo;
- applicare i flussi e gli input esterni di qualità dell'acqua alle acque di superficie, dal interflow dell'acqua freatica, dall'infiltrazione pioggia-dipendente/dall'affluenza, dal flusso sanitario del tempo asciutto e dalle affluenze prestabilite dall'utente;
- utilizzare l'onda cinematica o i metodi di percorso dinamici completi di flusso dell'onda;
- modellare i vari regimi di flusso, come lo stagno, il sovraccarico, il flusso d'inversione ed accumulazione di superficie;
- applicare le regole dinamiche prestabilite dall'utente di controllo per simulare il funzionamento delle pompe, delle aperture dell'orifizio e dei livelli della sommità degli sbarramenti;

Oltre che alla modellazione, generazione e trasporto dei flussi, SWMM può anche valutare la produzione dei carichi inquinanti connessi al deflusso. SWMM è stato impiegato in numerosi studi relativi a precipitazioni intense. Le applicazioni tipiche includono:

- disegno dei componenti della rete di fognatura e di canali per controllo dell'inondazione;
- tracciato normale dell'inondazione dei sistemi naturali della scanalatura (SWMM 5 è un modello FEMA-approvato per gli studi di NFPI);
- progettazione delle strategie di controllo per la minimizzazione dei trabocchi della rete fognaria.

5.2 DESCRIZIONE MATEMATICA DEL MODELLO DI CALCOLO

5.2.1 EQUAZIONI GENERALI

Il metodo dell'onda dinamica risolve le equazioni monodimensionali di De Saint Venant. Queste equazioni consistono nell'equazione di continuità e dei momenti, espresse nel seguente modo:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0; \quad \text{equazione di continuità}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f + gAh_L = 0; \quad \text{equazione dei momenti}; \quad (2)$$

dove, x è la distanza lungo la condotta, t è la variabile temporale, A l'area liquida trasversale nella condotta, Q la portata defluita, H è il livello idraulico dell'acqua nella condotta (termine potenziale più eventuale termine di pressione), S_f la pendenza d'attrito, h_L è la locale perdita di energia per unità di lunghezza della condotta, e g l'accelerazione di gravità.

Data la geometria della condotta, l'area A risulta funzione del tirante idrico y il quale può essere ottenuto dall'altezza H . Pertanto le variabili dipendenti in queste equazioni sono la portata Q e l'altezza H , a sua volta funzioni della distanza x e del tempo t .

Il termine S_f viene espresso in termini delle equazione di Manning come:

$$S_f = \frac{n^2 \cdot V \cdot |V|}{k^2 \cdot R^{4/3}};$$

Dove n è il coefficiente di scabrezza secondo Manning, V la velocità di flusso (pari al rapporto tra la portata Q e la sezione di area liquida trasversale A , R è il raggio idraulico della sezione di flusso, e $k=1,49$ nell'unità US e $1,0$ nel sistema metrico. Il termine che tiene conto della normale

perdita di energia h_L può essere espresso come $\frac{K \cdot V^2}{2 \cdot g \cdot L}$ dove K è il coefficiente di perdita in

corrispondenza della posizione x e L la lunghezza della condotta.

Per risolvere le equazioni (1) e (2), su una singola condotta, sono richieste una serie di condizioni iniziali per H e Q al tempo 0 come condizioni al contorno per $x=0$ e $x=L$ per la durata della simulazione.

Quando si analizza una rete di condotte, è necessario inserire una relazione aggiuntiva di continuità per i nodi che connettono due o più condotte. In SWMM la continuità del pelo libero si presume che esista tra il tirante al nodo e quello corrispondente alla condotta in ingresso e uscita

(ad eccezione dei nodi a caduta libera). Il cambiamento nel pelo libero H al nodo al variare del tempo può essere espresso come segue :

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q}{A_{store} + \sum A_s}; \quad (3)$$

Dove A_{store} è l'area liquida al nodo, $\sum A_s$ è la somma delle superficie liquide delle condotte connesse al nodo, e $\sum Q$ è la portata netta all'interno del nodo (portate in arrivo – portate rilasciate), contributo di tutte le condotte connesse al nodo ed eventuali contributi esterni imposti. Il tirante idrico alla fine di una condotta connessa ad un nodo può essere computato come differenza tra la grandezza H al nodo e la quota della condotta.

5.2.2 SOLUZIONE GENERICA PER I TRATTI

Le equazioni (1), (2) e (3) sono risolte in SWMM convertendole in una serie esplicita alle differenze finite che computano il flusso in ogni condotta ed il livello al nodo al tempo come funzioni del valore noto al tempo t. Le equazioni risolte per il flusso in ogni tratto (condotta) sono:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{Q_t + \Delta Q_{gravity} + \Delta Q_{inertial}}{1 + \Delta Q_{friction} + \Delta Q_{losses}}; \quad (4)$$

I termini individuali ΔQ sono stati così nominati per il tipo di forze che rappresentano e sono dati dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} \Delta Q_{gravity} &= g \bar{A} \cdot (H_1 - H_2) \cdot \Delta t / L; \\ \Delta Q_{inertial} &= 2\bar{V} \cdot (\bar{A} - A_t) + V^2 \cdot (A_2 - A_1) \cdot \Delta t / L; \\ \Delta Q_{friction} &= \frac{g \cdot n^2 \cdot |\bar{V}| \cdot \Delta t}{k^2 \cdot \bar{R}^{4/3}}; \\ \Delta Q_{losses} &= \frac{\sum_i K_i \cdot |V_i| \cdot \Delta t}{2L}; \end{aligned}$$

dove:

\bar{A} area liquida media nella condotta;

\bar{R} Raggio idraulico medio nella condotta;

- \bar{V} Velocità di flusso medio all'interno della condotta;
- V_i Velocità di flusso locale alla posizione i lungo la condotta;
- K_i coefficiente di perdita locale alla posizione i lungo la condotta;
- H_1 livello al nodo di monte della condotta;
- H_2 livello al nodo di valle nella condotta;
- A_1 area trasversale all'estremità di monte della condotta;
- A_2 area trasversale all'estremità di valle della condotta.

L'equazione risolta per il livello in ogni nodo è la seguente:

$$H_{t+\Delta t} = H_t + \frac{\Delta Vol}{(A_{store} + \sum A_s)_{t+\Delta t}}; \quad (5)$$

Dove ΔVol rappresenta il volume netto defluito attraverso il nodo terminato il passo temporale e dato dalla seguente relazione:

$$\Delta Vol = 0,5 \left[\left(\sum Q \right)_t + \left(\sum Q \right)_{t+\Delta t} \right] \cdot \Delta t;$$

Il modello SWMM risolve l'equazioni (4) e (5) usando un metodo di approssimazioni successive di seguito discusse.

- Una prima stima del flusso in ogni condotta al tempo $t + \Delta t$ è svolta dalla soluzione dell'equazione (4) usando i livelli, le aree e le velocità trovate al tempo corrente t . Successivamente lo stesso viene fatto per livelli mediante la valutazione dell'espressione (5) usando le portate appena computate. Queste soluzioni sono denominate come Q^{last} e H^{last} .
- L'espressione (4) viene risolta nuovamente, inserendo livelli, aree e velocità che appartengono ai valori Q^{last} e H^{last} appena computati. Un fattore Ω è impiegato per combinare il nuovo flusso stimato Q^{new} , con la stima precedente Q^{last} secondo l'equazione $Q^{new} = (1 - \Omega) \cdot Q^{last} + \Omega \cdot Q^{new}$ per la produzione del valore aggiornato di Q^{new} ;
- L'espressione (5) è risolta nuovamente per livelli impiegati per la stima di Q^{new} . Come per le portate, questa nuova soluzione per il livello, H^{new} è pesato con H^{last} per produrre una stima aggiornata per i livelli $H^{new} = (1 - \Omega) \cdot H^{last} + \Omega \cdot H^{new}$;
- Se H^{new} è abbastanza vicino a H^{last} il processo si arresta con Q^{new} e H^{new} come soluzioni al tempo $t + \Delta t$. Diversamente, H^{last} e Q^{last} sono sostituiti rispettivamente con Q^{new} e H^{new} , ed il procedimento ritorna al punto 2.

Nell'implementare questa procedura, il programma impiega un fattore di relazione costante Ω di 0,5, una tolleranza di convergenza di 0,005 ai nodi, e limite il numero di iterazioni a quattro.

5.2.3 CALCOLO DELLE CARATTERISTICHE MEDIE DEI TRATTI

La valutazione della portata, aggiornata mediante l'eq. (4), richiede valori per l'area media (\bar{A}) , raggio idraulico (\bar{R}) , e velocità (\bar{V}) dall'inizio alla fine di ogni tratto (condotta) in questione. Il programma calcola questi valori usando i livelli H1 e H2, dai quali possono essere derivati i corrispondenti valori dei tiranti idrici y_1 e y_2 .

La profondità media \bar{y} è dunque calcolata sulla base di questi valori ed è impiegato nella sezione trasversale della condotta per il calcolo del valore medio di (\bar{A}) e raggio idraulico (\bar{R}) .

Il valore medio di velocità (\bar{V}) è determinato da rapporto tra il flusso corrente e l'area media.

Il programma limita questa velocità a valori non superiori a 50 ft/sec in valore assoluto, tale da non permettere alla frazione di flusso contenuta nell'eq. (4) di diventare illimitata.

Quando la condotta è a caduta libera all'interno di uno dei nodi (significa che il livello dell'acqua nel nodo è sotto la quota di fondo della condotta), la profondità alla fine della condotta è equivalente al più piccolo tra la profondità critica e la profondità in condizioni di moto uniforme per la corrente attraverso la condotta.

5.3 DESCRIZIONE DEL PROCESSO FISICO DI FORMAZIONE DEI DEFLUSSI

Per stimare l'idrogramma di piena, ovvero la successione cronologica dei valori di portata che si verificano alla sezione di chiusura di un bacino con il relativo valore di colmo a partire dalla conoscenza della precipitazione di progetto, è necessario utilizzare un modello di trasformazione afflussi-deflussi.

La simulazione mediante modelli matematici del processo di trasformazione delle precipitazioni in deflussi, che si verifica in un bacino idrografico, per la complessità dei fenomeni fisici coinvolti, rende necessaria l'introduzione di semplificazioni che riguardano sia le leggi che governano le varie fasi del processo che la rappresentazione geomorfologica ed idrografica del bacino stesso.

Per meglio comprendere il modello afflussi-deflussi, occorre descrivere sinteticamente i processi che avvengono all'interno del bacino quando si verifica su di esso un evento di precipitazione di una certa entità.

Quando l'acqua meteorica raggiunge il terreno (dopo un eventuale processo di intercettazione da parte della vegetazione) parte di essa evapora e ritorna nell'atmosfera; tale processo risulta però trascurabile nel caso di precipitazioni intense di breve durata.

L'acqua sul terreno in parte si infiltra nel suolo, inizialmente in quantità elevata e con velocità sempre più ridotta al procedere della precipitazione fino a quando l'intensità della pioggia supera la capacità di infiltrazione del terreno; a questo punto l'acqua che cade non riesce più tutta ad infiltrarsi per cui il surplus rimane sulla superficie del terreno ristagnando o dando luogo ad uno scorrimento sui versanti del bacino.

Si formano quindi dei rigagnoli ad andamento irregolare che si raccolgono in una rete di rigagnoli di maggiori dimensioni al procedere dello scorrimento fino ad immettersi nella rete drenante vera e propria, qui si forma un'onda di piena che trasferisce la propria forma nella rete collettoria con un processo di propagazione.

5.3.1 MECCANISMO DI GENERAZIONE DEI DEFLUSSI SUPERFICIALI

Nel modello utilizzato i meccanismi di generazione dei deflussi superficiali risultano diversi a seconda che il suolo su cui cade l'acqua meteorica sia impermeabilizzato (nel caso cioè di zone urbanizzate) o meno.

Qui di seguito vengono descritti i modelli di filtrazione e detenzione superficiali assunti alla base delle simulazioni effettuate.

Aree permeabili

Per quanto concerne le aree non impermeabilizzate dall'intervento antropico, si è utilizzato il modello hortoniano di generazione dei deflussi superficiali.

Si è quindi ipotizzato 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.

La formulazione matematica del processo di infiltrazione sopra descritto è riassumibile nella curva di Horton:

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

dove:

- $f(t)$ è la capacità di infiltrazione nel tempo espressa in mm/h;
- f_0 è l'infiltrazione massima che si verifica al 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 .

Ogni suolo è quindi caratterizzato da quattro parametri f_0 , f_c e k e la detenzione superficiale d_s .
Dai dati disponibili in letteratura e dai test di validità del modello effettuati con misure sperimentali e tramite confronto con altri modelli matematici, si può ritenere che il coefficiente k può assumersi pari 4.14 h^{-1} .

Aree impermeabili

Per le aree impermeabilizzate dagli insediamenti antropici, la pioggia netta efficace è stata ottenuta mediante la sola sottrazione della detenzione superficiale.

5.3.2 FORMULAZIONE DEL MODELLO MATEMATICO

Il modello utilizzato è un modello concettuale che si basa sulla schematizzazione separata delle aree permeabili e di quelle impermeabili come due serbatoi lineari in parallelo.

Dato uno ietogramma efficace qualsiasi è possibile per ogni parte del bacino (permeabile ed impermeabile) determinare per convoluzione l'idrogramma dei deflussi superficiali corrispondenti per poi sommarli ed ottenere quindi l'idrogramma di piena della totalità del bacino.

La precipitazione elementare avente un volume:

$$dV = I(\tau) dt$$

genera un idrogramma che si ottiene da quello dell'idrogramma unitario (generato da una precipitazione netta di volume unitario) moltiplicando le ordinate per dV .

L'ordinata dell'idrogramma al tempo t sarà data dalla somma dei contributi delle precipitazioni elementari di durata $d\tau$ compresa tra 0 e t , ovvero dal seguente integrale denominato integrale di convoluzione:

$$Q(t) = \int_0^t u(t - \tau) \cdot I(\tau) \cdot d\tau .$$

Per la determinazione dell'idrogramma unitario, si ricorre alla schematizzazione separata degli apporti provenienti dalle aree permeabili ed impermeabili del bacino che vengono schematizzate

mediante due serbatoi lineari aventi cioè la seguente relazione tra portata uscente e volume invasato:

$$V = K \cdot Q.$$

Si consideri l'equazione di continuità dei serbatoi:

$$I(t) - Q(t) = \frac{dV}{dt} = K \cdot \frac{dQ}{dt},$$

moltiplicando entrambi i membri per $e^{\frac{t}{k}}$ si ottiene:

$$e^{\frac{t}{k}} \cdot I(t) = e^{\frac{t}{k}} \cdot Q(t) + e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} \left[e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t) \right]$$

e quindi integrando tra 0 e t si ottiene:

$$\int_0^t e^{\frac{\tau}{k}} \cdot I(\tau) \cdot d\tau = \int_0^t \frac{d}{dt} \left[e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t) \right] \cdot dt = e^{\frac{t}{k}} \cdot K \cdot Q(t).$$

Si ottiene perciò:

$$Q(t) = \int_0^t \frac{e^{-\frac{t-\tau}{k}}}{K} \cdot I(\tau) \cdot d\tau$$

che confrontata con l'integrale di convoluzione fornisce:

$$u(t) = \frac{e^{-\frac{t}{k}}}{K}.$$

Il valore del coefficiente di invaso K per entrambi i serbatoi (che simulano l'area impermeabile e quella permeabile rispettivamente) si ottiene dalla seguente relazione basata sulla teoria dell'onda cinematica:

$$K = \frac{a \cdot L^{0.6} \cdot n^{0.6}}{I_{MAX}^{0.4} \cdot S^{0.3}} \quad \text{dove:}$$

K è il coefficiente di invaso;

L è la lunghezza del bacino;

I_{MAX} è l'intensità massima della pioggia netta;

n è il coefficiente di scabrezza superficiale di Manning;

S è la pendenza del bacino.