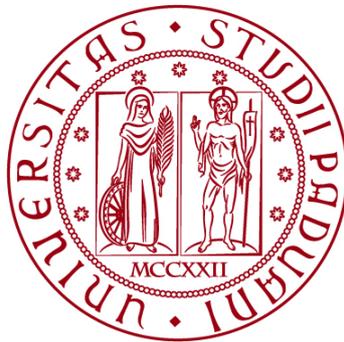


UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E AMBIENTALE
Department Of Civil, Environmental and Architectural Engineering

Corso di Laurea in Ingegneria Civile



TESI DI LAUREA

**Dimensionamento della rete di drenaggio di Agordo a
seguito della tempesta Vaia**

Relatore: Chiar.mo PROF. Pietro Teatini

Laureando: Paolo Rallo

ANNO ACCADEMICO 2021-2022

Indice

1. Introduzione.....	1
2. Tempesta Vaia.....	2
3. Attuale sistema fognario.....	5
3.1. Descrizione.....	5
3.2. Considerazioni.....	8
4. Dimensionamento con nuove considerazioni.....	10
4.1. Procedura di pre-dimensionamento con metodo cinematico.....	17
4.2. Elaborazione dati ricavati dal metodo cinematico.....	20
4.3. Dimensionamento su software SWMM.....	25
4.3.1. Analisi del grado di riempimento e delle velocità delle acque meteoriche nelle condotte.....	28
4.3.2. Profili delle condotte e grafici rappresentativi della velocità.....	31
4.3.3. Catalogazione di condotte e pozzetti.....	37
4.4. Tabella riassuntiva del dimensionamento.....	41
5. Conclusioni.....	45
6. Bibliografia.....	47

1. Introduzione

Lo scopo principale della tesi è quello di dimensionare un sistema di drenaggio con condotte per le sole acque bianche per il comune di Agordo. Un ruolo fondamentale del dimensionamento lo gioca la tempesta Vaia, poiché i dati pluviometrici associati a questo evento sono tra i più alti mai registrati nella zona oggetto di studio. Per tale motivo nella presente tesi verranno considerati i dati dell'evento, recuperati da A.R.P.A.V. (Agenzia regionale per la prevenzione e protezione Ambientale del Veneto), e le planimetrie dell'attuale sistema fognario del comune di Agordo, forniti dall'ente gestore dei servizi pubblici della provincia di Belluno, Bim GSP. Questi dati e le planimetrie permetteranno di avere un quadro più completo ed esaustivo sull'argomento trattato.

Verrà fatta una prima introduzione riassuntiva dell'evento meteorologico di riferimento per poi passare allo studio dell'attuale sistema fognario di Agordo. In seguito, si passerà al dimensionamento effettivo della nuova rete delle acque bianche, con un primo pre-dimensionamento delle condotte con il metodo razionale a velocità fissata e successivamente con il dimensionamento effettivo con il software *S.W.M.M.*¹.

¹ S.W.M.M. acronimo di Storm Water Management Model è un software prodotto da "Environmental Protection Agency", agenzia governativa degli stati uniti, che permette la simulazione dinamica del percorso del deflusso delle precipitazioni, principalmente per quanto concerne aree urbane. Con la seguente tesi si è utilizzata la versione EPA SWMM 5.2.0.

2. Tempesta Vaia

La tempesta Vaia è stato un evento meteorologico di straordinaria intensità che dal 27 al 30 ottobre 2018 ha interessato il nord-est italiano, in particolare l'area montana delle Dolomiti e delle Prealpi Venete. L'inizio "ufficiale" della tempesta è rappresentato dall'allerta rossa per rischio della rete idrogeologica lanciata dalla Protezione Civile del Veneto; alle ore 14:00 del 26 ottobre. L'evento si è generato a seguito di una perturbazione d'origine atlantica nel quadro di una forte ondata di maltempo sull'Italia causando nei primi giorni abbondanti precipitazioni, da cui poi sono stati seguiti temporali e violentissimi venti.

L'evento è erroneamente conosciuto con l'appellativo di "tempesta" (grado 10 nella scala di Beaufort), ma i venti hanno raggiunto le velocità elevate di "uragano" (avente grado 12), che comunemente si originano solo su acque tropicali o subtropicali del pianeta. Il fortissimo vento caldo di scirocco, soffiando tra i 100 e i 200 km/h per diverse ore, ha provocato la morte di milioni di alberi, con la conseguente distruzione di decine di migliaia di ettari foreste alpine di conifere, configurandosi dunque come un vero e proprio disastro naturale. Data l'entità dell'evento è stato catalogato, dall'Unità di crisi della Regione del Veneto, come tra i peggiori eventi meteorologici registrati sul territorio e per i danni causati, sono stati stanziati circa otto milioni di euro per il ripristino delle sorgenti bellunesi e per la messa in sicurezza d'impianti, acquedotti e fognature.

Di fondamentale utilità, per l'area studio considerata, sono stati i dati storici² e i bollettini giornalieri forniti dalla stazione pluviografica di Agordo (BL) a quota 585m s.l.m. (coordinate Gauss-Boaga fuso ovest, x:1733713m y:5129437m), che ha permesso di registrare le precipitazioni massime avvenute dal 1985 al 2021; nella Tabella 2.1 sono rappresentate in ordine cronologico le precipitazioni massime in mm con tempi di: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore.

² Dati che possono essere reperiti presso l'Agenzia regionale per la prevenzione e protezione ambientale del Veneto (ARPAV), sul sito: https://www.arpa.veneto.it/bollettini/storico/precmax/0019_pmax.htm

ANNO	Pioggia in mm				
	1 ora	3 ora	6 ora	12 ora	24 ora
1985	25.6	48.8	74.0	79.4	97.2
1986	20.8	41.6	74.2	116.4	166.0
1987	34.6	57.2	76.8	113.4	147.2
1988	16.0	40.0	67.8	94.2	110.4
1989	19.8	44.4	80.6	118.8	140.8
1990	16.4	39.6	61.2	106.4	146.4
1991	15.8	38.0	67.4	104.4	116.2
1992	25.6	30.8	50.6	87.0	115.8
1993	24.6	59.2	103.4	161.2	177.6
1994	35.2	51.8	70.0	83.2	103.4
1995	22.8	28.8	53.2	70.6	77.6
1996	25.8	40.0	62.4	84.4	115.6
1997	22.4	43.0	69.4	90.4	107.2
1998	33.8	40.4	54.8	81.0	114.2
1999	35.4	68.0	109.2	181.0	209.8
2000	38.2	60.4	99.2	131.6	142.6
2001	19.0	36.4	39.8	57.2	68.4
2002	32.4	67.8	99.2	129.4	188.2
2003	42.4	51.0	88.8	133.0	161.6
2004	17.0	33.0	46.0	52.0	84.8
2005	21.2	24.6	34.2	55.4	77.4
2006	48.4	66.2	102.6	134.6	138.4
2007	19.6	23.6	34.4	60.8	91.6
2008	33.2	47.8	72.6	101.8	144.6
2009	29.2	61.2	88.6	156.8	237.8
2010	24.6	37.2	50.2	79.4	132.2
2011	30.8	33.4	40.2	68.0	85.6
2012	21.6	45.6	78.4	111.8	135.0
2013	23.6	44.0	74.2	116.4	165.0
2014	20.8	42.0	76.0	133.6	231.8
2015	14.6	29.8	44.4	50.4	60.8
2016	23.8	30.4	42.8	57.8	65.6
2017	20.0	24.4	43.8	78.4	97.4
2018	31.4	66.6	116.4	201.4	306.4
2019	23.6	41.4	65.6	126.4	166.4
2020	57.2	66.6	106.2	189.4	273.4
2021	21.6	31.2	46.4	61.0	81.4

Tabella 2.1: tabella riassuntiva delle precipitazioni massime annue suddivise in base alla durata in ore. Dati che vanno dal 1985 al 2021.

Si evince subito che i valori segnati nell'anno 2018, cioè l'anno in cui si è verificata la tempesta, sono valori significativamente più alti rispetto a quelli passati e in quanto tali diventano rilevanti anche per il dimensionamento del sistema di drenaggio.

Viene riportato anche un grafico che rappresenta la “*times-series*”³ con l’intensità delle piogge cadute dal 27 al 30 ottobre, difatti sull’ascissa è riportata la durata dell’evento mentre sulle ordinate l’intensità delle precipitazioni (Figura 2.2).

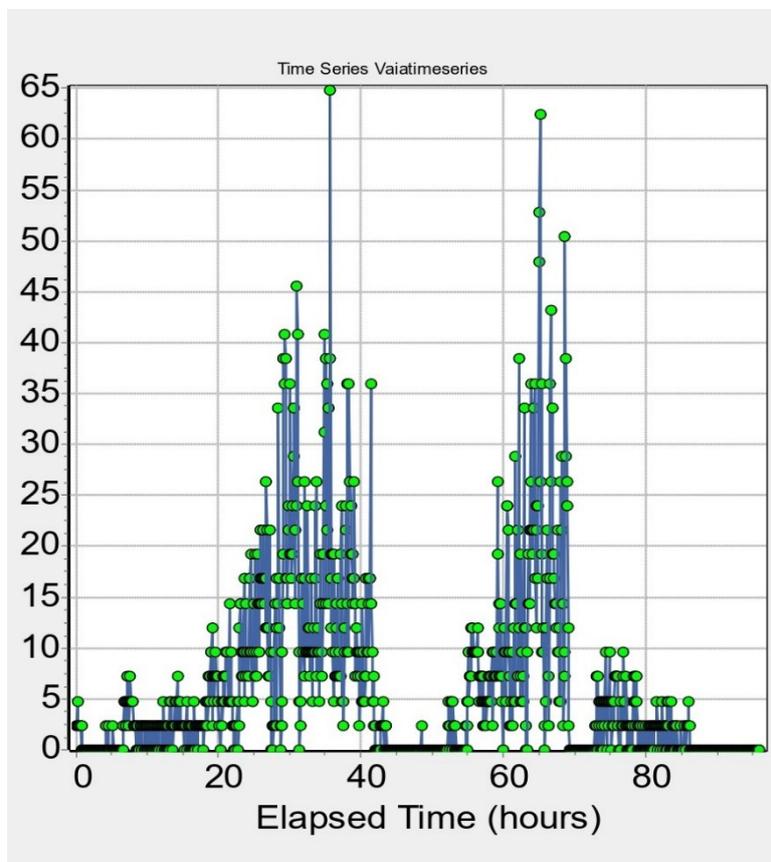


Figura 2.2: riporta sulle ordinate l’intensità della precipitazione in [mm/ora] e sulle ascisse il tempo in [ore]. I punti colorati di verde rappresentano il momento in cui è stato rinvenuto il dato.

Il pluviografo ha raccolto i dati a intervalli di 5min, ciò ha permesso di avere una precisione aggiunta per quanto riguarda lo studio delle precipitazioni dell’evento nel tempo. Da come si vede anche dal grafico in Figura 2.2, i momenti più critici si sono verificati tra la venticinquesima e la quarantesima ora e tra la sessantesima e la settantesima ora. Saranno poi questi i momenti più utili quando si andranno a fare le simulazioni del sistema di drenaggio con il software SWMM.

³ Con il termine “time-series” (tradotta in italiano come “serie storica”) si intende la durata nel tempo dell’evento con riferimento alle precipitazioni calcolate dal pluviografo.

3. Attuale sistema fognario

Di fondamentale importanza, per questa fase di studio, sono state le mappe d'ubicazione della rete fognaria di Agordo, fornite dall'ente gestore dei servizi pubblici della provincia di Belluno, Bim GSP.

3.1. Descrizione

Da come si evince dalle planimetrie, l'attuale configurazione del sistema fognario è di tipo misto, con la presenza solo nelle zone con insediamento di nuove costruzioni (come, ad esempio, in prossimità della scuola superiore IIS Follador De Rossi) d'un sistema separato tra acque bianche e acque nere. La configurazione d'un sistema di tipo misto presenta diversi vantaggi, ma anche alcuni svantaggi. Taluni vantaggi sono: minor costo delle condotte e della messa in opera di esse (con riferimento ad una rete con sistema separato), utilizzo di meno spazio da parte della rete, eventi meteorologici intensi possono favorire una rimozione di sedimenti presenti all'interno, non sussistono problemi di allacciamenti errati (che possono verificarsi invece nella rete con sistema separato). Alcuni degli svantaggi sono: oscillazioni dei valori di portata che si ripercuotono fino all'impianto di trattamento (con costi più onerosi nella gestione e costruzione degli stessi), fuoriuscita di liquami in caso di eventi che superino le misurazioni delle precipitazioni utilizzate per il progetto, possibili rigurgiti ai piani interrati degli edifici. Dalle planimetrie si nota che, per i nuovi insediamenti, la mappa risulta più aggiornata riportando oltre alle condotte anche le caditoie presenti lungo le strade, come nel caso della scuola superiore precedentemente citata (Figura 3.1).



Figura 3.1: in alto a sinistra l'istituto superiore IIS Follador De Rossi, mentre a lato è presente una legenda della mappa.

Una particolarità di questa rete fognaria sono le condotte, all'interno del centro abitato di Agordo, in calcestruzzo di sezione rettangolare (Figura 3.2). Questa tipologia di sezione permette di essere utilizzata sulle due diverse basi, verticale o orizzontale, e in aggiunta presenta vantaggi alternativi per problemi di quote o di spazi. La presenza del fondo in grès permette la protezione e la prevenzione dei danni causati alla condotta poiché questo materiale resiste alle aggressioni chimiche e biologiche dei liquami che passano attraverso di essa. Da tenere conto inoltre che l'acido solforico H_2SO_4 , che si genera dalla reazione tra aria e idrogeno solforato H_2S (causato dai liquami), aggredisce il calcestruzzo nella parte superiore della sezione, causando innanzitutto un indebolimento della pasta cementizia e a seguire il distacco degli aggregati, facenti parte della condotta.



Figura 3.2: in basso a destra un ingrandimento per far notare la presenza di condotte in sezione rettangolare con fondo in grès.

Dalle planimetrie (Figura 3.3) si può notare inoltre la presenza di pozzetti scolmatori in prossimità delle condotte che costeggiano il torrente Cordevole (affluente del Piave che passa per il comune di Agordo). Questo dispositivo permette di dividere la portata che arriva dalle condotte in due parti distinte: la portata, con solitamente tempo di ritorno pari o inferiore ad un anno, continua il suo percorso verso valle fino ad arrivare all'impianto di depurazione, mentre il restante, cioè con tempo di ritorno superiore ad un anno, va direttamente al recapito finale (il torrente Cordevole).

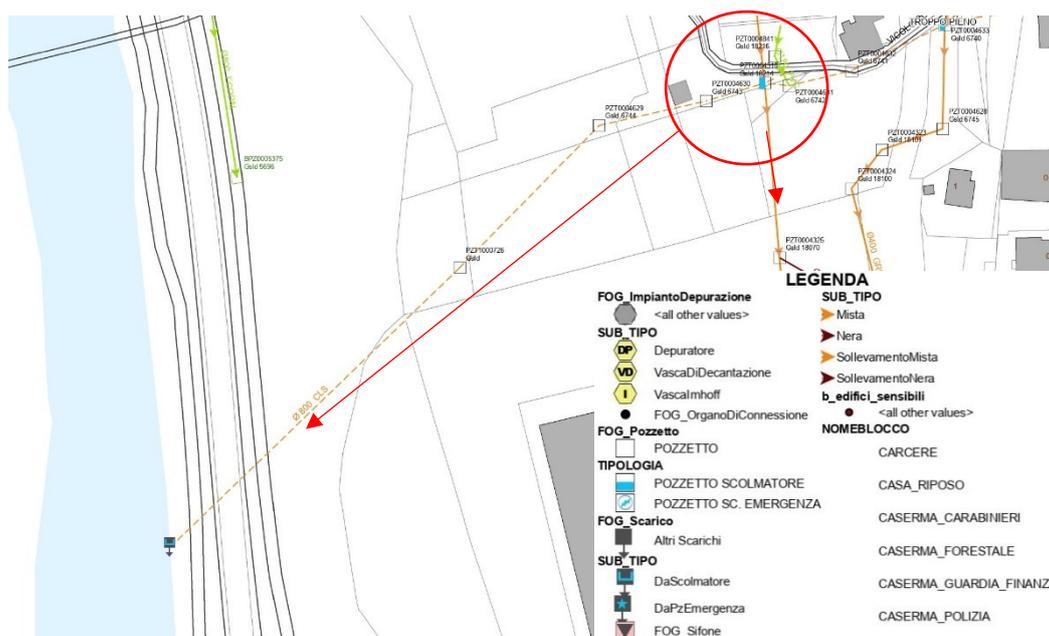


Figura 3.3: di un pozzetto scolmatore e relativa ripartizione dell'acqua.

3.2. Considerazioni

Si nota che talune condotte passano all'interno di proprietà abitative o di privati (Figura 3.4), ciò è dovuto probabilmente alle dinamiche temporali della iniziale messa in opera delle condotte, anziché della costruzione dell'edificio. Questo fatto potrebbe portare a inconvenienti dispute, tra l'ente gestore e il proprietario dell'immobile, nel momento in cui si verificano dei guasti alle condotte. Difatti solitamente la presenza delle condotte segue l'andamento delle strade del territorio, anche perché, in caso di manutenzione o restauro l'accessibilità è più agevole e le tempistiche sono inferiori rispetto ad interventi in proprietà private.

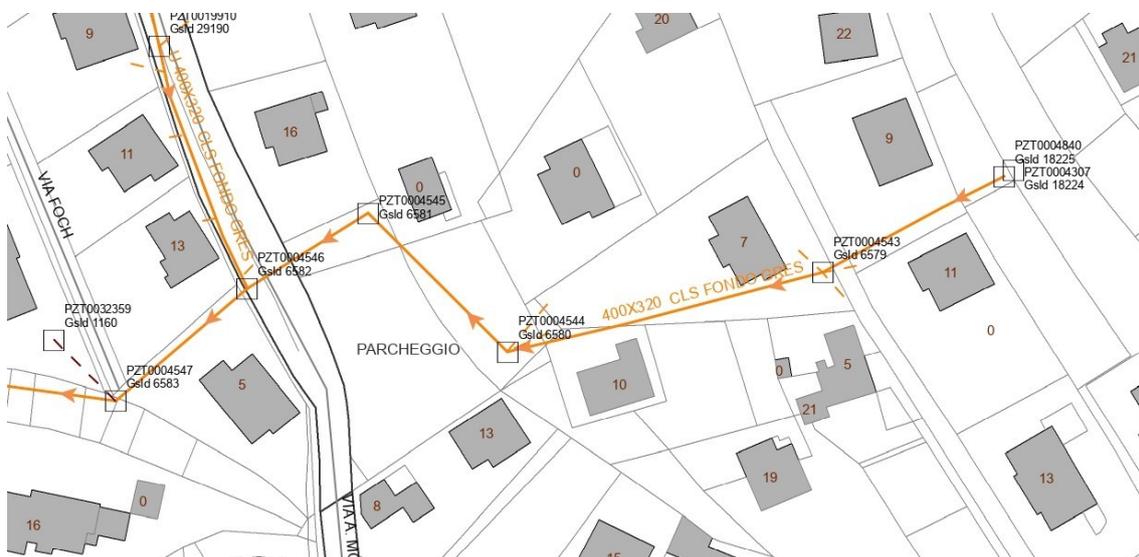


Figura 3.4: di condotte dell'impianto misto passante all'interno di proprietà di privati.

Un'altra considerazione da fare sulla rete fognaria concerne i pozzetti scolmatori collocati lungo il torrente Cordevole (già precedentemente menzionati) con lo scopo di bypassare, in caso di portate con precipitazioni considerevoli, la portata direttamente verso il recapito finale. Per buona prassi, i pozzetti scolmatori più importanti possono essere associati ad una vasca di *prima pioggia* con lo scopo principale di trattare le acque meteoriche più inquinate. Con il termine più inquinate si intendono i primi 5mm di pioggia, dato che contengono buona parte del carico inquinante proveniente dal dilavamento atmosferico e dalla presenza sulla pavimentazione stradale di particelle di pneumatici (dati dall'usura

tra il battistrada e il conglomerato bituminoso) e/o tracce di oli lubrificanti provenienti sempre dai veicoli stradali.

Le vasche di prima pioggia possono essere associate in linea o fuori linea. Nella situazione attuale, se venissero predisposte fuori linea, non implicherebbero alcuna esigenza di cambiare la rete fognaria e/o l'impianto di depurazione, ma fornirebbero un valore aggiunto alla rete poiché permetterebbe, all'acqua in uscita dal sistema, una qualità migliore rispetto all'attuale sistema.

4. Dimensionamento con nuove considerazioni

Per quanto riguarda il nuovo dimensionamento dell'impianto di drenaggio, calcolato con i dati della precipitazione della tempesta Vaia, si è utilizzato in prima battuta il metodo cinematico implementato nei fogli di calcolo di Excel. Questo primo dimensionamento delle condotte permette di capire in prima approssimazione quelle che sono le dimensioni che poi andranno inserite nel software SWMM, con il quale si andrà a fare poi il dimensionamento effettivo e definitivo del sistema di drenaggio.

Dai dati raccolti dalla stazione pluviografica di Agordo dal 1985 al 2021, Tabella 2.1, è stato possibile calcolare quelle che sono le curve di possibilità pluviometrica e di conseguenza la stima dei parametri a e n . Per allargare il campo delle previsioni oltre il periodo d'osservazione ci si è avvalsi della distribuzione di probabilità di Gumbel.

Di seguito vengono riportati i grafici, per le diverse durate $\tau=1,3,6,12,24$ ore, con altezza di precipitazione vs variabile ridotta (da Figura 4.1 a 4.5):

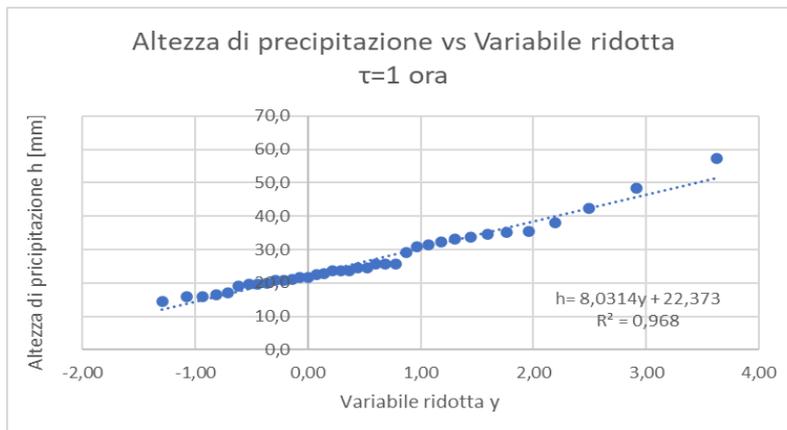


Figura 4.1: grafico con variabili ridotte sulle ascisse e le altezze di precipitazioni sulle ordinate, con $\tau=1$ ora

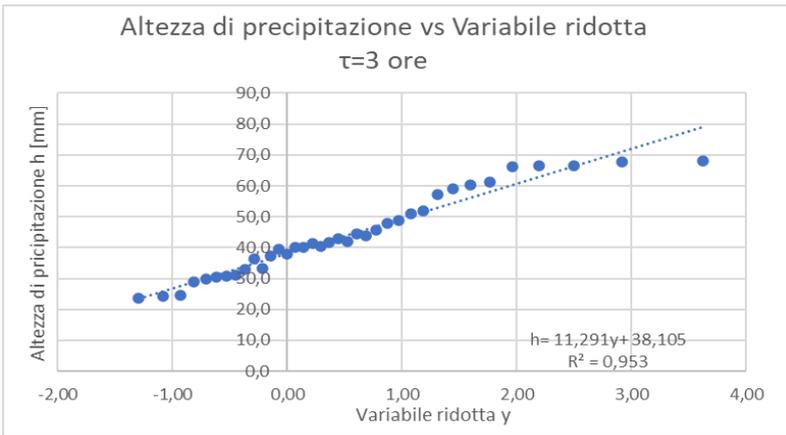


Figura 4.2: grafico con le variabili ridotte sulle ascisse e le altezze di precipitazioni sulle ordinate, con $\tau=3$ ore

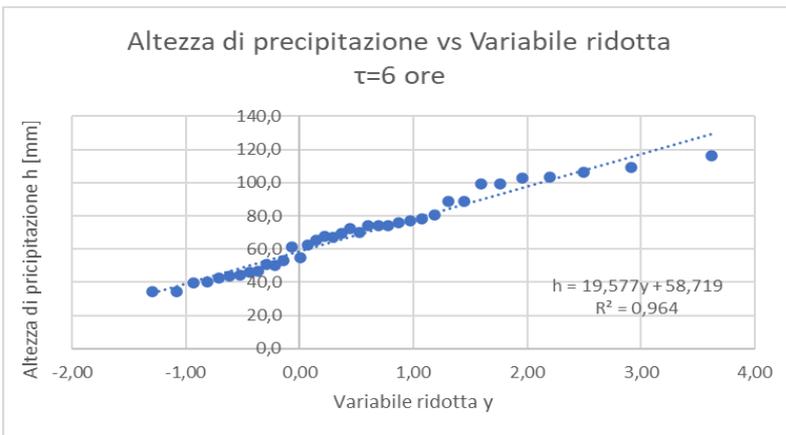


Figura 4.3: grafico con le variabili ridotte sulle ascisse e le altezze di precipitazioni sulle ordinate, con $\tau=6$ ore

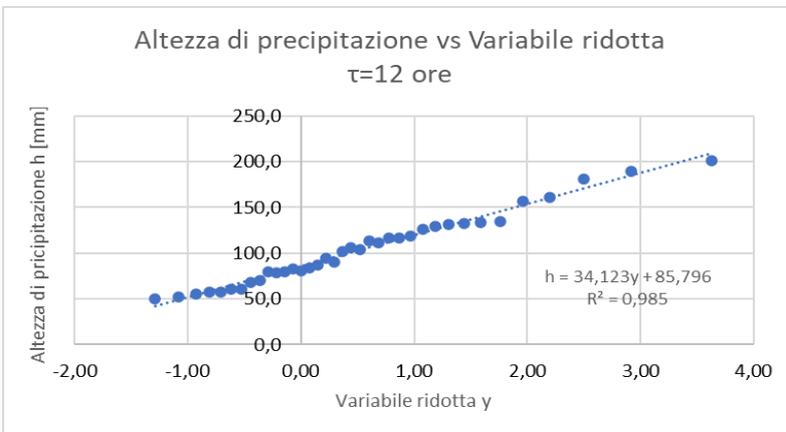


Figura 4.4: grafico con le variabili ridotte sulle ascisse e le altezze di precipitazioni sulle ordinate, con $\tau=12$ ore

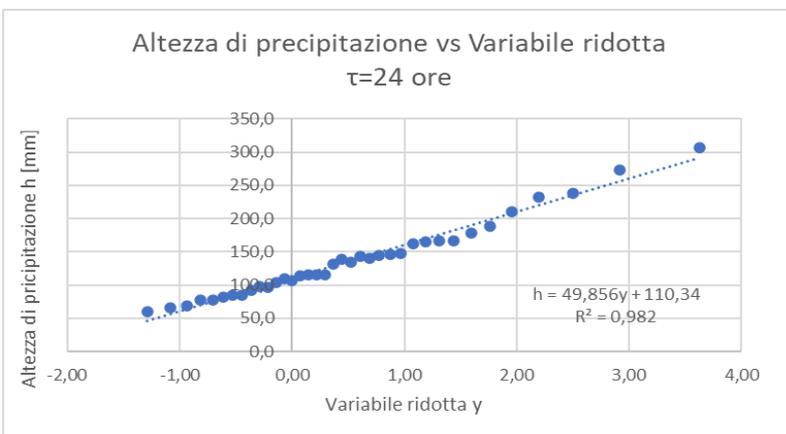


Figura 4.5: grafico con le variabili ridotte sulle ascisse e le altezze di precipitazioni sulle ordinate, con $\tau=24$ ore

Vengono riportati di seguito i grafici riassuntivi con le curve di possibilità pluviometrica, per $tr=5,10,15,100$ anni (Figura 4.6), e il grafico in base logaritmica per quanto concerne il tempo di ritorno di dieci anni, poiché quest'ultimo è il tempo con il quale si è deciso di operare. Solitamente il tempo di ritorno per le fognature è di cinque anni, ma per operare in un regime più cautelativo e considerando fenomeni meteorologici estremi e di elevata pericolosità, come quello della tempesta Vaia, si predilige un tempo di ritorno di dieci anni (Figura 4.7).

Figura 4.6: grafico con le curve di possibilità pluviometrica per i tempi di ritorno $tr=5,10,15,100$ anni.

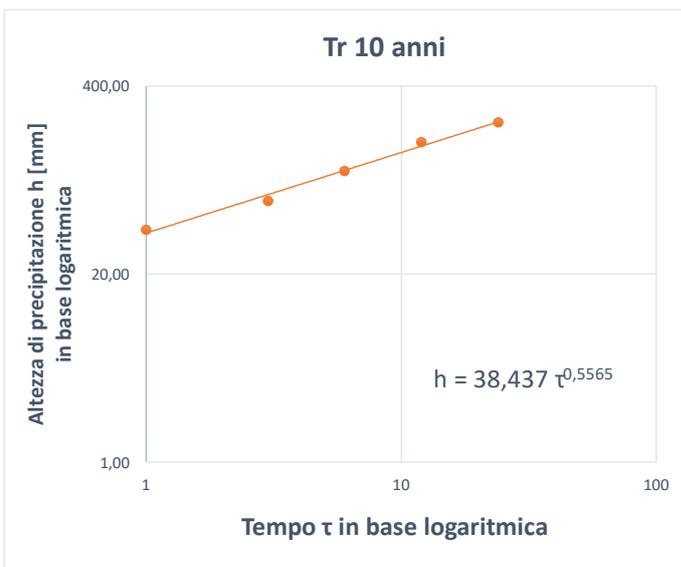
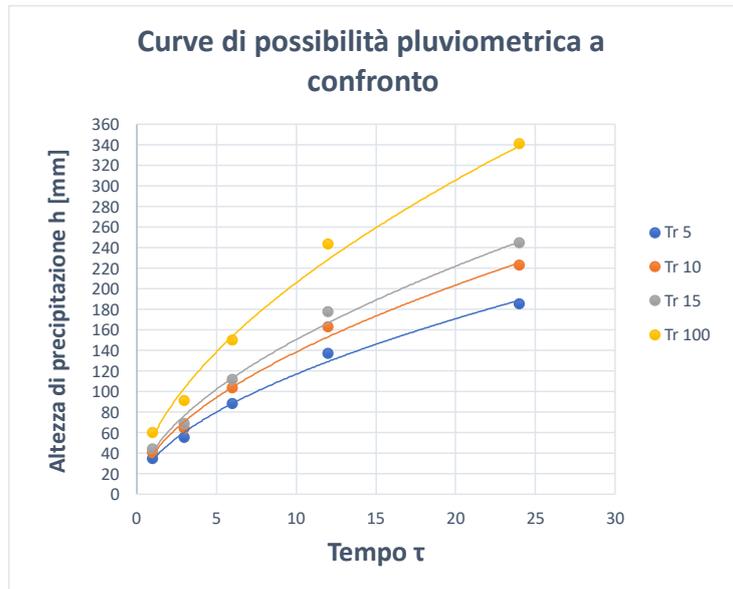


Figura 4.7: con la curva di Gumbel per un tempo di ritorno di dieci anni, in scala logaritmica.

Vengono così determinati due parametri “ a ” ed “ n ” che corrispondono a: $a=38,437$ mm/ora e $n=0,5565$. Questi parametri risulteranno di rilevante importanza per il dimensionamento con il metodo razionale a velocità fissata, in quanto costituiscono la base per calcolare l’altezza di precipitazione a seconda del tempo di corrivazione.

Da quanto si evince anche dalla Figura 4.8, il dimensionamento non è stato fatto per tutta la città di Agordo, ma principalmente per il centro abitativo più popolato e quindi con più alta densità di edifici. La zona considerata nel caso studio presenta mediamente dei più alti coefficienti di deflusso con la conseguenza di far defluire più acqua all’interno delle condotte, mentre le zone limitrofe presentano zone di verde (giardini, prati, boschi ecc..) dove sono presenti coefficienti di deflusso più bassi.



Figura 4.8: all’interno del cerchio rosso, l’area di studio del futuro dimensionamento.

Uno degli obiettivi del progetto è quello di non ricorrere a impianti di sollevamento poiché ciò comporterebbe onerosi costi aggiuntivi, che con una corretta progettazione

possono essere evitati. Inoltre, si è posta attenzione sul percorso più breve e con il minor numero possibile di recapiti per il sistema.

Per la nuova messa in posa del sistema di drenaggio sono stati vincolanti le due seguenti problematiche: l'altimetria del territorio e l'individuazione di recapiti finali del sistema.

Per quanto riguarda la prima problematica si è risolto creando due sistemi separati, raffigurati in Figura 4.9 con colorazione in verde e blu, in tale modo si è riuscito a creare un sistema dove le condotte più esterne concorrono in quelle successive sempre da monte verso valle così da sfruttare la forza di gravità. Questa soluzione separata ha permesso di non inserire impianti di sollevamento che avrebbero portato a costi aggiuntivi, sia di realizzazione che di manutenzione, e di diminuire i costi poiché condotte con diametro più grande comportano spese più elevate. Inoltre, dato il dislivello presente in certe strade da monte a valle, con conseguenti strade ad elevata pendenza, si può già presumere che si dovrà fare largo utilizzo di pozzetti di salto, dato che le condotte presenteranno pendenze inferiori per limitare la velocità delle acque meteoriche che scorreranno all'interno.



Figura 4.9: suddivisione dell'area di studio in due sottosistemi uno situato a sinistra della figura, cioè il sistema colorato di Blu. E l'altro situato a destra, cioè il sistema colorato di Verde.

Per la seconda problematica è stata fatta un'analisi di quella che è la morfologia del sito di studio. La soluzione trovata (correlata anche alla problematica precedente) è quella di restituire le acque bianche al torrente Framont, affluente del torrente Rovala che poi si collega a valle al Cordevole. Il sistema colorato di verde procede fino in prossimità del ponte, che passa per il torrente Framont per poi dirigersi verso valle dove verrà predisposto un impianto di trattamento, mentre il sistema colorato di blu, essendo posto già ad una quota inferiore, restituirà direttamente le acque meteoriche all'impianto. Va tenuto conto inoltre, per il recapito finale dall'impianto di trattamento al torrente, dell'installazione di una vasca di dissipazione a impatto o a denti. Ciò permette di evitare la presenza di scavi localizzati in corrispondenza dell'immissione delle condotte, considerato che correnti caratterizzate da velocità elevate sono in grado di generare dei fenomeni di erosione, che si verrebbero a creare se non fossero presenti questi dispositivi.

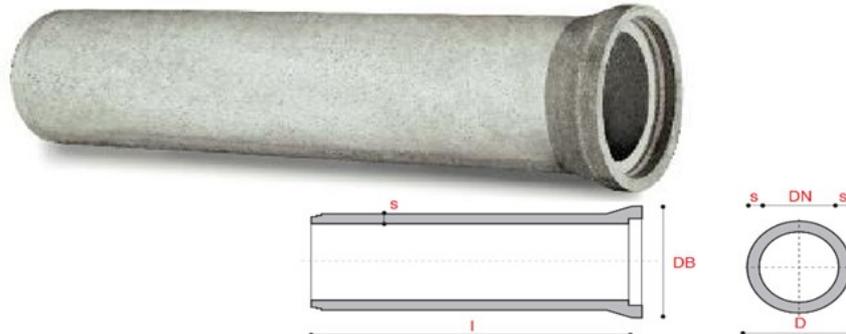
È stata posta attenzione anche al trattamento dell'acqua prima che venga restituita al recapito finale; come già esposto precedentemente, per quanto riguarda la rete colorata di blu e verde, i due sistemi procedono verso lo stesso impianto di trattamento (Figura 4.9). Il sistema colorato di blu procede verso l'impianto seguendo una strada che va verso valle, mentre il sistema colorato di verde segue una strada che costeggia tutto l'argine del fiume. Per garantire un miglior trattamento dell'acqua l'impianto deve essere predisposto e realizzato a regola d'arte, in modo tale da garantire alti standard dell'acqua in uscita nel torrente. Per questo motivo, oltre al disoleatore e una griglia per rimuovere i materiali più grossi dall'acqua, va predisposta anche una vasca Imhof⁴ e un dissabbiatore per poi rilasciare l'acqua nel torrente nella miglior qualità possibile. Di fondamentale importanza è la presenza dello scolmatore, soprattutto per eventi come la tempesta Vaia, dato che permettono per tempi di ritorno superiori ai dieci anni di bypassare le acque meteoriche direttamente al torrente, in modo tale da non sovraccaricare l'impianto di trattamento.

Per il dimensionamento delle condotte si è fatto riferimento ad un catalogo dell'azienda CEDA S.p.A., il prodotto scelto è "Tubi in calcestruzzo vibro compresso". La scelta è

⁴ Le vasche Imhof sono fosse settiche particolari, con il vantaggio di avere un unico recipiente, che vengono utilizzate per il trattamento di liquami nei piccoli o medi impianti di depurazione. Dispositivo diffuso nella valle Agordina.

stata fatta considerando che questa tipologia di tecnologia permette di convogliare, in ogni condizione di regime idrico, acque piovane per gravità (occasionalmente anche a bassa pressione < 0,5 bar) (Figura 4.10).

Tubo circolare in calcestruzzo vibrocentrifugato armato a bicchiere



DN diametro nominale in cm	Codice prodotto	l lunghezza in cm	D diametro esterno cm	S spessore in cm	DB diametro bicchiere	Classe di resistenza in KN/m	Peso in Kg
30	912005	220	42	6,0	52	40	400
40	912006	300	54	7,0	67	55	825
50	912007	300	65	7,5	80	66	1.100
60	912008	300	75	7,5	88	80	1.240
70	912021	300	86	8,0	100	95	1.620
80	912009	300	98	9,0	116	115	2.080
90	912022	300	111	10,5	129	126	2.475
100	912010	300	122	11,0	140	140	2.910
110	912023	300	134	12,0	155	154	3.920
120	912011	300	147	13,5	168	170	4.520
130	911913	250	158	14,0	180	180	4.240
140	911914	250	168	14,0	195	200	4.750
160	911916	250	193	16,5	207	240	6.080
180	911918	250	216	18,0	228	290	7.000

Figura 4.10: estratto del catalogo dell'azienda CEDA s.p.a., con tabella descrittiva, in relazione ai diametri nominali, di "tubi circolari in calcestruzzo vibrocentrifugati".

4.1. Procedura di pre-dimensionamento con metodo cinematico

Per quanto riguarda una prima stima di quelle che possono essere i diametri delle condotte ci si è avvalsi di un primo dimensionamento delle condotte attraverso il metodo razionale (o anche chiamato metodo cinematico) a velocità fissata di 1 m/s per tutte le condotte.

Le procedure utilizzate per trovare il diametro della condotta interessata sono le seguenti: si assume come “ t' ” il tempo di 10 minuti (che corrisponde a 600s), successivamente si calcola il tempo di corrivazione nel seguente modo:

$$\tau_{c,k} = t' + \left(\sum_1^{k-1} \frac{l_i}{v_i} \right) + \frac{l_k}{v_k}$$

dove con “ l_i ” si identificano le lunghezze dell’ i -esima condotta e con “ v_i ” la relativa velocità i -esima, avendo scelto il metodo cinematico a velocità fissata sarà sempre pari a 1 m/s. Si stima poi l’altezza di precipitazione “ h ” con la curva di possibilità pluviometrica con $h = a \cdot \tau_c^n$; si è utilizzato un tempo di ritorno di dieci anni con valori: $a=38,437\text{mm/ora}$ e $n=0,5565$. Il passaggio successivo prevedere di calcolare il coefficiente udometrico con la formula che segue:

$$u_k = \frac{\bar{\varphi}_k h}{\tau_{c,k}}$$

Con “ φ ” si identifica il coefficiente di deflusso, si utilizza il valore medio dei bacini che concorrono a defluire dell’acqua piovana sulla condotta che si sta valutando. Una volta fatto ciò si calcola la portata sempre della condotta che si sta valutando:

$$Q_{max,k} = u_k \cdot S_k$$

dove “ S_k ” corrisponde alla superficie totale dei bacini che defluiscono sulla condotta. Avendo la portata massima si può calcolare la sezione liquida, in m^2 :

$$A'_k = \frac{Q_{max,k}}{v_k}$$

Si sceglie un diametro commerciale iniziale “ D_k ” come quello minimo per legge di 0,3m o il massimo di quello dei tratti da monte, si calcola così $\frac{A'_k}{D_k^2}$, si entra nella tabella di

Tabella 4.1 e si ottiene il corrispondente grado di riempimento $\frac{y_k}{D_k}$, nel caso sia $\frac{y_k}{D_k} > 0,8$ si modifica “ D_k ” aumentando il diametro fittato che non si ottiene un grado di riempimento inferiore allo 0,8.

Va posta attenzione anche ai calcoli della pendenza della condotta e della tensione tangenziale dato che: il primo calcolo risulterà di fondamentale importanza nel momento in cui si andranno a fare considerazioni per quanto concerne le altezze e le quote all’interno del software SWMM, mentre il secondo sarà utile per verificare che non si presentino fenomeni di abrasione causati da particelle solide all’interno delle acque bianche. Si calcola il raggio idraulico “ R_H ” semplicemente moltiplicando il valore “ R_H/D ” (che si ottiene dalla Tabella 4.1) per il diametro della condotta, fatto ciò è possibile calcolare la pendenza con la seguente formula:

$$i = \frac{v^2}{K_s^2 R_H^{\frac{4}{3}}}$$

Dove “ K_s ” rappresenta il coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, considerato pari a $K_s = 75 m^{\frac{1}{3}}/s$. Mentre per il calcolo della tensione tangenziale si utilizza la seguente formula:

$$\tau = \gamma R_H i$$

Data la ripetitività dei calcoli e le molteplici iterazioni si è utilizzato Excel per rendere più veloci e affidabili i calcoli (nel prossimo capitolo saranno riportate le tabelle con le dovute spiegazioni). Si sono dimensionati prima i singoli rami e successivamente sono stati dimensionati i tronchi più lunghi scendendo verso valle, in modo tale che i tronchi più lunghi abbiano il tempo di corrivazione dei rami precedentemente calcolati sommando i nuovi tratti che vanno verso valle.

Grado di riempimento	Area	Perimetro bagnato	Raggio idraulico	Larghezza specchio liquido	Profondità del baricentro	Fattore di portata	Rapporto di velocità	Rapporto di portata
y/D	A/D^2	P/D	R_H/D	b/D	z/D	$\frac{AR_H^{2/3}}{D^{8/3}}$	v/v_0	Q/Q_0
0,01	0,0013	0,2003	0,0066	0,1990	0,0040	0,0000	0,0890	0,0002
0,02	0,0037	0,2838	0,0132	0,2800	0,0080	0,0002	0,1408	0,0007
0,03	0,0069	0,3482	0,0197	0,3412	0,0120	0,0005	0,1839	0,0016
0,04	0,0105	0,4027	0,0262	0,3919	0,0161	0,0009	0,2221	0,0030
0,05	0,0147	0,4510	0,0326	0,4359	0,0201	0,0015	0,2569	0,0048
0,06	0,0192	0,4949	0,0389	0,4750	0,0241	0,0022	0,2892	0,0071
0,07	0,0242	0,5355	0,0451	0,5103	0,0282	0,0031	0,3194	0,0098
0,08	0,0294	0,5735	0,0513	0,5426	0,0322	0,0041	0,3480	0,0130
0,09	0,0350	0,6094	0,0575	0,5724	0,0363	0,0052	0,3752	0,0167
0,10	0,0409	0,6435	0,0635	0,6000	0,0404	0,0065	0,4012	0,0209
0,11	0,0470	0,6761	0,0695	0,6258	0,0444	0,0079	0,4260	0,0255
0,12	0,0534	0,7075	0,0755	0,6499	0,0485	0,0095	0,4500	0,0306
0,13	0,0600	0,7377	0,0813	0,6726	0,0526	0,0113	0,4730	0,0361
0,14	0,0668	0,7670	0,0871	0,6940	0,0567	0,0131	0,4953	0,0421
0,15	0,0739	0,7954	0,0929	0,7141	0,0608	0,0152	0,5168	0,0486
0,16	0,0811	0,8230	0,0986	0,7332	0,0650	0,0173	0,5376	0,0555
0,17	0,0885	0,8500	0,1042	0,7513	0,0691	0,0196	0,5578	0,0629
0,18	0,0961	0,8763	0,1097	0,7684	0,0732	0,0220	0,5775	0,0707
0,19	0,1039	0,9021	0,1152	0,7846	0,0774	0,0246	0,5965	0,0789
0,20	0,1118	0,9273	0,1206	0,8000	0,0816	0,0273	0,6151	0,0876
0,21	0,1199	0,9521	0,1259	0,8146	0,0857	0,0301	0,6331	0,0966
0,22	0,1281	0,9764	0,1312	0,8285	0,0899	0,0331	0,6507	0,1061
0,23	0,1365	1,0004	0,1364	0,8417	0,0941	0,0362	0,6678	0,1160
0,24	0,1449	1,0239	0,1416	0,8542	0,0983	0,0394	0,6844	0,1263
0,25	0,1535	1,0472	0,1466	0,8660	0,1025	0,0427	0,7007	0,1370
0,26	0,1623	1,0701	0,1516	0,8773	0,1067	0,0461	0,7165	0,1480
0,27	0,1711	1,0928	0,1566	0,8879	0,1110	0,0497	0,7320	0,1595
0,28	0,1800	1,1152	0,1614	0,8980	0,1152	0,0534	0,7471	0,1712
0,29	0,1890	1,1374	0,1662	0,9075	0,1195	0,0572	0,7618	0,1834
0,30	0,1982	1,1593	0,1709	0,9165	0,1237	0,0610	0,7761	0,1958
0,31	0,2074	1,1810	0,1756	0,9250	0,1280	0,0650	0,7902	0,2086
0,32	0,2167	1,2025	0,1802	0,9330	0,1323	0,0691	0,8038	0,2218
0,33	0,2260	1,2239	0,1847	0,9404	0,1366	0,0733	0,8172	0,2352
0,34	0,2355	1,2451	0,1891	0,9474	0,1410	0,0776	0,8302	0,2489
0,35	0,2450	1,2661	0,1935	0,9539	0,1453	0,0820	0,8430	0,2629
0,36	0,2546	1,2870	0,1978	0,9600	0,1496	0,0864	0,8554	0,2772
0,37	0,2642	1,3078	0,2020	0,9656	0,1540	0,0910	0,8675	0,2918
0,38	0,2739	1,3284	0,2062	0,9708	0,1584	0,0956	0,8794	0,3066
0,39	0,2836	1,3490	0,2102	0,9755	0,1628	0,1003	0,8909	0,3217
0,40	0,2934	1,3694	0,2142	0,9798	0,1672	0,1050	0,9022	0,3370
0,41	0,3032	1,3898	0,2182	0,9837	0,1716	0,1099	0,9132	0,3525
0,42	0,3130	1,4101	0,2220	0,9871	0,1760	0,1148	0,9239	0,3682
0,43	0,3229	1,4303	0,2258	0,9902	0,1805	0,1197	0,9343	0,3842
0,44	0,3328	1,4505	0,2295	0,9928	0,1850	0,1248	0,9445	0,4003
0,45	0,3428	1,4706	0,2331	0,9950	0,1895	0,1298	0,9544	0,4165
0,46	0,3527	1,4907	0,2366	0,9968	0,1940	0,1349	0,9640	0,4330
0,47	0,3627	1,5108	0,2401	0,9982	0,1985	0,1401	0,9734	0,4495

Tabella 4.1: di elementi idraulici delle condotte circolari. Fondamentale per il dimensionamento con metodo razionale in quanto può ridurre l'onere di calcoli da effettuare.

La relativa tabella sopra riportata è un estratto di più tabelle che sono state utilizzate fino a grado di riempimento di 0,8, dato che raggiunto o superato questo valore va cambiato il diametro delle condotte per stare in una soglia inferiore al grado di riempimento di 0,8.

4.2. Elaborazione dei dati ricavati dal metodo cinematico

Per il nuovo dimensionamento con metodo cinematico a velocità fissata, si è proceduto per ciascun ramo del sistema (Figura 4.11). Prima d'introdurre il dimensionamento effettivo si è dovuto inizialmente dividere l'area di studio in diversi sottobacini attribuendo a ciascuno di essi un coefficiente di deflusso (ϕ): con valori più bassi per tipi di superfici che assorbono le precipitazioni (come boschi, giardini, zone con ghiaia non compressa ecc. con valori $0,1 \div 0,3$) e valori più alti per superfici meno drenanti, ma che fanno defluire le precipitazioni verso le condotte (come pavimentazioni asfaltate, tetti a tegola, ecc. con valori $0,5 \div 0,8$). Come primo passaggio si è redatta la tabella rappresentativa del ramo contenente: lunghezza, area e coefficiente udometrico, per ciascuna condotta come illustrato nelle Tabella 4.2; nel passaggio successivo si è creata una tabella che segue il procedimento esposto nel Capitolo 4.1., dove si è creato un ciclo iterativo in cui il diametro aumenta di 0,10m ad ogni iterazione, fin tanto che "y/D" (grado di riempimento) non risultasse inferiore ad 0,8. Se inferiore ad esso il ciclo si fermava e restituisce il diametro "D", assegnato per quella condotta, con il relativo "y/D"; queste tabelle sono state fatte per ogni condotta del ramo considerato (Tabelle 4.3, 4.5, 4.7, 4.9, 4.11). Inoltre, ad ogni condotta è stata associata un'altra tabella, dove vengono rappresentati raggio idraulico " R_H ", pendenza della condotta "i" e la tensione tangenziale "Tau" (Tabelle 4.4, 4.6, 4.8, 4.10, 4.12):

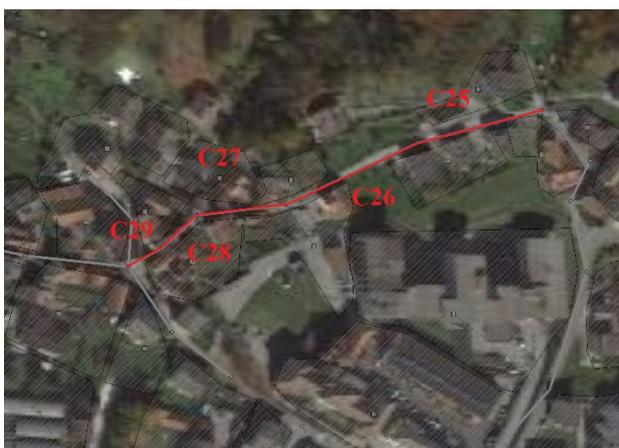


Figura 4.11: del ramo 2. Con componenti C25, C26, C27, C28, C29.

Ramo 2			
Tronco	Lunghezza(m)	Area(ha)	ϕ
C25	58,95	0,16	0,55
C26	66,62	0,1	0,55
C27	21,14	0,2	0,55
C28	25,3	0,1	0,6
C29	32,65	0,1	0,55

Tabella 4.2: del ramo con larghezza, area e coeff. di deflusso.

C25							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m²)	D (m)	A'/D²	y/D
658,95	14,94027314	124,7007	19,95211	0,019952	0,3	0,222	0,32
R _H /D	RH	i	Tau				
0,1802	0,05406	8,697132	4,612338				

Tabella 4.3 e 4.4: dimensionamento della condotta C25, con metodo cinematico a velocità fissata.

C25-C26							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m²)	D (m)	A'/D²	y/D
725,57	15,76286595	119,4864	31,06647	0,031066	0,3	0,345	0,45
R _H /D	RH	i	Tau				
0,2331	0,06993	6,170582	4,233101				

Tabella 4.5 e 4.6: del dimensionamento della condotta C26, con metodo cinematico a velocità fissata.

C25-C27							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m²)	D (m)	A'/D²	y/D
746,71	16,01681694	117,9742	54,26812	0,054268	0,3	0,603	0,71
R _H /D	RH	i	Tau				
0,2975	0,08925	4,457245	3,902507				

Tabella 4.7 e 4.8: del dimensionamento della condotta C27, con metodo cinematico a velocità fissata.

C25-C28							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m²)	D (m)	A'/D²	y/D
772,01	16,31658622	118,8855	66,57588	0,066576	0,3	0,740	0,89
					0,4	0,416099	0,52
R _H /D	RH	i	Tau				
0,2562	0,07686	5,440143	4,101849				

Tabella 4.9 e 4.10: del dimensionamento della condotta C28, con metodo cinematico a velocità fissata.

C25-C29							
tc (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
804,66	16,69707699	116,2027	76,69375	0,076694	0,3	0,852	1
					0,4	0,479336	0,58

RH/D	RH	i	Tau
0,2728	0,08184	5,003301	4,016902

Tabelle 4.11 e 4.12: del dimensionamento della condotta C29, con metodo cinematico a velocità fissata.

Le due tipologie di tabelle, quella che fornisce il diametro della condotta e quella che fornisce pendenza e sforzo tangenziale, vengono ripetute per ciascun ramo isolato del sistema. Una volta calcolati questi si passa al dimensionamento dei “tratti lunghi” (raffigurato in Figura 4.12). Con il termine “tratti lunghi” si intendono tutti tratti che nascono dall’intersezione di due o più tratti brevi isolati. Si procede quindi andando verso valle prendendo sempre le condotte con lunghezza maggiore in modo tale da arrivare fino al recapito finale con il tempo di corrivazione maggiore.

Allo stesso modo dei rami iniziali anche per i “tratti lunghi” sono state create tabelle rappresentative del tratto (Tabella 4.13) e associata a ciascuna condotta la tabella con il diametro calcolato e la pendenza insieme allo sforzo tangenziale (da Tabella 4.14 a 4.23):

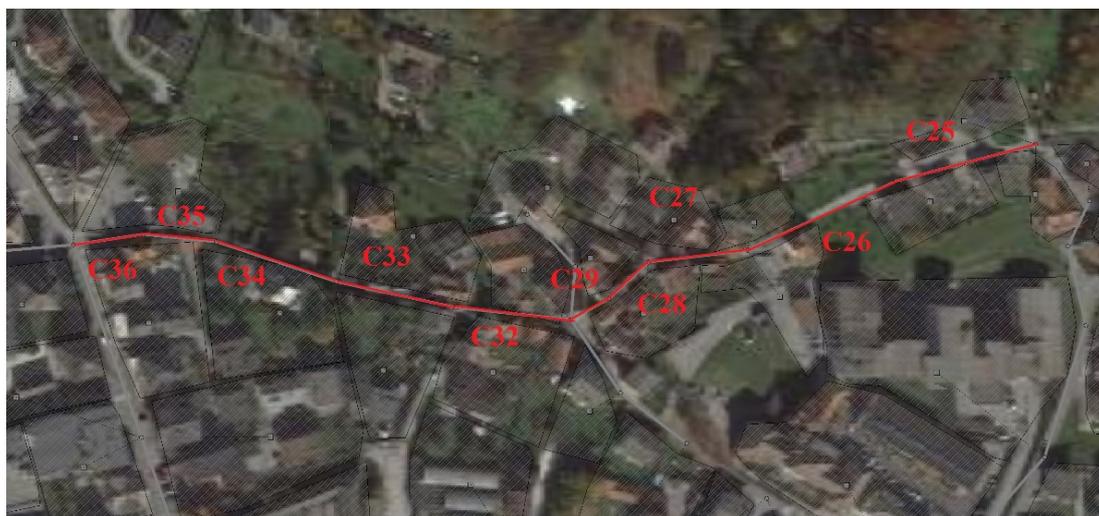


Figura 4.12: caratteristica del ramo 2 precedentemente dimensionato (con tempo di corrivazione maggiore, tra quelli che arrivano alla condotta C32) e del nuovo tratto che procede verso valle: C32, C33, C34, C35, C36.

Tratto 13			
Tronco	Lunghezza(m)	Area(ha)	ϕ
C25	58,95	0,16	0,55
C26	66,62	0,1	0,55
C27	21,14	0,2	0,55
C28	25,3	0,1	0,6
C29	32,65	0,1	0,55
C32	56,98	0,39	0,5
C33	49,56	0,34	0,55
C34	51,46	0,23	0,55
C35	29,98	0,23	0,65
C36	28,85	0,17	0,65

Tabella 4.13: riassuntiva del ramo con larghezza, area e coeff. di deflusso. Presenti sia le condotte del nuovo tratto che quelle del ramo precedente.

C32							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
861,64	17,34506688	106,6906	182,4409	0,182441	0,3	2,027	1
					0,4	1,140255	1
					0,5	0,729763	0,87
					0,6	0,50678	0,61

R _H /D	RH	i	Tau
0,2799	0,16794	1,918692	3,161029

Tabella 4.14 e 4.15: del dimensionamento della condotta C32, con metodo cinematico a velocità fissata.

C32-C33							
t_c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
911,2	17,89337123	104,4339	214,0896	0,21409	0,3	2,379	1
					0,4	1,33806	1
					0,5	0,856358	1
					0,6	0,594693	0,7

R _H /D	RH	i	Tau
0,2962	0,17772	1,779218	3,101947

Tabella 4.16 e 4.17: del dimensionamento della condotta C33, con metodo cinematico a velocità fissata.

C32-C34							
t _c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
962,66	18,44887234	102,2105	233,04	0,23304	0,3	2,589	1
					0,4	1,4565	1
					0,5	0,93216	1
					0,6	0,647333	0,76

R _H /D	RH	i	Tau
0,3024	0,18144	1,730746	3,080601

Tabelle 4.18 e 4.19: del dimensionamento della condotta C34, con metodo cinematico a velocità fissata.

C32-C35							
t _c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
992,64	18,76643431	102,5264	257,3413	0,257341	0,3	2,859	1
					0,4	1,608383	1
					0,5	1,029365	1
					0,6	0,714837	0,85
					0,7	0,525186	0,63

R _H /D	RH	i	Tau
0,2842	0,19894	1,530787	2,987485

Tabelle 4.20 e 4.21: del dimensionamento della condotta C35, con metodo cinematico a velocità fissata.

C32-C36							
t _c (s)	h (mm)	u (l/s,ha)	Q (l/s)	A' (m ²)	D (m)	A'/D ²	y/D
1021,49	19,06803452	102,6679	275,1499	0,27515	0,3	3,057	1
					0,4	1,719687	1
					0,5	1,100599	1
					0,6	0,764305	0,93
					0,7	0,56153	0,67

R _H /D	RH	i	Tau
0,2917	0,20419	1,478535	2,961659

Tabelle 4.22 e 4.23: del dimensionamento della condotta C36, con metodo cinematico a velocità fissata.

Nelle tabelle qua sopra riportate, nello specifico per la condotta C32, viene utilizzato il tempo di corrivazione proveniente dalla condotta C29 in quanto, come precedentemente chiarito, presenta il tempo di corrivazione più lungo.

I tempi di corrivazioni finale dei due sistemi sono: per il sistema colorato di Blu $t_c = 1577,82 \text{ s}$ che corrispondono a 26,30 min e per il sistema colorato di Verde $t_c = 370,63 \text{ s}$ che corrisponde a 22,84 min.

In prima battuta vengono riportate condotte con lunghezze superiore a 50m per rendere i calcoli più veloci e meno onerosi, in seguito le condotte che eccedono questo valore verranno adeguatamente divisi in due o più parti a seconda del caso.

4.3. Dimensionamento su software SWMM

Una volta calcolate per tutte le condotte del sistema, il diametro, la pendenza e verificato lo sforzo tangenziale, si può procedere ad inserire tutti i dati ricavati dal metodo cinematico all'interno del software SWMM per poi simulare la tempesta Vaia e verificare che tutto il dimensionamento adempia al corretto funzionamento del sistema. Di fondamentale importanza, in questa fase del dimensionamento, è la correzione dei diametri e l'impostazione delle caratteristiche delle pendenze date dalla profondità dei pozzetti, da cui dipendono i parametri "*max depth*" e "*invert elevation*": il primo parametro indica la profondità della quota del terreno al fondo della condotta, mentre il secondo parametro indica la quota del fondo della condotta rispetto allo zero di riferimento stabilito dal programma.

Con questi parametri, opportunamente calcolati per ciascun pozzetto, è possibile stabilire le pendenze ricavate dal metodo cinematico per le condotte; data la natura di questi dati è necessario conoscere le quote del terreno di ciascun pozzetto. Anche per questa fase del dimensionamento sono stati utilizzati i fogli di calcolo del programma Excel, dove per

ogni pozzetto è stata attribuita la dovuta quota del terreno e un primo parametro “*max depth*” per il primo pozzetto iniziale, scelto in base alla successiva pendenza del terreno o a relative problematiche. Per ogni tratto del sistema, quindi, sono state redatte le due seguenti tabelle: una dove vengono rappresentate le lunghezze e le pendenze delle condotte, facenti parte del tratto considerato, e una seconda dove effettivamente vengono calcolati i due parametri “*max depth*” e “*invert elevation*” sulla base di: pendenza, quota terreno e lunghezza della condotta (Tabella 4.24 e 4.25). L’esempio delle due tabelle, di seguito rappresentate, riportano i dati per le condotte raffigurate in Figura 4.23.

Condotte	Lunghezza(m)	i(condotte)
C123	50,17	0,784103868
C124	48,97	0,784103868
C125	45,37	0,773725326
C9	49,83	0,715406796
C219	31,24	0,706082974
C220	27,49	0,706082974

Tabella 4.24: descrittiva del tratto, con riportate le lunghezze e le pendenze in %

Condotte	Quote	Invert elev	Max depth	
C124	C123	608	604,2	3,80
		607	604,16	2,84
C9	C125	607,5	604,12	3,38
		607	604,09	2,91
C220	C219	608	604,05	3,95
		608,4	604,03	4,37
		609	604,03	4,97

Tabella 4.25: che rappresenta le altezze (max depth e invert elevation), per ciascun pozzetto a monte e a valle della condotta. Il pozzetto a valle di una condotta costituirà il pozzetto a monte della condotta successiva.

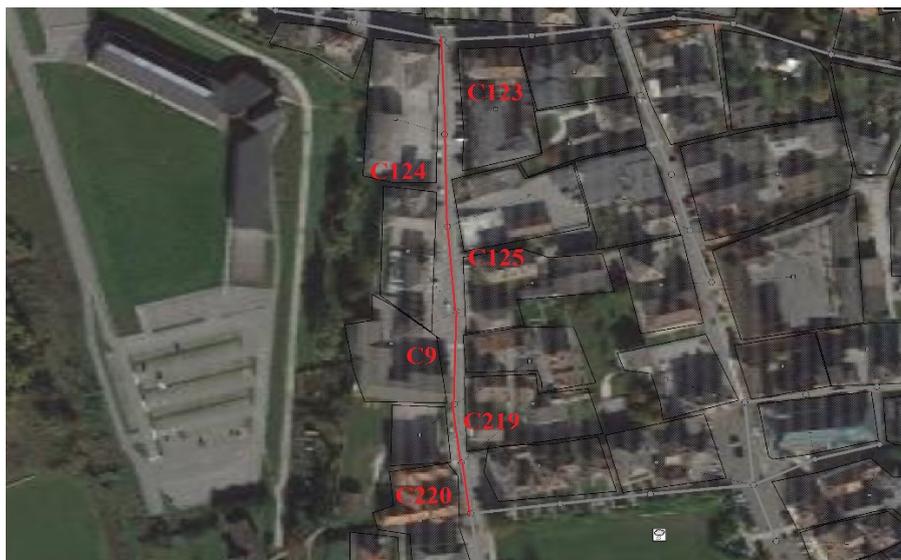


Figura 4.13: evidenzia le condotte analizzate nelle tabelle ###

Un aspetto rilevante, che risulta anche ad un osservatore inesperto, è sicuramente la presenza di dislivello in un comune-montano come quello di Agordo. Ecco che a questa caratteristica della morfologia del territorio vanno associate soluzioni come i pozzetti di salto che permettono di mantenere la pendenza definita da progetto con pendenze del terreno rilevanti.

Uno degli obiettivi di questa fase è quello di mantenere più bassi possibili i costi dovuti agli scavi, per la messa in opera delle condotte, senza inficiare sulla sicurezza e funzionalità del sistema. La finalità è quella di posizionare la generatrice superiore della condotta a una profondità minima di 1,7m rispetto la quota terreno, questo vincolo permette di lasciare una distanza di 30cm rispetto l'eventuale presenza di condotte di una rete di distribuzione acquedottistica, per prevenire in caso di rottura o mal funzionamenti la contaminazione delle acque potabili.

Nella realtà dei fatti, a causa di elevate pendenze in diverse condotte devono essere posti pozzetti di salto a profondità ben superiori ai 4m precedentemente citati, in modo tale da garantire a valle della condotta una distanza minima di 1,7m.

Come accennato alla fine del capitolo precedente sono state aggiornate le condotte con lunghezza superiore di 50m poste inizialmente per un dimensionamento di massima iniziale, dividendole in più parti cercando di sottostare ad 50m di lunghezza massima per condotta. Questo vincolo si presenta principalmente per lo schema d'interazione tra caditoie e pozzetti, dato che ad ogni caditoia è associato il proprio pozzetto in cui defluisce l'acqua raccolta.

Si è cercato, per quanto possibile, di trovare un compromesso ottimale per tutti i parametri che entrano in gioco nel dimensionamento e la messa in opera della condotta. Per questo, una volta predisposte le condotte calcolate con il metodo cinematico, si sono apportate modifiche sui diversi parametri per garantire il corretto funzionamento del sistema. In questo modo, grazie a differenti simulazioni, si riesce a diminuire o aumentare a seconda dei casi il diametro delle condotte per ottimizzare al meglio il dimensionamento effettivo del progetto. Di seguito verranno rappresentate le planimetrie con le condotte implementate all'interno del software SWMM; è stata posta maggior attenzione per

quanto riguarda due dati fondamentali: la capacità e la velocità, presenti all'interno delle condotte.

4.3.1. Analisi del grado di riempimento e delle velocità delle acque meteoriche nelle condotte

Nella prime due figure di sotto riportate (Figura 4.14 e 4.15) sono rappresentate le condotte in diverse colorazioni, ovvero il colore rappresenta lo stato di riempimento della condotta come riportato anche nella legenda presente all'interno della figura. Lo studio del grado di riempimento delle condotte è stato fatto per tutta la lunghezza della “*times-series*” (cioè per tutta la durata dei dati raccolti dal pluviografo durante la tempesta) con più attenzione per quanto concerne i momenti più critici della tempesta. In particolare, la prima figura (Figura 4.14) rappresenta il grado di riempimento delle condotte il giorno 28 ottobre alle ore 11:45, mentre la seconda (Figura 4.15) allo stesso modo della prima figura rappresenta il grado di riempimento delle condotte ma il 29 ottobre alle 17:15. Queste due situazioni rappresentano due momenti critici della tempesta Vaia, dato che presentano valori più alti d'intensità di precipitazioni. Nel caso in cui si presentino tratti colorati di rosso ciò significa che la condotta non adempie al proprio corretto funzionamento, in considerazione del fatto che le acque meteoriche andrebbero in pressione causando fenomeni di rigurgito andando a sfociare sul piano stradale.

Come si può notare il sistema funziona senza la presenza di condotte che rigurgitano durante la simulazione. Difatti sono presenti in prevalenza tratti colorati di giallo che mostrano una *Capacity* massima del 90%. Sull'estremità di taluni rami sono presenti delle condotte che rimangono colorate di blu scuro per tutta la durata dell'evento, in questo caso le condotte non possono essere diminuite ulteriormente in quanto è già presente il diametro minimo di 0,3m.



Figura 4.14: del sistema all'interno del software SWMM durante una simulazione della tempesta Vaia, per la precisione il 28 ottobre alle ore 11:45. Le condotte assumono colorazioni differenti a seconda del grado di riempimento in quell'istante.



Figura 4.15: allo stesso modo di Figura 4.14 ma il 29 ottobre alle 17:15.

Nelle seguenti due figure (Figura 4.16 e 4.17) vengono riportate le planimetrie che illustrano le condotte in diverse colorazioni, questa volta evidenziando le velocità relative a ciascuna condotta. Per quanto riguarda i tempi vengono riportati per la prima figura (Figura 4.16) il giorno 28 ottobre 2018 alle ore 11:45 e per la seconda figura (Figura 4.17) sempre il giorno 28 ottobre, ma alle ore 11:50. Si può notare che le condotte non raggiungono mai valori elevati rimanendo sempre al di sotto di 3m/s ⁵.



Figura 4.16: del sistema di drenaggio, durante la simulazione della tempesta Vaia, con evidenziate le condotte di diverso colore in base alla velocità fluente all'interno. La figura è stata presa nel giorno 28 ottobre 2018 alle ore 11:45, della simulazione

⁵ Viene posto un limite della velocità, che possono essere presenti nelle acque delle condotte, dato che oltre il quale si potrebbero formare fenomeni di abrasione, con successivo deterioramento della condotta.



Figura 4.17: allo stesso modo della figura precedente, sempre il giorno 28 ottobre, ma cinque minuti dopo alle ore 11:50

4.3.2. Profilo delle condotte e grafici rappresentativi della velocità

Le seguenti due figure, Figura 4.18 e Figura 4.19, illustrano il profilo delle condotte con il tempo di corrivazione maggiore: la prima per il sistema colorato di blu e la seconda per il sistema colorato di verde (come dalla suddivisione fatta al Capitolo 4, Figura 4.9); entrambe le figure, che rappresentano i profili delle condotte durante la simulazione della tempesta Vaia, riportano in basso a destra la data e l'ora dell'esatto momento in cui vengono analizzati. Si nota subito il considerevole utilizzo fatto dei pozzetti di salto principalmente sui versanti più pendenti del comune di Agordo.

Per una più facile comprensione del posizionamento all'interno della rete, dei profili delle condotte, verrà introdotto con il Capitolo 4.3.3. delle figure che associano a ciascuna condotta e pozzetto il relativo codice alfanumerico di riconoscimento.

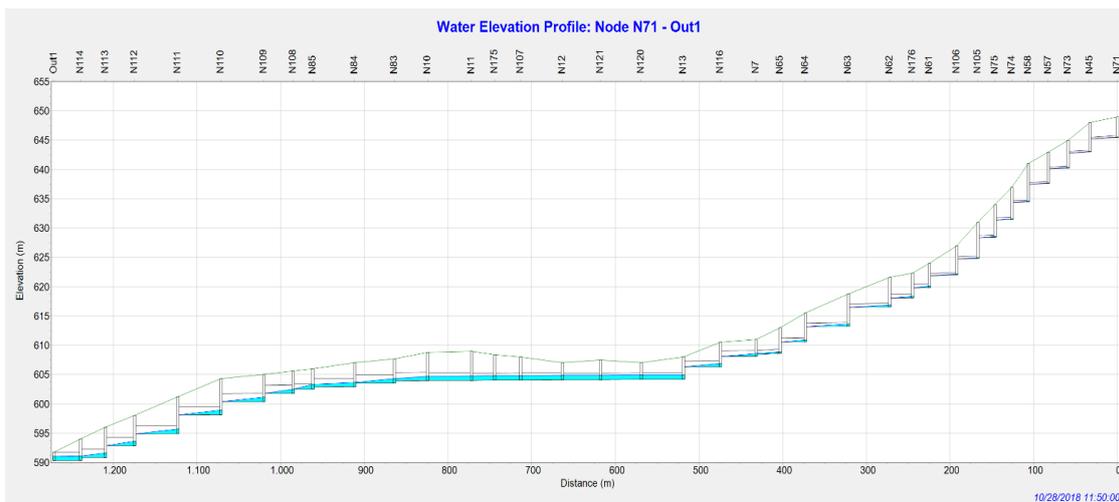


Figura 4.18: profilo del tratto più lungo, dal pozzetto N71 fino all'uscita Out1, per quanto concerne il sistema colorato di Blu; nell'istante del 28 ottobre alle 11:50.

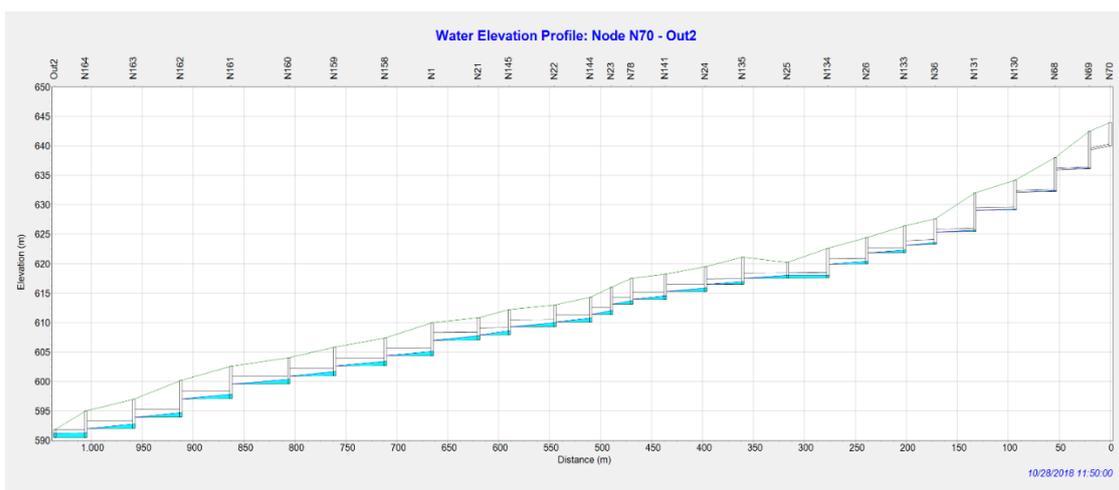


Figura 4.19: profilo del tratto più lungo, dal pozzetto N70 fino all'uscita Out2, per quanto concerne il sistema colorato di Verde; nell'istante del 28 ottobre alle 11:50.

Vengono riportati altre sezioni significative (da Figura 4.20 a 4.25) del sistema con tempi di corrvazioni rilevanti. Da come si evince anche da questi profili, le condotte non vanno mai in pressione dato che le acque meteoriche non riempiono mai totalmente le condotte.

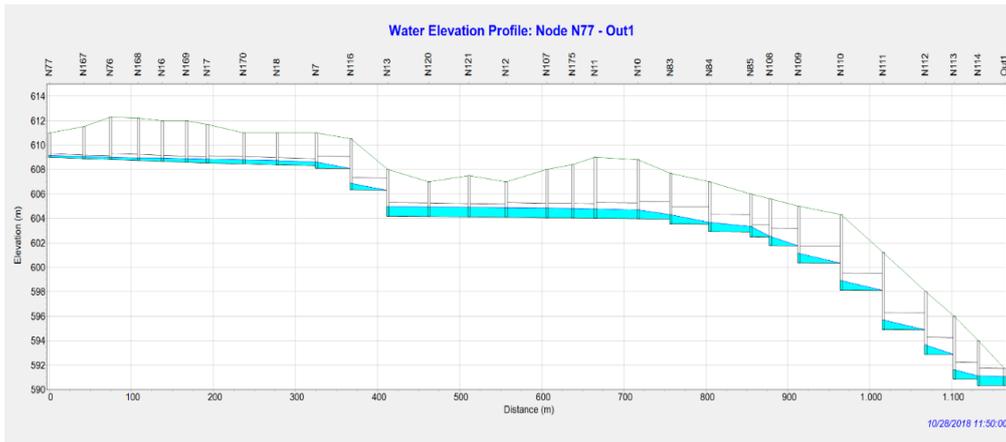


Figura 4.20: profilo di un tratto che procede dal nodo N77 fino a Out1, sempre il 28 ottobre alle 11:50.

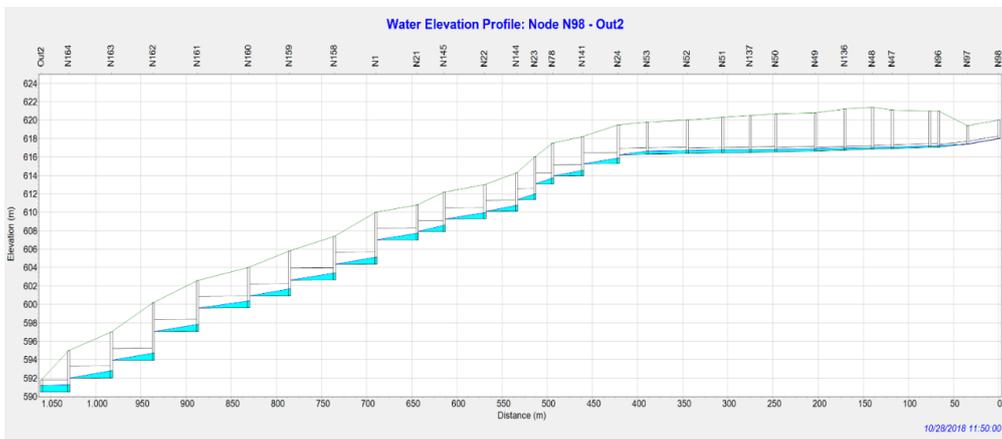


Figura 4.21: profilo di un tratto che procede dal nodo N98 fino a Out2, sempre il 28 ottobre alle 11:50.

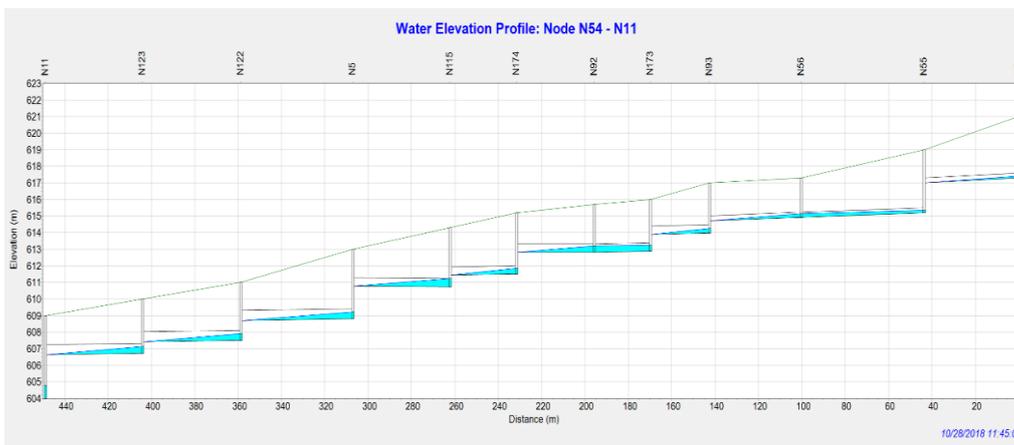


Figura 4.22: profilo di un tratto che procede dal nodo N98 fino a Out2, sempre il 28 ottobre alle 11:50.

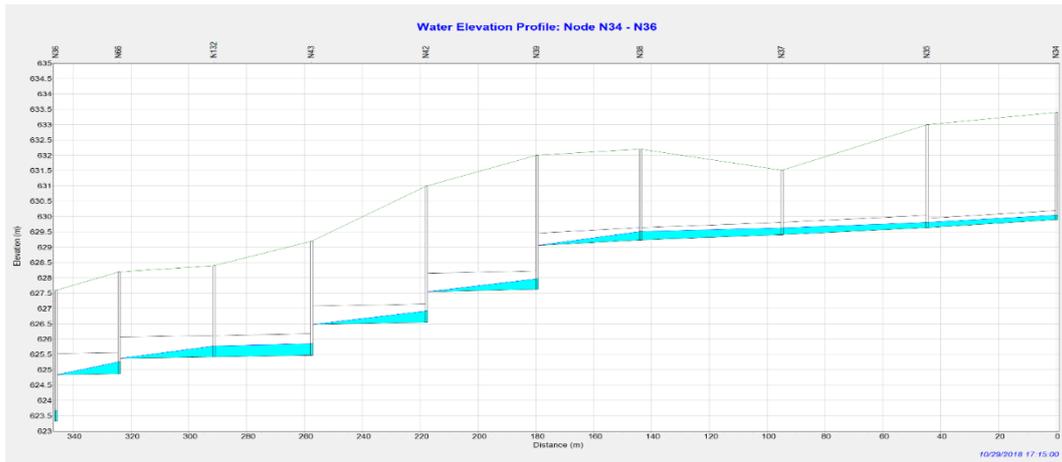


Figura 4.23: profilo di un tratto che procede dal nodo N34 fino a N36, il 29 ottobre alle 17:15.

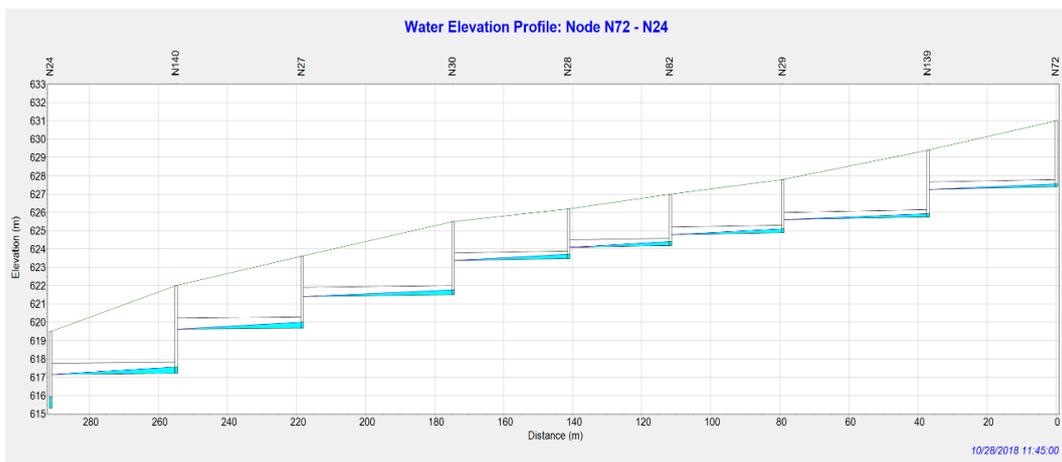


Figura 4.24: profilo di un tratto che procede dal nodo N72 fino a N24, il 28 ottobre alle 11:45.

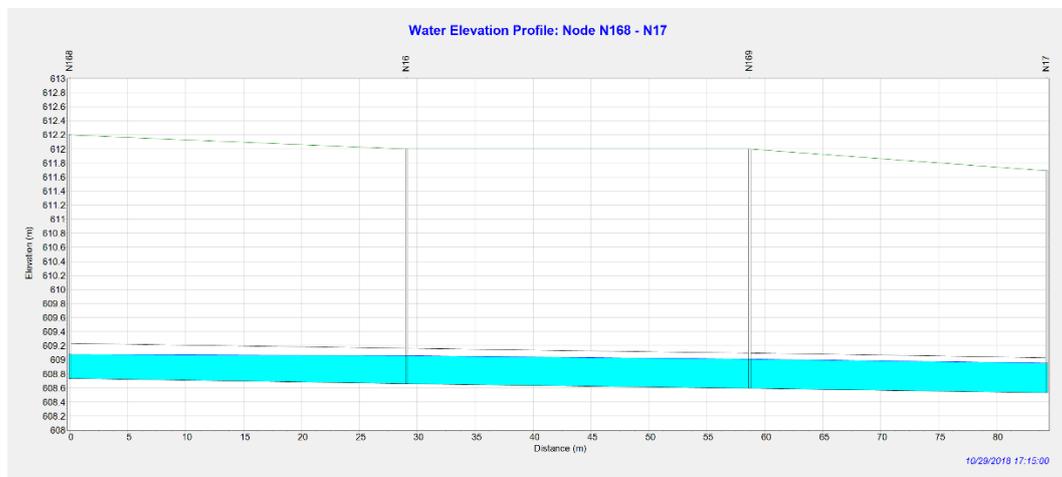


Figura 4.25: profilo di tre condotte dal nodo N168 a N17, il 29 ottobre alle 17:15

Nelle Figure da 4.26 e 4.28 sono rappresentati i grafici relativi all'andamento della velocità nel tempo rispettivamente delle condotte che presentano valori più alti rispetto la media. Anche qui si evidenzia come, per tutta la durata dell'evento, la velocità nelle condotte non supera mai il valore di 3 m/s.

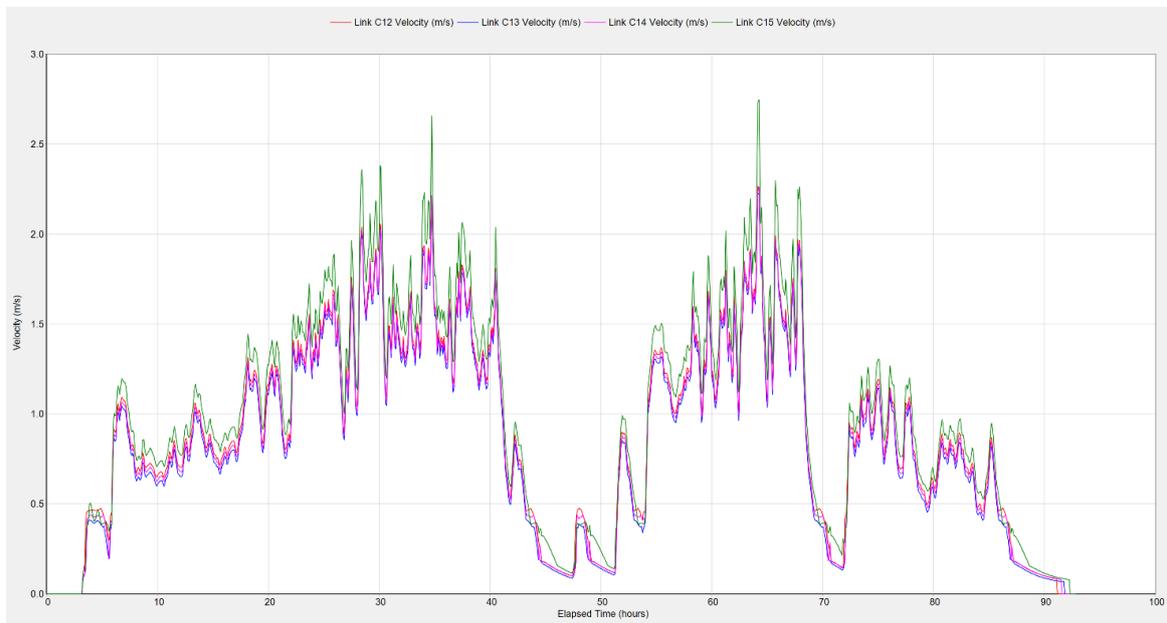


Figura 4.26: delle velocità da N10 a N108, nell'asse delle ascisse è portata la durata dell'evento in [ore] mentre sull'asse delle ordinate la velocità in [m/s]. I differenti colori vengono associati a ciascuna condotta del tratto.

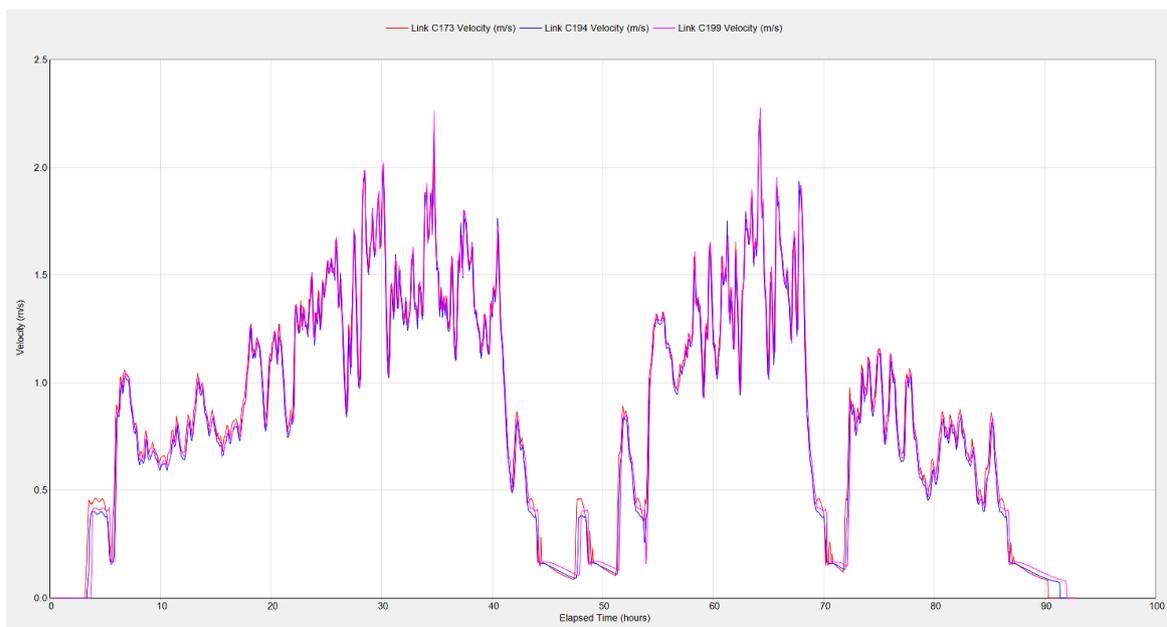


Figura 4.27: delle velocità di tre condotte significative, che presentano i valori più alti durante la simulazione.

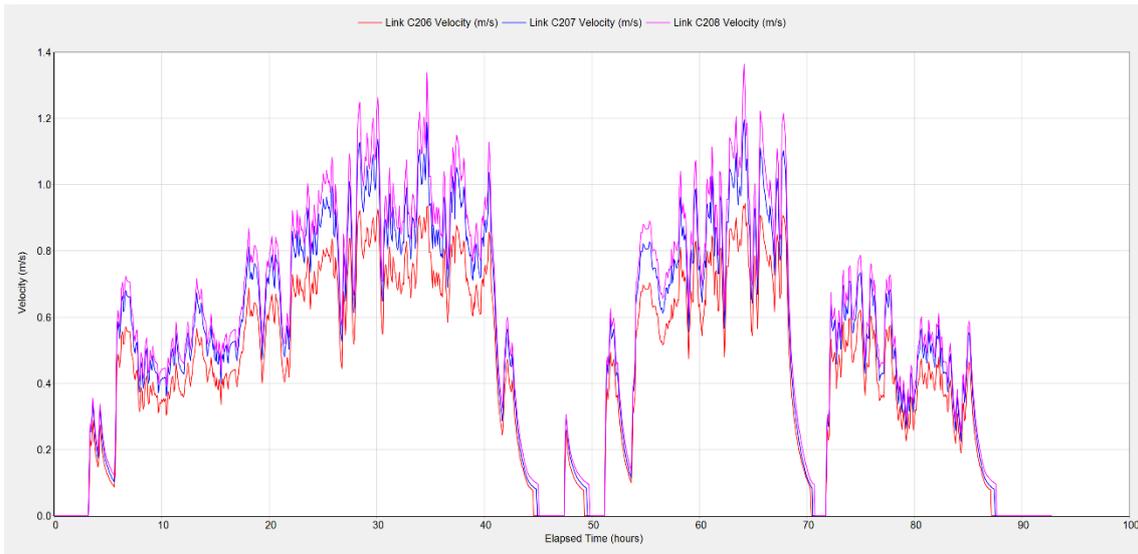


Figura 4.28: velocità dell'acqua nel tempo facente riferimento alle tre condotte citate a Figura 4.25.

4.3.3. Catalogazione di condotte e pozzetti

Vengono riportate di seguito delle figure (da Figura 4.29 a 4.32) che associano, a ciascuna condotta e successivamente anche a ciascun pozzetto, un codice alfanumerico identificativo dell'elemento. La prima lettera identifica la tipologia dell'elemento: C identifica le condotte, mentre N i pozzetti; il numero invece permette di riconoscere ogni singolo elemento presente all'interno della tipologia di cui fa parte.



Figura 4.29: attribuzione del codice alfanumerico alle condotte del sistema color blu.



Figura 4.30: attribuzione del codice alfanumerico alle condotte del sistema colorato di verde.



Figura 4.31: attribuzione del codice alfanumerico ai pozzetti del sistema colorato di blu.



Figura 4.32: attribuzione del codice alfanumerico ai pozzetti del sistema colorato di verde.

4.4. Tabella riassuntiva del dimensionamento

In conclusione, al dimensionamento viene esposta la tabella suddivisa in due parti (una per quanto concerne il sistema colorato di blu e una per quello colorato di verde), che permette, in modo approssimativo, la messa in opera delle 157 condotte della rete di drenaggio (Tabella 4.26 e 4.27):

Condotta N°	Lunghezza [m]	Diametro [m]	Max. Depth pozzetto di monte [m]	Invert El. Pozzetto di monte [m]	Quota terreno pozzetto a monte [m]	Outlet offset [m]	Pendenza ‰
Sistema colorato di Blu							
C203	42,08	0,3	2,00	609,00	611,00	0,00	2,375151
C204	32,48	0,4	2,60	608,90	611,50	0,00	2,375151
C205	33,91	0,5	3,48	608,82	612,30	0,00	2,563241
C206	29,06	0,5	3,46	608,74	612,20	0,00	2,563241
C207	29,6	0,5	3,38	608,66	612,04	0,00	2,213861
C208	25,65	0,5	3,40	608,60	612,00	0,00	2,213861
C209	44,08	0,6	3,16	608,53	611,69	0,00	1,862586
C210	40,72	0,6	2,54	608,46	611,00	0,00	1,862586
C5	47,63	0,6	2,62	608,38	611,00	0,20	1,725419
C72	32,94	0,3	3,50	645,50	649,00	2,20	8,697132
C73	26,29	0,3	4,99	643,00	647,99	2,50	8,697132
C115	23,51	0,3	4,72	640,27	644,99	2,50	6,170582
C116	23,85	0,3	5,36	637,63	642,99	3,00	6,170582
C117	19,51	0,3	6,52	634,48	641,00	2,90	6,170582
C118	20,05	0,4	5,54	631,46	637,00	2,90	5,440143
C119	20,71	0,4	5,55	628,45	634,00	3,50	5,440143
C28	25,32	0,4	6,16	624,84	631,00	2,70	5,003301
C29	32,65	0,4	4,98	622,02	627,00	2,00	5,003301
C30	21,26	0,3	3,50	622,50	626,00	0,20	9,333826
C31	21,88	0,3	2,90	622,10	625,00	2,09	7,082809
C42	33,79	0,4	2,10	620,00	622,10	0,00	5,277478
C43	36,24	0,4	3,10	619,90	623,00	0,00	4,942813
C221	20,01	0,6	4,15	619,85	624,00	1,70	1,918692
C222	27,35	0,6	4,19	618,11	622,30	1,50	1,918692
C33	49,56	0,6	5,04	616,56	621,60	3,20	1,779218
C34	51,46	0,6	5,48	613,27	618,75	2,60	1,730746
C35	29,98	0,7	4,92	610,58	615,50	1,90	1,530787
C36	28,85	0,7	4,36	608,64	613,00	0,30	1,478535
C211	29,64	0,4	3,00	610,00	613,00	0,00	3,451459
C212	31,02	0,4	2,70	609,90	612,60	0,00	3,451459
C213	44,89	0,5	2,90	609,70	612,60	0,00	2,192518
C214	38,76	0,5	3,61	608,79	612,40	0,41	2,192518
C121	42,46	1,0	2,90	608,10	611,00	1,72	0,873165
C122	44,36	1,0	4,16	606,34	610,50	2,10	0,873165
C23	48,89	0,3	2,00	605,00	607,00	0,00	2,5
C24	39,76	0,5	3,12	604,88	608,00	0,00	2,633145
C25	45,15	0,5	2,63	604,77	607,40	0,20	2,633145
C123	50,17	1,1	3,80	604,20	608,00	0,00	0,784104
C124	48,97	1,1	2,84	604,16	607,00	0,00	0,784104
C125	45,37	1,1	3,38	604,12	607,50	0,00	0,773725

C9	49,83	1,2	2,91	604,09	607,00	0,00	0,715407
C219	31,24	1,2	3,95	604,05	608,00	0,00	0,706083
C220	27,49	1,2	4,37	604,03	608,40	0,00	0,706083
C44	43,56	0,3	3,70	617,30	621,00	1,80	6,907006
C45	52,65	0,3	3,80	615,20	619,00	0,00	4,834801
C46	42,46	0,3	2,37	614,93	617,30	0,74	4,33253
C41	51,7	0,3	2,00	615,00	617,00	0,68	5,529166
C47	21,61	0,3	2,00	614,70	616,70	0,45	11,45171
C215	27,24	0,5	3,02	613,98	617,00	1,00	3,037257
C216	25,86	0,5	3,10	612,89	615,99	0,00	3,037257
C217	35,75	0,5	2,88	612,82	615,70	1,30	2,531969
C218	30,64	0,5	3,69	611,51	615,20	0,70	2,531969
C48	44,97	0,5	3,57	610,73	614,30	1,97	2,375151
C51	33,36	0,3	2,60	612,40	615,00	1,20	7,082809
C52	33,41	0,3	3,24	610,96	614,20	2,01	4,54255
C129	31,97	0,3	2,00	610,00	612,00	0,82	5,277478
C126	51,66	0,6	4,20	608,80	613,00	1,20	1,862586
C127	45,38	0,6	3,50	607,50	611,00	0,70	1,815908
C128	44,7	0,6	3,28	606,72	610,00	2,63	1,815908
C11	52,39	1,3	4,99	604,01	609,00	0,00	0,630914
C53	45,98	0,3	3,20	611,80	615,00	1,20	5,62077
C134	37,39	0,4	3,66	610,34	614,00	0,90	2,473764
C135	39,79	0,4	3,65	609,35	613,00	1,20	2,473764
C136	42,62	0,6	3,45	608,05	611,50	1,40	1,862586
C137	36,45	0,6	3,83	606,57	610,40	2,53	1,862586
C12	39,75	1,4	4,82	603,98	608,80	0,40	0,571554
C13	47,68	1,4	4,15	603,55	607,70	0,60	0,574901
C14	50	1,4	4,07	602,93	607,00	0,40	0,578545
C15	23,41	1,4	3,50	602,50	606,00	0,70	0,578545
C16	35,1	1,4	3,82	601,78	605,60	1,40	0,578545
C17	51,43	1,4	4,64	600,36	605,00	2,20	0,578545
C18	51,54	1,4	6,17	598,13	604,30	3,20	0,578545
C19	51,54	1,4	6,30	594,90	601,20	2,00	0,578545
C20	34,8	1,4	5,13	592,87	598,00	2,00	0,578545
C21	29,52	1,4	5,14	590,85	595,99	0,50	0,578545
C22	31,97	1,4	3,66	590,34	594,00	0,00	0,578545

Tabella 4.26: riassuntiva del sistema colorato di blu, con nome delle condotte e relativi dati utili per la messa in opera di esse.

Condotta N°	Lunghezza [m]	Diametro [m]	Max. Depth pozzetto di monte [m]	Invert El. Pozzetto di monte [m]	Quota terreno pozzetto a monte [m]	Outlet offset [m]	Pendenza ‰
Sistema colorato di Verde							
C57	20,43	0,3	4,00	640,00	644,00	3,10	34,94225
C58	33,37	0,3	6,31	636,19	642,50	3,60	7,909357
C142	39,70	0,3	5,68	632,32	638,00	3,00	4,54255
C143	39,50	0,5	5,06	629,14	634,20	3,55	2,501358
C144	38,70	0,5	6,51	625,49	632,00	2,07	2,501358
C91	44,71	0,3	3,50	629,90	633,40	0,00	5,821709
C92	50,22	0,4	3,36	629,64	633,00	0,00	4,483347
C83	48,89	0,4	2,10	629,41	631,51	0,00	3,59618
C84	35,79	0,4	2,96	629,24	632,20	1,43	4,942813
C89	27,70	0,3	2,00	628,00	630,00	0,00	6,299976
C90	36,31	0,3	5,37	627,83	633,20	0,00	5,440143
C85	38,23	0,6	4,37	627,63	632,00	1,00	1,918692
C86	39,75	0,6	4,45	625,55	630,00	1,00	1,830115
C145	33,73	0,7	3,72	625,48	629,20	0,00	1,768859
C146	32,89	0,7	2,98	625,42	628,40	0,50	1,530787
C88	21,72	0,7	3,33	624,87	628,20	1,52	1,530787
C201	36,72	0,5	2,30	623,50	625,80	0,00	3,228237
C202	18,22	0,6	2,62	623,38	626,00	0,00	3,228237
C147	30,01	0,8	4,28	623,32	627,60	1,20	1,17161
C148	37,13	0,8	4,50	621,90	626,40	1,90	1,17161
C149	38,20	0,9	4,44	619,96	624,40	2,30	1,065835
C150	39,33	0,9	4,98	617,62	622,60	0,00	1,065835
C151	44,29	0,9	2,62	617,59	620,21	1,00	1,057561
C152	36,52	0,9	4,57	616,53	621,10	1,19	1,057561
C70	34,55	0,3	2,00	618,00	620,00	0,00	18,00729
C71	31,92	0,3	2,02	617,38	619,40	0,00	8,697132
C64	9,940	0,4	3,90	617,10	621,00	0,00	3,767685
C74	41,54	0,4	3,94	617,06	621,00	0,00	3,451459
C75	21,90	0,4	4,18	616,92	621,10	0,00	3,118044
C156	30,68	0,4	4,55	616,85	621,40	0,00	3,020999
C157	32,45	0,5	4,44	616,76	621,20	0,00	3,020999
C77	44,04	0,5	4,14	616,66	620,80	0,00	2,243557
C158	28,56	0,6	4,14	616,56	620,70	0,00	1,939917
C159	30,17	0,6	3,99	616,51	620,50	0,00	1,939917
C79	39,45	0,6	3,85	616,45	620,30	0,00	1,75939
C80	44,20	0,7	3,62	616,38	620,00	0,00	1,736103
C81	32,14	0,7	3,50	616,30	619,80	0,95	1,530787
C160	29,12	0,3	3,50	627,50	631,00	1,40	13,27814
C161	28,63	0,3	3,49	625,71	629,20	0,00	13,27814
C94	33,76	0,3	3,07	625,33	628,40	1,60	5,931888
C95	23,55	0,3	3,77	623,53	627,30	1,92	4,888285
C162	37,14	0,4	3,60	627,40	631,00	1,50	3,830106
C163	42,04	0,4	3,64	625,77	629,41	0,70	3,830106
C99	32,60	0,4	2,90	624,90	627,80	0,60	3,409351
C100	29,49	0,4	2,81	624,19	627,00	0,60	3,228237
C101	33,46	0,4	2,71	623,49	626,20	1,88	3,260319
C96	43,66	0,5	4,00	621,50	625,50	1,70	2,501358
C165	36,45	0,6	3,91	619,69	623,60	2,40	1,961557
C166	36,41	0,6	4,78	617,22	622,00	1,85	1,961557
C113	44,39	0,6	2,30	621,70	624,00	0,09	4,942813
C167	39,64	1,2	4,20	615,30	619,50	1,30	0,710557
C168	33,11	1,2	4,23	613,97	618,20	0,85	0,710557

C102	39,78	0,3	2,00	624,50	626,50	0,00	10,95091
C103	12,14	0,3	2,94	624,06	627,00	0,00	5,62077
C104	26,86	0,3	2,30	624,00	626,30	0,00	5,718151
C105	38,57	0,3	2,16	623,84	626,00	1,70	4,575802
C169	40,58	0,4	3,73	621,97	625,70	1,60	3,767685
C170	33,95	0,4	3,79	620,21	624,00	2,10	3,767685
C171	32,28	0,4	4,21	617,99	622,20	2,40	3,451459
C172	31,53	0,4	4,53	615,47	620,00	2,27	3,451459
C66	19,52	1,2	4,40	613,10	617,50	1,70	0,686847
C173	20,41	1,2	4,61	611,39	616,00	1,25	0,68323
C174	35,09	1,2	4,18	610,12	614,30	0,80	0,68323
C175	45,12	1,2	3,70	609,30	613,00	1,35	0,684733
C176	29,87	1,2	4,28	607,92	612,20	0,87	0,684733
C111	28,94	0,3	3,10	612,90	616,00	1,40	4,433386
C112	29,48	0,4	3,43	611,37	614,80	1,07	3,409351
C108	42,99	0,3	2,60	611,14	613,74	1,15	0,00118
C177	35,06	0,5	3,20	610,20	613,40	1,40	2,421289
C178	29,19	0,5	3,69	608,72	612,40	0,00	2,421289
C179	34,99	0,6	2,86	608,64	611,50	1,50	1,846226
C180	27,59	0,9	3,82	607,08	610,90	0,00	1,846226
C69	45,48	1,3	3,77	607,03	610,80	2,60	0,613261
C193	45,84	1,3	5,99	604,40	610,39	1,70	0,613261
C194	50,02	1,3	4,73	602,67	607,40	1,70	0,613261
C195	45,13	1,3	4,86	600,94	605,80	1,30	0,613261
C196	56,55	1,3	4,39	599,61	604,00	2,50	0,613261
C197	49,05	1,3	5,52	597,08	602,60	3,10	0,613261
C198	46,34	1,3	6,25	593,95	600,20	1,90	0,613261
C199	47,26	1,3	4,98	592,02	597,00	1,50	0,613261
C200	33,42	1,3	4,51	590,49	595,00	0,00	0,613261

Tabella 4.27: riassuntiva del sistema colorato di verde, con nome delle condotte e relativi dati utili per la messa in opera di esse.

5. Conclusioni

Il nuovo sistema di drenaggio proposto potrebbe essere predisposto in modo complementare all'attuale sistema fognario di Agordo. Di conseguenza verrebbe a formarsi un sistema di tipo separato, con una rete dedicata alle sole acque nere (cioè adibendo l'attuale rete di tipo misto a tale scopo) e una rete per le sole acque bianche (quella proposta nei precedenti capitoli). Questo tipo di sistema presenta taluni vantaggi:

- Evita lo scarico di acque miste durante eventi meteorologici, con un trattamento adeguato a ciascun tipo di acqua.
- Le acque nere che vengono convogliate verso l'impianto di depurazione presentano delle oscillazioni inferiori delle portate (rispetto ad un sistema di tipo misto).
- Si predilige, rispetto ad un sistema di tipo misto, nel momento in cui si presentino eventi meteorici che producono considerevoli quantità di spostamenti di materiali solidi (nel caso studio si tratta di terra e materiale roccioso, provenienti dal versante delle montagne).

Questa soluzione proposta presenta dei costi di costruzioni elevati, dati dalla presenza di due reti affiancate l'una all'altra (anziché solo una), ma anche dai costi della messa in opera del sistema di drenaggio illustrato nei capitoli precedenti. Le condotte difatti per funzionare a gravità con la corretta inclinazione devono essere poste, in taluni casi dove la pendenza del terreno è considerevole, a profondità superiori dei 4m per garantire a valle di ciascuna condotta una distanza minima di 1,70m.

Altre due problematiche che si riscontrano con questa tipologia di sistema riguardano: la rete di acque nere e i nuovi possibili allacciamenti. Per quanto concerne la prima problematica, si presentano degli svantaggi dati dal fatto che le condotte delle acque nere non godono più dei lavaggi periodici delle acque piovane. Dovranno essere predisposti dei pozzetti di cacciata per garantire una corretta pulizia delle condotte ed evitare la sedimentazione del liquame. Per la seconda problematica potrebbero verificarsi degli errori causati dagli operatori nel caso in cui debbano predisporre delle nuove condotte da

allacciare alle reti presenti. Come ad esempio: una condotta che, anziché essere allacciata alle acque nere, viene erroneamente collegata alla rete delle acque bianche, causando la contaminazione di quest'ultime.

Un aspetto rilevante che entra in gioco è che nel futuro, a causa del cambiamento climatico⁶, le precipitazioni potranno superare le caratteristiche avute dalla tempesta Vaia, con danni superiori a eventi estremi già visti in passato. Motivo per il quale avere un impianto di drenaggio con capacità superiori (come quello esposto all'interno di questa tesi), rispetto l'attuale sistema, permetterebbe di garantire la funzionalità per eventi con intensità più elevata, senza che si presentino allagamenti delle strade causati dai rigurgiti delle condotte.

⁶ Come si evince dai rapporti redati sistematicamente dal *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), organizzazione internazionale fondata dalle Nazioni Unite nel 1988.

6. Bibliografia

Agenzia Regionale per la Prevenzione e protezione Ambientale del Veneto (ARPAV),
“*Maltempo in veneto: pioggia e vento eccezionali*”, 2018.

Comunicazione Gsp, “*Lavori post Vaia: nuove vasche imhoff a Taibon Agordino. Ad Alleghe eseguiti nuovi allacci fognari in via Lungolago*”, 10 giugno 2021

Da Deppo L., Datei C. *Fognature*, undicesima edizione, Edizione progetto Padova, 2020.

IPCC, “*Climate change widespread, rapid, and intensifying*”, 9 agosto 2021.

Ufficio stampa Vivereacqua, “*Emergenza Vaia, 26,7 milioni di euro di lavori dei gestori Viveracqua*”, 20 maggio 2020.

7. Ringraziamenti

Un sentito ringraziamento va al professor Teatini che mi ha dedicato tempo e attenzioni per la stesura della tesi. Ma anche perché è riuscito ad appassionarmi ad un ramo dell'ingegneria civile che farà parte del mio futuro percorso accademico, l'idraulica.

Ringrazio indistintamente tutte le persone incontrate lungo il percorso che mi ha portato fino ad oggi. Da quelle che ho amato a quelle che ho meno apprezzato, perché tutte nel bene e nel male sono state significative e hanno definito quello che sono. I bei momenti mi hanno aiutato a definire le cose essenziali lungo la strada mentre i momenti più difficili a crescere come individuo e persona.

Un ringraziamento speciale:

Alla mia famiglia che mi ha supportato e incoraggiato quando nei momenti più bui nemmeno io ero il primo a crederci. Non sarei riuscito ad arrivare fino a questo punto senza di loro.

Alle nonne, grandi maestri di vita, da cui molto ho imparato e molto resta da imparare.