



UNIVERSITA' POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTA' DI INGEGNERIA

Corso di Laurea triennale in Ingegneria Civile-Ambientale

**SUPPORTO ALLO SVILUPPO E ALLA VALIDAZIONE
DI UN MODELLO QUALI-QUANTITATIVO DI RETE FOGNARIA**

**Support for the development and validation of
a qualitative-quantitative model of sewer system**

Relatore: Chiar.ma

Prof.ssa **Anna Laura Eusebi**

Tesi di Laurea di:

Pompili Francesco

Correlatore: Chiar.mi

Prof. **Giovanna Darvini**

Prof. **Francesco Fatone**

A.A. 2022 / 2023

Sommario

Capitolo 1: Introduzione	6
Capitolo 2: Gestione e mitigazione CSO	8
2.1 Inquadramento normativo.....	8
2.2 Gestione CSO.....	13
2.3 Soluzioni di mitigazione: NBS	18
Capitolo 3: Materiali e Metodi.....	25
3.1 Agglomerato di San Benedetto del Tronto	25
3.2 Costruzione del modello idraulico.....	30
3.2.1 Definizione dei sottobacini	32
3.2.2 Definizione degli eventi di pioggia.....	34
3.2.3 Definizione dei pozzetti	35
3.2.4 Definizione delle condotte	36
3.2.5 Definizione degli scolmatori	38
3.3 Analisi quantitativa della rete fognaria	46
3.3.1 Misuratori di portata Kaptor e elaborazione dei dati.....	48
3.3.2 Elaborazione dati del telecontrollo	54
3.3.3 Verifica delle portate con Kaptor portatile	58
3.4 Analisi qualitativa della rete fognaria.....	60
Capitolo 4: Risultati e discussione.....	63
4.1 Risultati Kaptor Mini.....	63
4.2 Risultati Telecontrollo	67
4.3 Bilancio di massa	73
Conclusioni e sviluppi futuri	75
Bibliografia.....	77
Sitografia.....	78

INDICE DELLE FIGURE

<i>Figura 1 Schema del sistema di fognatura misto (sopra) e separato (sotto)</i>	6
<i>Figura 2 esempio di funzionamento di un CSO</i>	7
<i>Figura 3 Divisione ATO Regione Marche</i>	11
<i>Figura 4 schema di uno scolmatore a stramazzo laterale</i>	13
<i>Figura 5 schema di uno scolmatore a luce di fondo</i>	14
<i>Figura 6 esempio di sensore di livello</i>	15
<i>Figura 7 esempio di sensore doppler per calcolo della velocità e dispositivo di misura</i>	16
<i>Figura 8 schema di installazione dei sensori di temperatura Ts1 e Ts2 per monitoraggio CSO tramite di un CSO presso Graz(Austria)</i>	16
<i>Figura 9 schema di funzionamento del dispositivo DSM-flux</i>	17
<i>Figura 10 celle di bioretensione</i>	18
<i>Figura 11 esempio di trincea infiltrante</i>	19
<i>Figura 12 esempio di canale vegetato</i>	19
<i>Figura 13 esempi di pavimentazioni permeabili</i>	20
<i>Figura 14 esempio di tetto verde estensivo ed intensivo</i>	20
<i>Figura 15 esempio di filtrazione verticale (VS)</i>	21
<i>Figura 16 esempio di fitodepurazione a flusso libero (Comune di Bologna)</i>	22
<i>Figura 17 schema di fitodepurazione a flusso libero (FWS)</i>	22
<i>Figura 18 Impianto di fitodepurazione (FBA) per sfioratore in testa al depuratore di Merone (CO), progettato da IRIDRA in collaborazione con Rietland (ing. D. Van Oirschot) e NaturallyWallace (ing. D. Scott Wallace)</i>	23
<i>Figura 19 schema di processo di una fitodepurazione ibrida</i>	23
<i>Figura 20: Schema della rete in formato GIS del bacino del Tratto Costiero</i>	25
<i>Figura 21: Schema della rete in formato GIS del bacino del Basso Tronto</i>	25
<i>Figura 22 Schema della rete (Tratto Costiero)</i>	26
<i>Figura 23 elenco scolmatori di piena</i>	27
<i>Figura 24 elenco scarichi di emergenza</i>	27
<i>Figura 25 Distribuzione degli AE nella rete fognaria del bacino di San Benedetto</i>	28
<i>Figura 26 Rete semplificata del tratto costiero</i>	29
<i>Figura 27 processi fisici e elementi trattati da SWMM</i>	30
<i>Figura 28 schema della rete fognaria nello SWMM</i>	31
<i>Figura 29 Schermata del Subcatchment</i>	33
<i>Figura 30 Schermata "Rain Gage" e schermata " Time Series" inserita all'interno del modello</i>	34
<i>Figura 31 Schermata junction e rappresentazione all'interno del modello</i>	35
<i>Figura 32 Editor della sezione trasversale (Shape) della condotta (Conduit)</i>	36
<i>Figura 33 Schermata conduit e rappresentazione all'interno del modello</i>	37
<i>Figura 34 Pianta e sezione di uno scolmatore di linea (VASCA00216)</i>	39
<i>Figura 35 Rappresentazione di uno scolmatore di linea all'interno del modello SWMM (VASCA00216)</i>	39
<i>Figura 36 Pianta e sezione di uno scolmatore su sollevamento con vasca unica (VASCA00135)</i>	40
<i>Figura 37 Rappresentazione di uno scolmatore con vasca unita all'interno dello SWMM (VASCA00135)</i>	40

Figura 38	<i>Pianta e sezione di uno scolmatore su sollevamento con vasche separate (VASCA00132)</i>	41
Figura 39	<i>Rappresentazione di uno scolmatore con vasche separate all'interno dello SWMM (VASCA00132)</i>	41
Figura 40	<i>Schermata "Storage Unit" all'interno del modello</i>	42
Figura 41	<i>schermata "editor" e schermata "view" dello Storage Curve</i>	43
Figura 42	<i>Schermata "orifice" all'interno del modello</i>	44
Figura 43	<i>Schermata "Outfall" all'interno del modello</i>	44
Figura 44	<i>Schermata "Pump Curve" e editor</i>	45
Figura 45	<i>Schemata "View" delle "Pump Curve"</i>	45
Figura 46	<i>macro aree per l'individuazione dei punti di misura</i>	46
Figura 47	<i>posizione dei misuratori Kaptor</i>	48
Figura 48	<i>trasmettitore Kaptor Mini e misuratore</i>	49
Figura 49	<i>staffa base per il fissaggio del trasmettitore e supporto da muro</i>	50
Figura 50	<i>sensori Doppler a scarpetta</i>	50
Figura 51	<i>corretta installazione del sensore</i>	51
Figura 52	<i>corretta installazione del sensore vicino a curve o gomiti</i>	51
Figura 53	<i>Esempio di installazione (Kaptor "ALBULA DX")</i>	51
Figura 54	<i>esempio risultati e grafico ricavati dall'elaborazione Kaptor V221</i>	53
Figura 55	<i>individuazione delle vasche con telecontrollo nel ramo costiero (rete semplificata)</i>	54
Figura 56	<i>esempio di andamento orario (00:00-01:00) del livello nella vasca 135</i>	55
Figura 57	<i>esempio di individuazione dei picchi da elaborare V135</i>	56
Figura 58	<i>esempio di curva di funzionamento ricavata dall'elaborazione del telecontrollo per la V135 (IS9)</i>	57
Figura 59	<i>posizione nel GIS dei pozzetti campionati</i>	58
Figura 60	<i>Kaptor portatile utilizzato per le misurazioni</i>	59
Figura 61	<i>esempio di misure nel pozzetto POZF100127 (a valle di IS4)</i>	59
Figura 62	<i>punti di campionamento individuati all'interno della rete</i>	60
Figura 63	<i>esempio di campionamento nella VASCA00138</i>	61
Figura 64	<i>grafico andamento della portata misurata dal Kaptor ALBULA DX</i>	63
Figura 65	<i>grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V138</i>	64
Figura 66	<i>grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V132</i>	65
Figura 67	<i>Risultati Kaptor V132</i>	65
Figura 68	<i>Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V138</i>	67
Figura 69	<i>Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V132</i>	68
Figura 70	<i>planimetria V221</i>	69
Figura 71	<i>Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V221</i>	70
Figura 72	<i>Suddivisione della rete fognaria</i>	75

INDICE DELLE TABELLE

<i>Tabella 1 Documenti di inquadramento normativo.....</i>	<i>8</i>
<i>Tabella 2 Stato ecologico e chimico dei corpi idrici nel Comune di San Benedetto del Tronto.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabella 3 Stato ecologico e chimico dei corpi idrici nel Comune di San Benedetto del Tronto.....</i>	<i>12</i>
<i>Tabella 4 Valori del coefficiente di Manning.....</i>	<i>37</i>
<i>Tabella 5 elenco "Storage Unit" inseriti all'interno del modello</i>	<i>38</i>
<i>Tabella 6 Area, perimetro, larghezza del pelo libero in funzione del tirante idrico in sezioni circolari</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 7 esempio tabella di rielaborazione per il calcolo della portata</i>	<i>52</i>
<i>Tabella 8 Giorni di campionamento nel periodo estivo</i>	<i>61</i>
<i>Tabella 9 Giorni di campionamento nel periodo invernale</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 10 Risultati dell'analisi dei campionamenti per il periodo estivo.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 11 Risultati dell'analisi dei campionamenti per il periodo invernale</i>	<i>62</i>
<i>Tabella 12 Risultati Kaptor ALBULA DX.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabella 13 risultati Kaptor V138 per il periodo invernale</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 14 risultati Kaptor V138 per il periodo estivo.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabella 15 grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V221.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabella 16 Risultati Kaptor V221.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabella 17 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V138.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabella 18 Risultati portata media secca V138.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabella 19 Risultati elaborazione del telecontrollo condotta per la vasca V132.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabella 20 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata dall'elaborazione dei picchi V132</i>	<i>68</i>
<i>Tabella 21 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V132.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabella 22 Risultati portata media secca V132.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabella 23 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V221.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabella 24 Risultati portata media secca V221.....</i>	<i>70</i>
<i>Tabella 25 Risultati elaborazione del telecontrollo condotta per la vasca V135.....</i>	<i>71</i>
<i>Tabella 26 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata dall'elaborazione dei picchi per la V135</i>	<i>72</i>
<i>Tabella 27 Risultati portata media secca V135.....</i>	<i>72</i>
<i>Tabella 28 Risultati finali bilancio di massa per il periodo estivo</i>	<i>74</i>
<i>Tabella 29 Risultati finali bilancio di massa per il periodo invernale.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabella 30 Risultati ottenuti per la chiusura del bilancio.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabella 31 portate specifiche ricavate dal bilancio di massa.....</i>	<i>76</i>

Capitolo 1: Introduzione

Il sistema fognario consiste nell'insieme di tutte le canalizzazioni necessarie per raccogliere ed allontanare da insediamenti civili e/o produttivi le acque superficiali e quelle reflue provenienti dalle attività umane. La rete fognaria può essere a sistema separato con distinti impianti per acque bianche (meteoriche) e nere (provenienti dalle attività umane in genere) o a sistema misto, modello più diffuso.

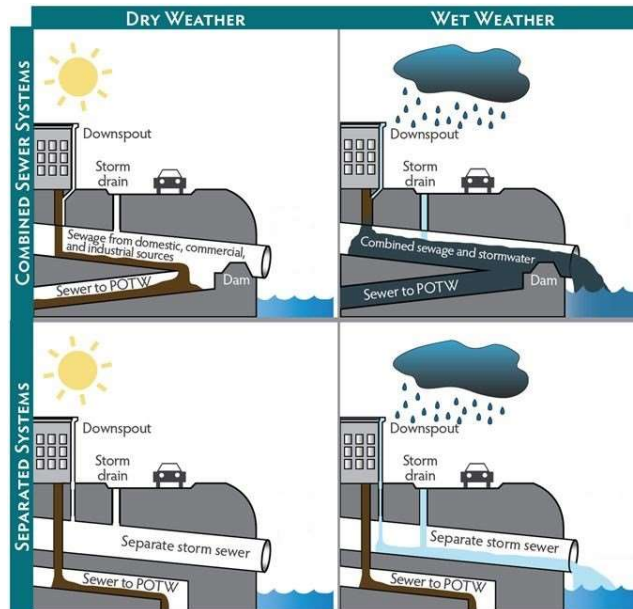


Figura 1 Schema del sistema di fognatura misto (sopra) e separato (sotto)

Nel caso di fognatura a sistema misto è necessaria la presenza degli scolmatori di portata, manufatti che garantiscono il perfetto funzionamento della rete scaricando in un corpo idrico ricettore un'aliquota della portata che risulta in eccesso rispetto a quella che può essere trattata dall'impianto di depurazione evitando così fenomeni di allagamento in particolare durante eventi atmosferici intensi.

Gli scolmatori, chiamati anche CSO (Combined Sewer Overflows), entrano in funzione quando la portata supera un coefficiente di diluizione "c" di progetto, definito come rapporto tra la portata ammessa nell'impianto di depurazione (somma di portata media secca e quella di pioggia) e quella media di tempo asciutto. Generalmente il coefficiente di diluizione è compreso tra 4 e 6 per centri medio-piccoli e tra 2,5 e 3 per grandi centri urbani. Questa differenza è dovuta al fatto che i valori di diluizione devono sempre essere più grandi del valore del coefficiente di punta delle sole acque nere. Nel caso di centri medio-piccoli si ha un'elevata contemporaneità dei consumi idrici e di conseguenza elevati coefficienti di punta rispetto a centri più grandi dove c'è un effetto di laminazione delle portate con coefficienti di punta inferiori. I valori di diluizione minimi vengono normati da regolamenti locali o piani regionali, solitamente ripresi nel Piano di Tutela delle Acque.

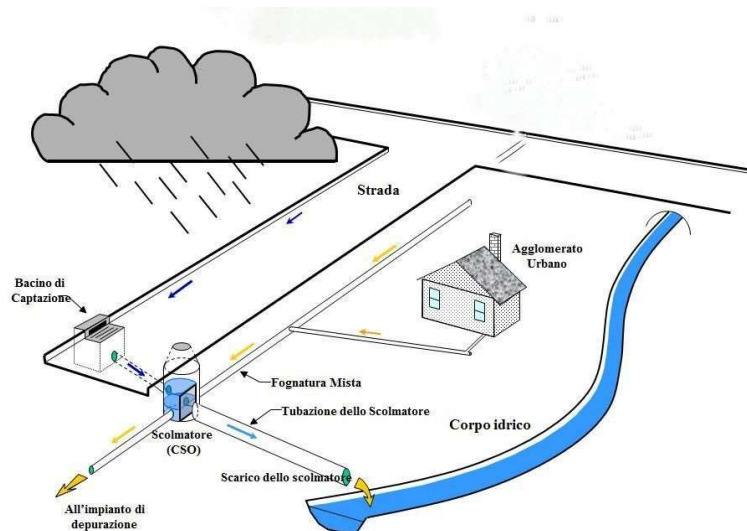


Figura 2 esempio di funzionamento di un CSO

I CSO rappresentano un problema ambientale per i corpi idrici, in quanto possono essere estremamente impattanti poiché nonostante l'acqua sversata sia diluita contiene diversi inquinanti (solidi sospesi, composti organici, patogeni, nutrienti) e anche sostanze pericolose come metalli pesanti e inquinanti principali (provenienti da scarichi industriali e attività commerciali). Risulta quindi fondamentale controllare il funzionamento di questi manufatti in termini sia di impatto quantitativo che qualitativo soprattutto a seguito dell'aumento degli eventi meteorici intensi. Inoltre, risulta di fondamentale importanza l'analisi di opportune soluzioni naturali e tecnologiche al fine di mitigare il loro impatto.

Particolare attenzione viene posta alle acque di prima pioggia, cioè l'acqua che viene raccolta all'inizio della precipitazione in quanto può risultare ricca di inquinanti a causa del dilavamento delle strade e degli edifici. È opportuno quindi che queste siano trattenute dagli scolmatori per poi scaricare le acque che giungono in un secondo momento.

Nel presente elaborato di tesi si analizza la rete fognaria relativa al bacino idrografico del comune di San Benedetto del Tronto, in provincia di Ascoli Piceno. In particolare, l'obiettivo del presente studio mira a valutare l'impatto quali-quantitativo degli scolmatori che scaricano la portata in eccesso in diversi corpi idrici superficiali (Torrente Albula, Fosso della Fornace, Fosso dell'Acquachiera, Torrente Ragnola e Fosso collettore) e ad analizzare le migliori soluzioni naturali (NBS) al fine ridurre l'impatto dei CSO.

Questo studio nasce dalla necessità di CIIP S.p.A., Società che gestisce la rete fognaria ed il servizio di depurazione per l'agglomerato di San Benedetto del Tronto che colletta i reflui all'impianto Brodolini ubicato nello stesso comune, di valutare e adeguare gli scolmatori di piena per acque reflue miste in accordo con quanto previsto dall'articolo 36 delle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) del Piano di Tutela delle Acque (PTA) della Regione Marche (145/2010).

Capitolo 2: Gestione e mitigazione CSO

2.1 Inquadramento normativo

La normativa nel settore della tutela delle acque si sviluppa su due livelli come descritto in tabella 1: un livello nazionale, che segue le direttive del Testo Unico Ambientale e le Indicazioni fornite dall'ARERA, e uno regionale rappresentato dai Piani di Tutela delle acque.

LIVELLO	DOCUMENTO	TIPO DI DOCUMENTO	DATA E RIF DEL DOC.	ENTE DI RIFERIMENTO
Nazionale	Testo Unico Ambientale	Normativo/Regolatorio	Dlgs n°152 03/04/2006	Presidenza della Repubblica
Nazionale	Indicazioni ARERA	Normativo/Regolatorio	Delibera 917/2017/R/idr	Autorità di vigilanza governativa
Regionale	Piano di Tutela delle Acque	Normativo/Regolatorio	D.R n°145/2010	Regione Marche

Tabella 1 Documenti di inquadramento normativo

A livello nazionale l'**ARERA** (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente), organismo indipendente, svolge attività di controllo in diversi settori (gas naturale, energia elettrica, servizi idrici, rifiuti e telecalore). In particolare, per quanto riguarda il sistema fognario, nell' Articolo 14 della Delibera 917/2017/R/idr si individua un macro indicatore denominato M4 relativo all'adeguatezza del sistema fognario. Ciascun Ente di governo, annualmente, determina 3 indicatori:

- a) M4a: frequenza degli allagamenti e/o sversamenti da fognatura, definito nell'Articolo 15;
- b) M4b: adeguatezza normativa degli scaricatori di piena, definito nell'Articolo 16;
- c) M4c: controllo degli scaricatori di piena, definito nell'Articolo 17.

L'obiettivo di questo macro indicatore è quello di valutare lo stato della rete fognaria e individuare le criticità dove intervenire per migliorarla. (<https://www.arera.it>) Le delibere fornite dall'ARERA forniscono i principi guida sui quali si basano i Piani di tutela delle acque (PTA), strumenti di pianificazione regionale con lo scopo di prevedere gli interventi sul territorio e conseguire gli obiettivi di qualità dei corpi idrici e la tutela quali-quantitativa della risorsa idrica. Le misure e gli interventi sono programmati con interventi previsti per ogni ciclo di pianificazione (sessennale).

La normativa nazionale nel settore della tutela delle acque è rappresentata da Dlgs n°152 del 11/05/1999, modificato dal Dlgs n°258 del 18/08/2000 e dal **Dlgs n.152 del 03/04/2006** denominato **Testo Unico Ambientale**, che costituisce la legge quadro sull'inquinamento idrico recependo numerosi provvedimenti della Comunità Europea. L'articolo 2 del Testo Unico Ambientale (Dlgs n.152) afferma che *"Il presente decreto legislativo ha come obiettivo primario la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali."* In particolare, per quanto riguarda la tutela dei corpi idrici il decreto eredita dalla legge 152/99 della Legge Galli il superamento della frammentazione delle gestioni prevedendo la divisione delle regioni in Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) e il superamento della frammentazione del ciclo produttivo con la riunificazione dei servizi di acquedotto, fognatura e depurazione in un unico SERVIZIO IDRICO INTEGRATO (SII). Ogni ATO ha il compito di definire il Piano d'Ambito, la tariffa del nuovo servizio e provvedere all'affidamento della gestione del servizio idrico integrato

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA), redatto dalla Regione sulla base degli obiettivi di qualità da raggiungere, contiene le misure da adottare per la tutela quantitativa e qualitativa del sistema idrico regionale. Il controllo e la prevenzione vengono affidate ad Agenzie Regionali e delle Province

Autonome per la protezione dell'ambiente (ARPA) che hanno il compito di sviluppare processi di controllo e prevenzione per migliorare la qualità dell'ambiente attraverso il controllo degli scarichi, di eventuali rischi ambientali e collettivi. Il **PTA della Regione Marche** è stato approvato dall'Assemblea legislativa regionale delle Marche con delibera DACR n.145 del 26/01/2010.

La sezione di interesse è la sezione D relativa alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) che sono distinte in sette capi, di cui consideriamo il Capo IV che evidenzia le misure di tutela qualitativa, in particolare sugli scolmatori di portata. (<https://www.regione.marche.it>)

Art. 24 – Definizioni

Nel comma 1 ci sono ulteriori definizioni che seguono quelle del D.lgs 152/2006: **scaricatori o scolmatori o sfioratori di piena**: *dispositivi che consentono lo scarico delle portate di supero in tempo di pioggia in determinate sezioni delle reti di fognatura di tipo misto.*

Art. 36 – Scarichi a mare di acque reflue urbane

Nel comma 1 si parla degli scarichi di acque reflue urbane provenienti da impianti di depurazione o da reti fognarie inclusi quelli degli sfioratori di piena *“Gli scarichi in mare di acque reflue urbane, provenienti da impianti di depurazione o da reti fognarie, inclusi quelli degli sfioratori di piena delle reti fognarie, devono avvenire al largo delle opere di difesa costiera parallele alla costa, incluse le scogliere soffolte, e oltre l'estremità delle opere marittime perpendicolari alla costa (moli, pennelli, etc.).”*

Inoltre il comma 2 afferma che *“Gli scarichi di cui al comma 1 possono avvenire anche in battigia, qualora non vi siano opere di difesa perpendicolari alla costa a distanza minore di 400 m”* inoltre qualora non ci siano opere di difesa *“Potranno essere tenute anche distanze inferiori, previa valutazione dell'autorità competente al rilascio dell'autorizzazione allo scarico, dell'impossibilità tecnica o dell'eccessiva onerosità, a fronte dei benefici ambientali conseguibili a recapitare in mare e acquisizione del parere igienico sanitario dell'ASUR territorialmente competente.”*

Gli scarichi di acque reflue urbane, comprese quelle degli sfioratori di piena devono avvenire al largo delle opere di difesa e sono vietate nei pressi dei porti.

Art. 41 – RETI FOGNARIE

Nell'articolo si parla delle tipologie di fognature, nel dettaglio il Comma 4 afferma che *“le reti miste esistenti devono essere progressivamente separate, fatte salve le situazioni particolari ove non vi sia la possibilità tecnica di separazione a costi sostenibili e nel rispetto delle condizioni di sicurezza, a seguito di una valutazione costi benefici, che consideri anche gli oneri degli utenti per l'adeguamento degli scarichi interni ai lotti.”* Nel comma 5 si parla del divieto di scaricare in caso di reti separate acque prive di carico inquinante nella fognatura nera (divieto di diluizione) e nel comma 6 si afferma *“Le disposizioni del comma precedente si applicano anche per le reti esistenti che non sia possibile separare”*. Inoltre si ribadisce nel comma 14 *“*

Nelle reti fognarie servite da sfioratori di piena non sono di norma ammesse deroghe ai valori limite previsti dalla tabella 3 dell'Allegato 5 alla parte terza del d.lgs. 152/2006 per gli scarichi in pubblica fognatura, salvo quanto previsto all'art. 31, comma 1 e comma 2, lettera b). La Giunta regionale con proprio atto può prevedere la possibilità di autorizzare deroghe, per alcune sostanze ed entro determinati limiti, anche in relazione alla situazione ambientale locale.” Per gli sfioratori di piena quindi non sono ammesse di norma deroghe ai valori limite previsti dal D.lgs. 152/2006.

Art. 42 – ACQUE METEORICHE DI DILAVAMENTO, ACQUE DI LAVAGGIO, ACQUE DI PRIMA PIOGGIA
L'articolo ci dà informazioni sulle acque meteoriche. In particolare le acque di dilavamento provenienti da acque industriali devono essere trattate in specifici impianti, mentre le acque di prima pioggia il Comma 6 dichiara che *“è necessaria la realizzazione di serbatoi, ovvero di aree allagabili di stoccaggio, ovvero di qualsivoglia altro idoneo sistema, atti a trattenerle per il tempo sufficiente affinché non siano scaricate nel momento di massimo afflusso, quando i recettori, inclusa la pubblica fognatura, sono nell'incapacità di drenare efficacemente i volumi in arrivo, e anche per destinarle a trattamento, compatibilmente con le caratteristiche funzionali degli impianti di depurazione. In mancanza di impianto di depurazione disponibile, esse devono essere opportunamente pretrattate al fine di rimuovere, tramite sistemi di sedimentazione accelerata, o sistemi equivalenti per efficacia, la maggior parte possibile degli inquinanti presenti in forma solida o sospesa.”* Il comma 7 identifica come acque di prima pioggia come quelle *“corrispondenti ad un'altezza di pioggia di 5mm.”*

Art. 43 - RETI FOGNARIE MISTE, ACQUE DI PRIMA PIOGGIA E SFIORATORI DI PIENA DELLE RETI FOGNARIE MISTE

Nel comma 1 si stabilisce che *“Gli scolmatori (sfioratori) di piena devono essere autorizzati allo scarico (come scarichi di acque reflue urbane ai sensi dell'art. 124, comma1, del d.lgs. 152/2006 e s.m.i.) in ogni caso, previa la necessaria verifica degli standard costruttivi e delle condizioni di funzionamento.”* Nel comma 4 e 5 inoltre si dice che *“Gli scolmatori (sfioratori) di piena di nuova realizzazione devono essere dotati, prima dello sfioro, almeno di una sezione di abbattimento dei solidi grossolani e, ove possibile, anche di una sezione di abbattimento dei Solidi Sospesi Sedimentabili.”* Inoltre *“il rapporto minimo consentito tra la portata di punta in tempo di pioggia e la portata media in tempo di secco nelle ventiquattro ore (Qms) deve essere pari a quattro. Tale rapporto può ridursi a 2,5 per l'ultimo sfioro in prossimità dell'impianto di depurazione.”* Nel comma 9 inoltre si parla della necessità, per il raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale, di realizzare vasche di prima pioggia in particolare ubicati:

“- nei seguenti corsi d'acqua, nel tratto di 10 km dallo sbocco in mare: Tavollo, Foglia, Misa, Musone, Potenza, Tenna, Ete Vivo, Tesino;

- negli altri corsi d'acqua nel tratto di 5 km dallo sbocco in mare;

- direttamente in mare e nei laghi adibiti alla balneazione;

- negli emissari dei laghi adibiti alla balneazione e al prelievo idropotabile nel tratto di 10 km a monte del punto di immissione;

- Nei corsi d'acqua superficiali nel tratto di 10 km a monte delle captazioni idropotabili; - nei corpi idrici superficiali, aventi classi di qualità 4 e 5 delle acque superficiali, che accolgono scarichi provenienti da agglomerati superiori a 10.000 abitanti equivalenti.”

(PTA Regione Marche, 2010)

In conclusione, quindi, le indicazioni fornite dal PTA riguardano gli scolmatori di reti miste di nuova realizzazione, per i quali si deve prevedere un rapporto minimo (art. 43) pari a 4, che può ridursi a 2.5 per l'ultimo sfioro in prossimità dell'impianto di depurazione. Inoltre, il Piano prevede, per agglomerati superiori a 10000 AE, l'implementazione di sistemi di gestione e trattamento delle acque di prima pioggia che consentano una riduzione percentuale del carico pari al 35%, tale valore arriva al 45% per agglomerati localizzati entro 10 km dalla costa.

Seguendo le direttive della Legge Galli n.36/94 la Regione Marche, con la Legge Regionale n.18/1998, ha suddiviso il territorio in 5 Ambiti Territoriali Ottimali (ATO):

- ATO 1, Marche Nord – Pesaro e Urbino;
- ATO 2, Marche Centro – Ancona;
- ATO 3, Marche Centro – Macerata;
- ATO 4, Marche Centro Sud – Alto Piceno Maceratese;
- ATO 5, Marche Sud – Ascoli Piceno.

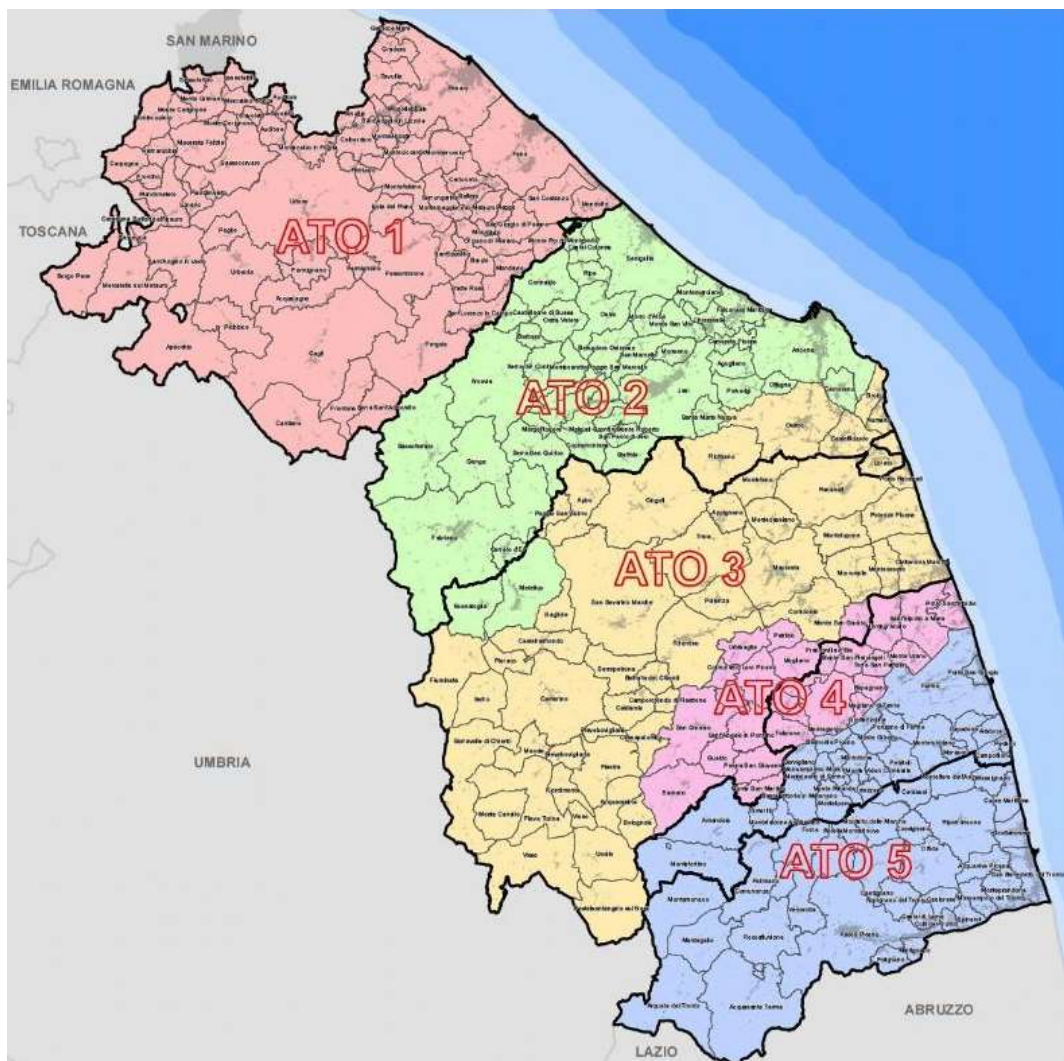


Figura 3 Divisione ATO Regione Marche

Lo studio effettuato nel comune di San Benedetto del Tronto ricade nell'ATO n.5 che comprende 59 comuni di cui la CIIP spa è il gestore unico del Servizio Idrico Integrato.

Per quanto riguarda lo stato di qualità di corpi idrici superficiali il monitoraggio è effettuato dall'ARPAM (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche) attraverso campagne d'indagini triennali. I risultati sono presentati definendo lo stato ecologico (elevato, buono, sufficiente, scarso, cattivo) sulla base degli indicatori biologici e parametri chimico-fisici mentre lo stato chimico viene definito sulla base dei limiti stabiliti in tabella 1/A del D.Lgs.152/2006. I risultati dell'ultimo ciclo sono nella "Relazione Triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi marino costieri della Regione Marche" di cui si evidenziano i risultati dei corpi idrici Grottammare_San Benedetto e Porto di San Benedetto del Tronto_Fiume Tronto:

RELAZIONI TRIENNALI SULLA QUALITA' DEI CORPI IDRICI MARINO COSTIERI DELLA REGIONE MARCHE			
NOME CORPO IDRICO	TRANSETTO	STATO 2018-2020	
		ECOLOGICO	CHIMICO
Grottammare_San Benedetto	Tesino	BUONO	BUONO
Porto di San benedetto del Tronto_Fiume Tronto	Tronto	BUONO	BUONO

Tabella 2 Stato ecologico e chimico dei corpi idrici nel Comune di San Benedetto del Tronto

Per quanto riguarda i risultati su corpi fluviali nella "Relazione Triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della Regione Marche" si evidenziano in Tabella 2 lo stato ecologico e chimico del Torrente Albula e del Torrente Ragnola con indicate anche le "pressioni", ovvero le fonti d'inquinamento responsabili dello stato dei corsi d'acqua.

RELAZIONI TRIENNALI SULLA QUALITA' DEI CORPI IDRICI FLUVIALI DELLA REGIONE MARCHE					
CORSO D'ACQUA	STATO 2018-2020		PRESSIONI		
	ECOLOGICO	CHIMICO	SCARICHI URBANI	SFIORATORI	DILAVAMENTO URBANO
TORRENTE ALBULA	SUFFICIENTE	BUONO	NO	SI	SI
TORRENTE RAGNOLA	SCARSO	BUONO	SI	SI	SI

Tabella 3 Stato ecologico e chimico dei corpi idrici nel Comune di San Benedetto del Tronto

L'ARPAM effettua anche controllo sulla qualità delle acque di balneazione, Dai risultati delle attività di monitoraggio svolte durante le stagioni balneari 2020-2021, per il comune di San Benedetto del Tronto, in tutti i punti di analisi, è sempre risultato uno stato di qualità eccellente.

2.2 Gestione CSO

Il sistema fognario misto è caratterizzato da un'unica condotta che raccoglie l'acqua reflua e l'acqua meteorica fino all'impianto di depurazione per essere trattate e successivamente restituite in ambiente. In condizioni di "tempo secco" (assenza di precipitazione) nel sistema affluiscono solo le acque nere mentre in condizioni di "tempo umido" affluiscono oltre alle acque nere anche le acque meteoriche.

La rete ha una limitata capacità di gestione e trasporto dei flussi d'acqua. Per far fronte ad eventi di pioggia intensi si utilizzano gli scolmatori di portata (CSO), i quali scaricano nel corpo idrico recettore un'aliquota della portata in eccesso evitando così fenomeni di allagamento.

Esistono due tipologie principali di CSO utilizzati:

- scolmatori a stramazzo laterale (più utilizzati)
- scolmatori a luce di fondo.

Gli scolmatori a stramazzo laterale funzionano bene se la corrente in arrivo è "lenta" (condizione per cui il numero di Froude è basso ($F_0 < 0,70$)).

Il manufatto è composto da:

- Un canale di arrivo di diametro D in cui passa una portata in ingresso $Q_{in} = (Q_b + Q_n)$, con " Q_b " massima portata bianca (da precipitazioni) e " Q_n " massima portata nera.
- Un setto sfiorante di lunghezza L e altezza h che separa i due collettori di mandata, il setto permette, durante le precipitazioni, di scolmare l'acqua in eccesso quando il tirante supera l'altezza di sfioro h .
- Un collettore di mandata che va al trattamento: in cui passa una portata max pari a $Q_t = cQ_{mn}$ con " c " grado di diluizione e " Q_{mn} " portata media nera
- Un collettore di mandata che restituisce una portata di sfioro $Q_s = Q_{in} - Q_t$

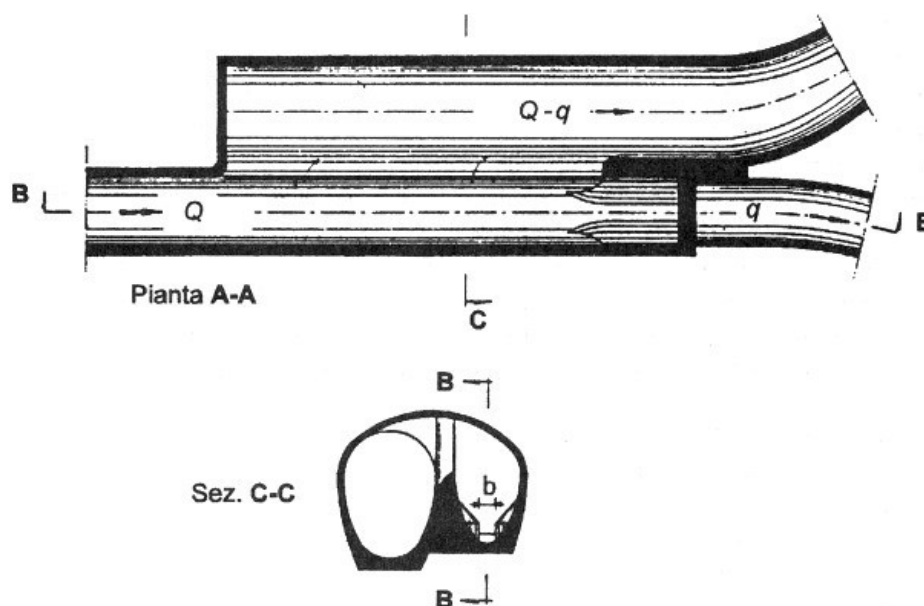


Figura 4 schema di uno scolmatore a stramazzo laterale

Gli scolmatori a luce di fondo sono utilizzati nel caso di correnti in arrivo "veloci" (condizione per cui il numero di Froude $F_0 > 1,5$).

Il manufatto è composto da:

- Collettore in arrivo di diametro D che si estende oltre la luce di fondo per evitare fenomeni dissipativi
- Luce di fondo dove viene deviata la portata da inviare al trattamento con portata massima $Q_t = cQ_{mn}$
- Condotta diretta alla restituzione dove va la portata di scarico $Q_s = Q_{in} - Q_t$

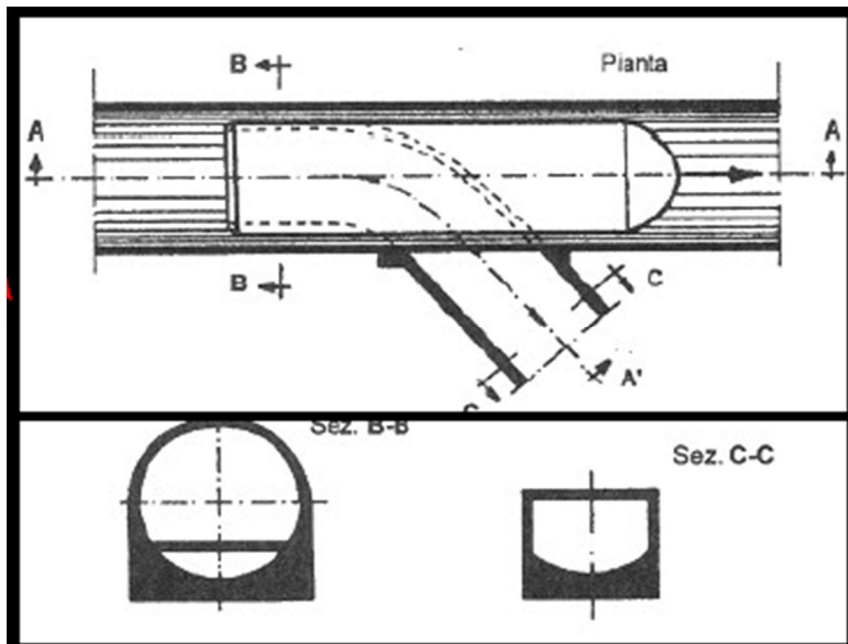


Figura 5 schema di uno scolmatore a luce di fondo

In generale il comportamento reale dello scolmatore a luce di fondo è diverso da quello ideale e per questo si preferisce l'utilizzo degli scolmatori a stramazzo laterale.

Nonostante la portata scolmata sia diluita in termini di inquinanti, gli scolmatori hanno un importante impatto sullo stato di salute dei corpi idrici superficiali.

In particolare, le acque scolmate possono presentare solidi sospesi, materiale organico (C), nutrienti (N e P), patogeni microbici, microplastiche e metalli pesanti.

Possiamo immaginare che l'intensità, la frequenza delle precipitazioni e il flusso di base nelle fognature tenderanno ad aumentare a causa dei cambiamenti climatici e dell'espansione delle aree urbane, impattando sulla capacità del sistema fognario e aumentando il numero degli eventi di scolmo della rete.

Per valutare l'impatto dei CSO, l'ARERA assegna un macro indicatore "M4" in funzione della frequenza degli allagamenti e/o sversamenti da fognatura, adeguatezza normativa degli scaricatori di piena; controllo degli scolmatori. È necessario quindi porre attenzione sul monitoraggio dei CSO per conoscere il numero di eventi di scolmo e di inquinamento.

SISTEMI DI MONITORAGGIO CSO

Nel corso degli ultimi anni, si sono incrementati studi e sperimentazioni al fine di ottimizzare la gestione dei CSO con lo sviluppo di diverse tipologie di sistemi di monitoraggio, i quali si distinguono per posizione dei dispositivi, tipo di misura, caratteristiche, costi e frequenza di manutenzione. Di seguito si riportano alcune tipologie:

- **Monitoraggi con sensori e sonde:** Possono essere portatili per misure puntuali o installati all'interno della rete. Sono sicuramente i più accurati e affidabili ma richiedono un elevato costo e una manutenzione frequente. Possono essere di diverso tipo a seconda del dato da misurare:
 - Sensori di livello, vengono utilizzati per il controllo in continuo del livello limite o del livello di riempimento. Lo strumento di misurazione è installato in una tubazione o in un serbatoio tramite una filettatura e misura il livello all'interno del sistema tramite un sensore "a forchetta". Il livello limite viene trasmesso tramite un segnale di uscita elettronico.



Figura 6 esempio di sensore di livello

- Sensori di velocità e portata. Le misure di velocità [m/s] sono ottenute sfruttando sensori area velocity ad effetto doppler per la misura in tubazioni chiuse mentre i valori di portata [l/s] sono ricavati indirettamente dalle misure di velocità. (Un esempio di dispositivo (Kaptor Mini) verrà descritto in un paragrafo successivo).



Figura 7 esempio di sensore doppler per calcolo della velocità e dispositivo di misura

- Monitoraggio tramite variazione termica (Montserrat et al. (2018)):** il metodo si basa sulla variazione di temperatura tra la fase gassosa della sola acqua reflua e quella di piena (acqua reflua e meteorica). Il rilevamento avviene grazie a due sensori di temperatura. I dati ricavati vengono analizzati da un algoritmo che calcola il numero e le durate degli eventi di scolmo. Le sperimentazioni hanno dimostrato che le variazioni stagionali di temperatura delle acque non ne influenzano l'efficienza. Questa soluzione inoltre permette di mantenere bassi costi per l'installazione e per la manutenzione. I dispositivi possono ad esempio essere installati uno all'inizio dello scolmatore a stramazzo laterale sul collettore principale che va a trattamento e l'altro sul collettore di sfioro

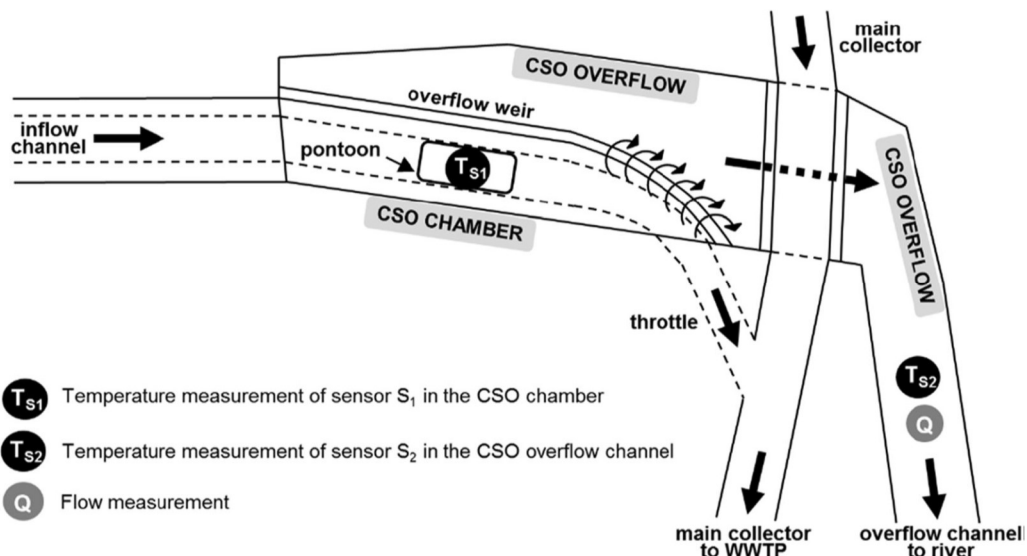


Figura 8 schema di installazione dei sensori di temperatura T_{S1} e T_{S2} per monitoraggio CSO tramite di un CSO presso Graz(Austria)

- DSM-flux (Device for Storm water and combined sewer flows Monitoring and the control of pollutant fluxes):** si tratta di un dispositivo progettato per monitorare e controllare la quantità e la qualità dei CSO. Il DSM-flux è stato ideato per quattro scopi principali: (i) misurare gli scarichi e i volumi di overflow, (ii) misurare le concentrazioni di inquinanti e i carichi di massa, (iii) ridurre gli inquinanti particolati mediante sedimentazione e (iv) ridurre il potenziale erosivo degli straripamenti, dovuti alla dissipazione di energia, ai danni dei corpi idrici ricettori.

Il dispositivo è un canale aperto rettangolare formato da quattro zone principali: Le aree di accelerazione (giallo) e le aree di dissipazione di energia (rosso); la zona di stabilizzazione (verde) che presenta una sezione trasversale costante e una lunghezza ottimale per mantenere condizioni idrauliche favorevoli alla sedimentazione delle particelle; infine la zona di sfioro (blu) formata da una parete di fondo e da due pareti laterali convergenti creando condizioni adeguate per misurazioni della profondità e torbidità dell'acqua. I valori ricavati sono correlati rispettivamente alla velocità di scarico e alle concentrazioni di solidi sospesi (TSS). Il dispositivo può essere installato nei condotti di troppopieno ed eventualmente anche nei punti di ingresso e uscita degli impianti di trattamento.

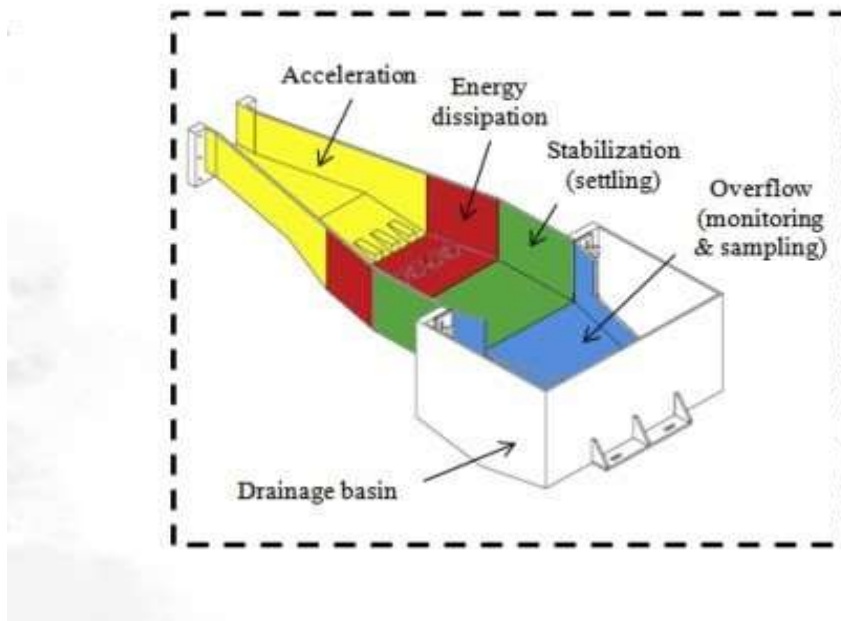


Figura 9 schema di funzionamento del dispositivo DSM-flux

2.3 Soluzioni di mitigazione: NBS

L'applicazione dei sistemi di controllo e monitoraggio è volta all'individuazione di possibili impatti e di sistemi ottimali per la loro minimizzazione. Le strategie di intervento possono essere diverse: dall'implementazione di sistemi gestionali di controllo alle tecnologie di trattamento.

I sistemi gestionali sono prevalentemente legati a sistemi di controllo e/o di accumulo dei flussi in modo da ridurre le portate di ingresso in rete o le quantità destinate allo scolo. Tra questi ci sono sistemi di drenaggio urbano (SuDS) al fine di ridurre il volume dell'acqua piovana in ingresso al sistema fognario misto. In particolare, possono essere utilizzate le seguenti soluzioni:

- **Celle di bioretensione:** note anche come giardini pluviali sono piccoli bacini di infiltrazione. Sono costituiti da un terreno altamente poroso sormontato da una piccola vegetazione e da una copertura organica del terreno. Il deflusso urbano viene indirizzato verso la cella, dove si accumula e filtra attraverso lo strato filtrante. Il deflusso può fuoriuscire tramite un drenaggio sotto la cella, filtrare nel sottosuolo circostante o una combinazione di entrambi come mostrato nelle figure seguenti. Dal punto di vista quantitativo, esperimenti sia in campo che su scala di laboratorio hanno dimostrato che le celle di bioretensione possono catturare il 100% dei volumi influenti da eventi di piccole e medie dimensioni e tra il 33% e l'80% per eventi più grandi. In questo modo consentono di rallentare il deflusso all'interno della rete e ridurre il sovraccarico di punta durante gli eventi meteorici. Dal punto di vista qualitativo, questi sistemi permettono di filtrare le acque con ottime rese rimozione dei principali inquinanti: TSS >90%, P tot >80%, N tot 50%, Metalli (zinco, piombo, cadmio) >90%.



Figura 10 celle di bioretensione

- **Trincee infiltranti:** Realizzate per favorire la rimozione di un'ampia tipologia di inquinanti dalle acque di pioggia attraverso meccanismi di assorbimento, filtrazione e degradazione chimica e batterica. Costituite da scavi in trincea a sezione rettangolare riempiti con materiale inerte ghiaioso e sabbioso ad elevata permeabilità. L'acqua viene trasportata lungo la trincea tramite il materiale di riempimento o attraverso una tubazione drenante. Si parla di trincee infiltranti se si tratta di un elemento puntuale oppure di dreni filtranti se si parla di un elemento lineare capace di trasportare l'acqua da un punto ad un altro. Hanno ottime rese depurative ma bassa capacità di laminazione rispetto ad altre soluzioni. Inoltre sono a rischio intasamento in aree con elevato trasporto di materiale sabbioso.

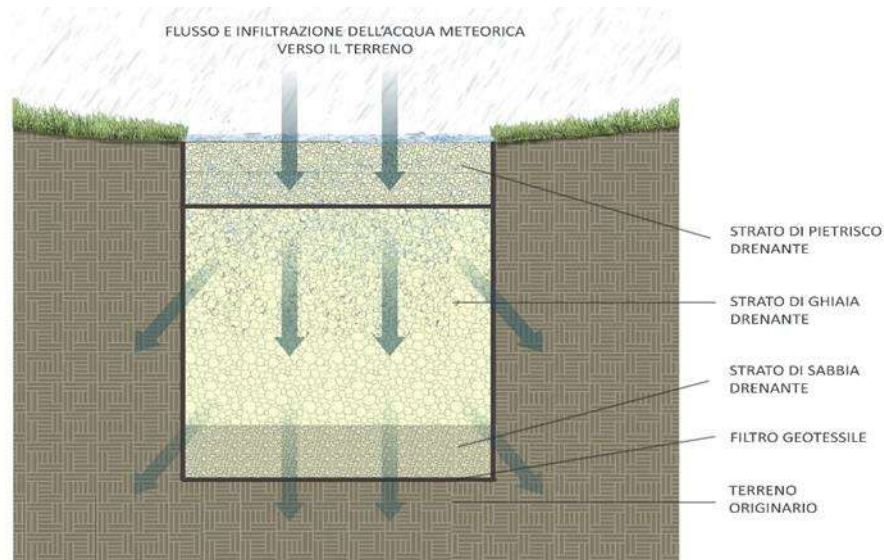


Figura 11 esempio di trincea infiltrante

- **Canali vegetati:** gestiscono una quantità di deflusso da vaste aree impermeabili, come un parcheggio o una strada. Si presentano come fossati lineari aperti, poco profondi, vegetati con piante resistenti alle alluvioni. L'acqua che scorre viene laminata rallentando il deflusso all'interno della rete e rilasciata in un sistema di stoccaggio o di scarico. I canali vegetati possono sostituire caditoie e cordoli stradali anche se è sempre consigliato prevedere una tubazione di troppo pieno.



Figura 12 esempio di canale vegetato

- **Pavimentazioni permeabili:** possono essere di diverso tipo: pavimentazioni filtranti, pavimentazioni con distanziali maggiorati, grigliati erbosi etc. Queste pavimentazioni sono formate da elementi modulari come blocchi di cemento o stuoie in plastica rinforzata, caratterizzati da vuoti o giunti riempiti con materiali permeabili (es. sabbia o ghiaia) Questi elementi permettono l'infiltrazione nel sottosuolo dell'acqua piovana riducendo il volume di ruscellamento, rilasciando le precipitazioni nel terreno lentamente e riducendo la concentrazione di alcuni inquinanti sia fisicamente (trattenendoli nella pavimentazione) sia chimicamente e biologicamente (utilizzando piante e batteri che sono presenti nella pavimentazione).

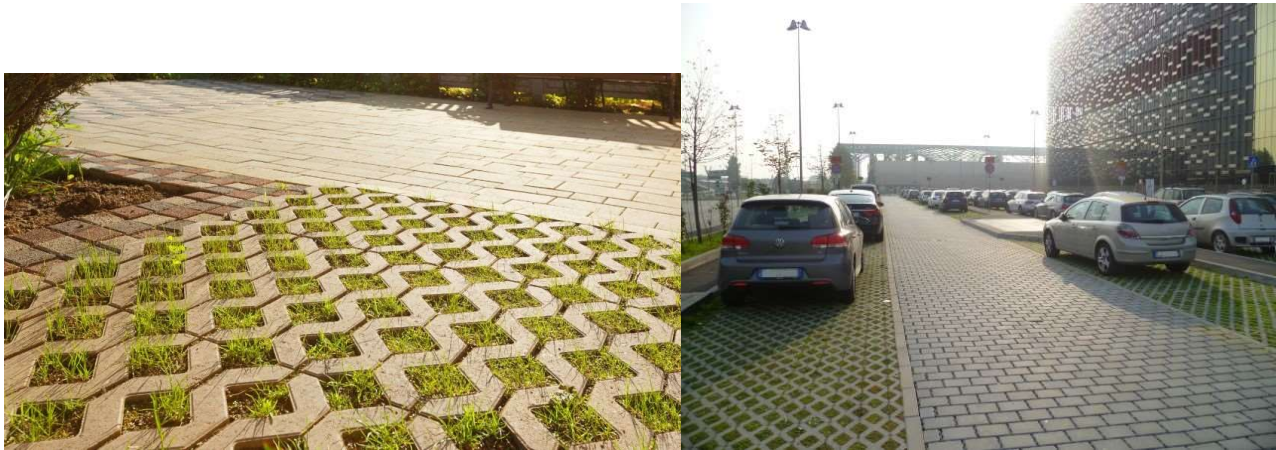


Figura 13 esempi di pavimentazioni permeabili

- Tetti verdi:** i tetti verdi sono tetti coperti da uno strato impermeabilizzato di alta qualità, un tessuto filtrante dotato di un sistema di drenaggio, coperto parzialmente o totalmente da vegetazione. I vantaggi di questa soluzione sono diversi, in particolare l'acqua viene trattenuta dal substrato assorbita dalle piante e restituita all'atmosfera, riescono a trattenere il 70-90% delle precipitazioni che cadono su di essi riducendo la temperatura, rallentandone il deflusso e riducendo il carico sui sistemi fognari durante eventi di pioggia. Si identificano comunemente due categorie di coperture verdi: estensive ed intensive. Si parla di tetti verdi estensivi nel caso in cui lo strato verde sia formato da specie vegetali tra cui erba o sedum e di tetti verdi intensivi se ricoperti da erbe aromatiche, piante o arbusti con spessore di terra >15cm. La differenza sta nella manutenzione; in particolare i tetti verdi estensivi richiedono minimi interventi di manutenzione e garantiscono ottime prestazioni di resistenza agli stress idrici e termici mentre gli intensivi richiedono una maggiore manutenzione



Figura 14 esempio di tetto verde estensivo ed intensivo

Per quanto riguarda le tecnologie di trattamento possono essere suddivise in due macro categorie: soluzioni naturali (NBS) e soluzioni tecnologiche. Trattiamo in questo elaborato di tesi solo le soluzioni naturali NBS.

I trattamenti di tipo naturale o NBS (Nature-based Solution) si basano principalmente su sistemi di fitodepurazione che garantiscono buoni risultati in termini di riduzioni dei carichi inquinanti (riduzione del COD (49-90%), TSS (38-90%) e NH₄ (94%)).

Ci sono diversi tipi di fitodepurazione che può essere utilizzata a seconda della tecnologia e dei risultati che si vogliono ottenere:

- **Fitodepurazione a flusso sommerso verticale (VF):**

La fitodepurazione a flusso sommerso verticale (vertical subsurface flow) è una soluzione composta da bacini stratificati con differenti inerti (sabbie e ghiaie di diversa granulometria) dove l'acqua reflua, distribuita con un sifone di cacciata percola in direzione verticale in condizioni di saturazione alternata in cui vengono piantumate elofite appartenenti alla famiglia delle macrofite radicate emergenti (es. *Phragmites australis*).

Sono alimentate in maniera discontinua rendendo questi sistemi adatti per fenomeni ossidativi quali la rimozione del carico organico per via aerobica e la nitrificazione.

E' importante garantire i tempi di riposo tra un carico e l'altro e rispettare i carichi organici e idraulici per unità di superficie. I tempi di ritenzione sono di alcune ore.

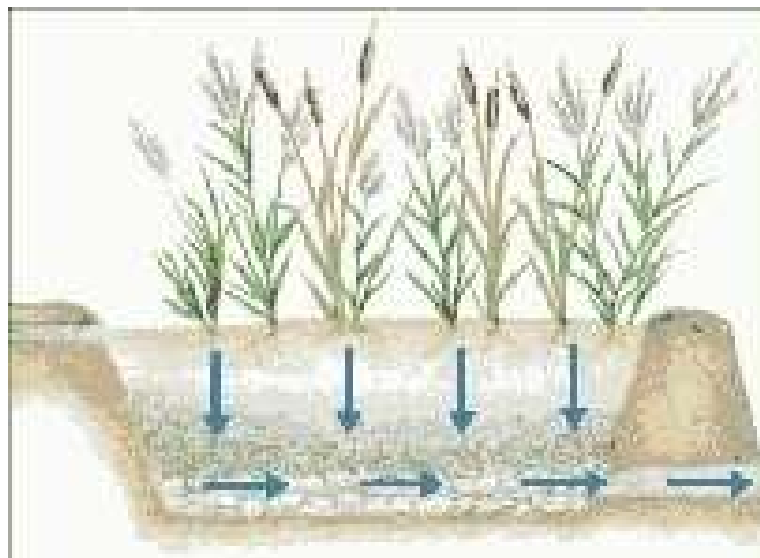


Figura 15 esempio di filtrazione verticale (VS)

- **Fitodepurazione a flusso libero (FWS)-:**

I sistemi a flusso libero (free surface wetland FWS) sono quelli che assumono l'aspetto delle aree umide naturali. Sono caratterizzati da un'alternanza di zone a pelo libero con diversa profondità (nell'ordine di 0,4-0,5m con qualche zona più profonda) in cui vengono inserite diverse specie vegetali in funzione della profondità del pelo libero prediligendo le specie autoctone. Questi sistemi vengono lasciati evolvere in modo naturale fino ad ottenere un'area umida. Queste aree si comportano appunto come vere e proprie aree umide naturali in grado di rimuovere o trasformare le sostanze inquinanti attraverso processi fisici, chimici e biologici. In particolare, la sedimentazione gravitazionale ha un importante impatto sulla riduzione dei solidi sospesi favorita sia dalla bassa velocità dell'acqua che dalla filtrazione esercitata dalle piante.

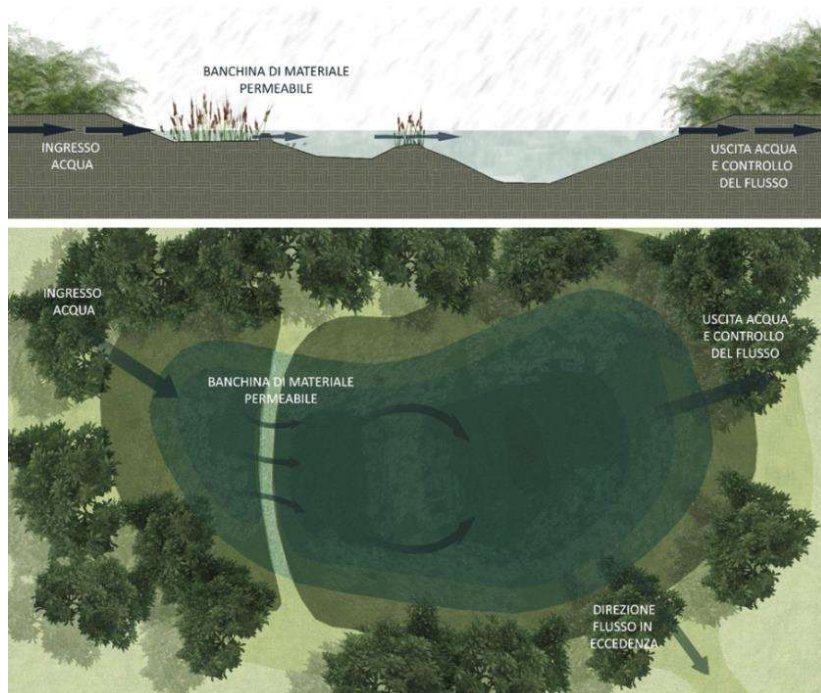


Figura 16 esempio di fitodepurazione a flusso libero (Comune di Bologna)

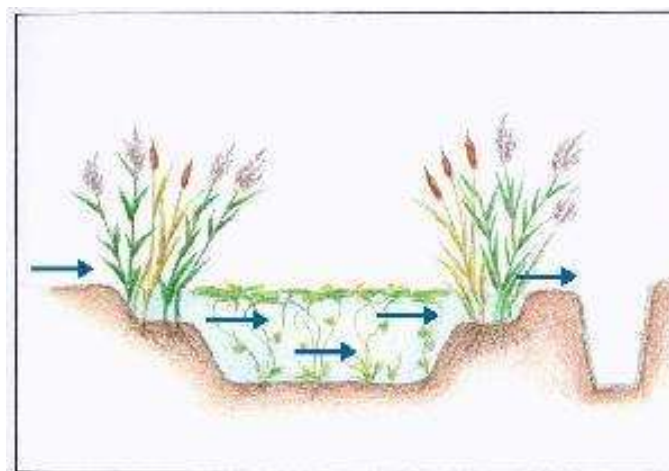


Figura 17 schema di fitodepurazione a flusso libero (FWS)

- **Fitodepurazione aerata (FBA):**

La fitodepurazione aerata (Forced bed aereation (FBA)) è una soluzione che prevede uno o più bacini di fitodepurazione a flusso orizzontale o verticale in cui è presente un sistema di aerazione. Questa configurazione permette di ottimizzare i processi di degradazione dei composti organici, ed è particolarmente adatta al trattamento di reflui con alto carico di azoto ammoniacale. Inoltre permette di ridurre l'area necessaria di 4-5 volte rispetto alla fitodepurazione classica.

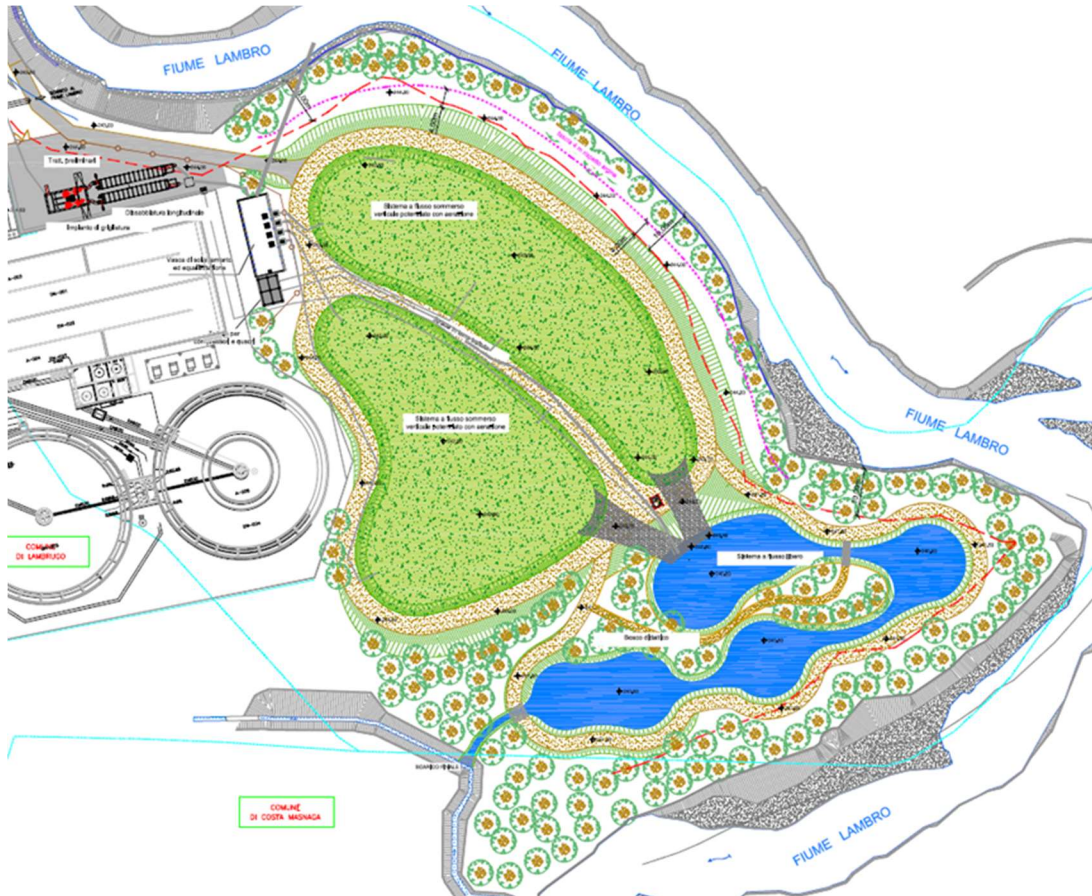


Figura 18 Impianto di fitodepurazione (FBA) per sfioratore in testa al depuratore di Merone (CO), progettato da IRIDRA in collaborazione con Rietland (ing. D. Van Oirschot) e NaturallyWallace (ing. D. Scott Wallace).

- **Fitodepurazione ibrida:**

La fitodepurazione ibrida è una soluzione basata sull'insieme di diverse tecniche di fitodepurazione (HF, VF, FWS,) con lo scopo di raggiungere specifici risultati in termini di qualità dell'effluente.

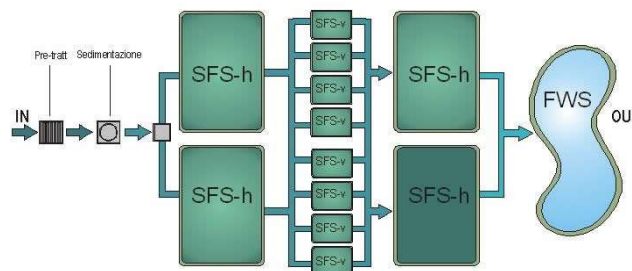


Figura 19 schema di processo di una fitodepurazione ibrida

Si evidenzia che, al fine di avere migliori risultati in termini di riduzione degli inquinanti è ottimale combinare le soluzioni naturali con le soluzioni tecnologiche come ad esempio:

- Vasca di sedimentazione + VF
- VF a sedimentazione alternata)
- VF+FWS
- FWS
- FTS+HF o VF+FWS
- FBA+FWS (fitodepurazione intensificata areata)
- Vasca di equalizzazione +HF o VF a sabbia
- Vasca di equalizzazione + VF a ghiaia

Capitolo 3: Materiali e Metodi

3.1 Agglomerato di San Benedetto del Tronto

L'agglomerato di San Benedetto del Tronto è servito dal depuratore "Brodolini", avente una potenzialità di 69461 Abitanti Equivalenti (dati ISTAT, 01/01/2018).

Per semplicità si è diviso l'agglomerato e la rete in due sottobacini principali (figura 15 e 16):

- TRATTO COSTIERO adiacente alla costa che raccoglie i reflui provenienti dal centro abitato di San Benedetto fino alla frazione di Porto d'Ascoli,
- BASSO TRONTO adiacente al Fiume Tronto che raccoglie le acque di scarico della zona sud-ovest dell'intero bacino.



Figura 20: Schema della rete in formato GIS del bacino del Tratto Costiero



Figura 21: Schema della rete in formato GIS del bacino del Basso Tronto

In particolare, nel presente elaborato di tesi, si è analizzato solo la rete appartenente al “tratto costiero”, che serve un bacino di 23.50 km² per un totale di 46596 AE. Essa, si sviluppa per 209.35 km, di cui 145.80 km di rete mista, 45.93 km di rete bianca e i restanti 12.71 km di rete nera.

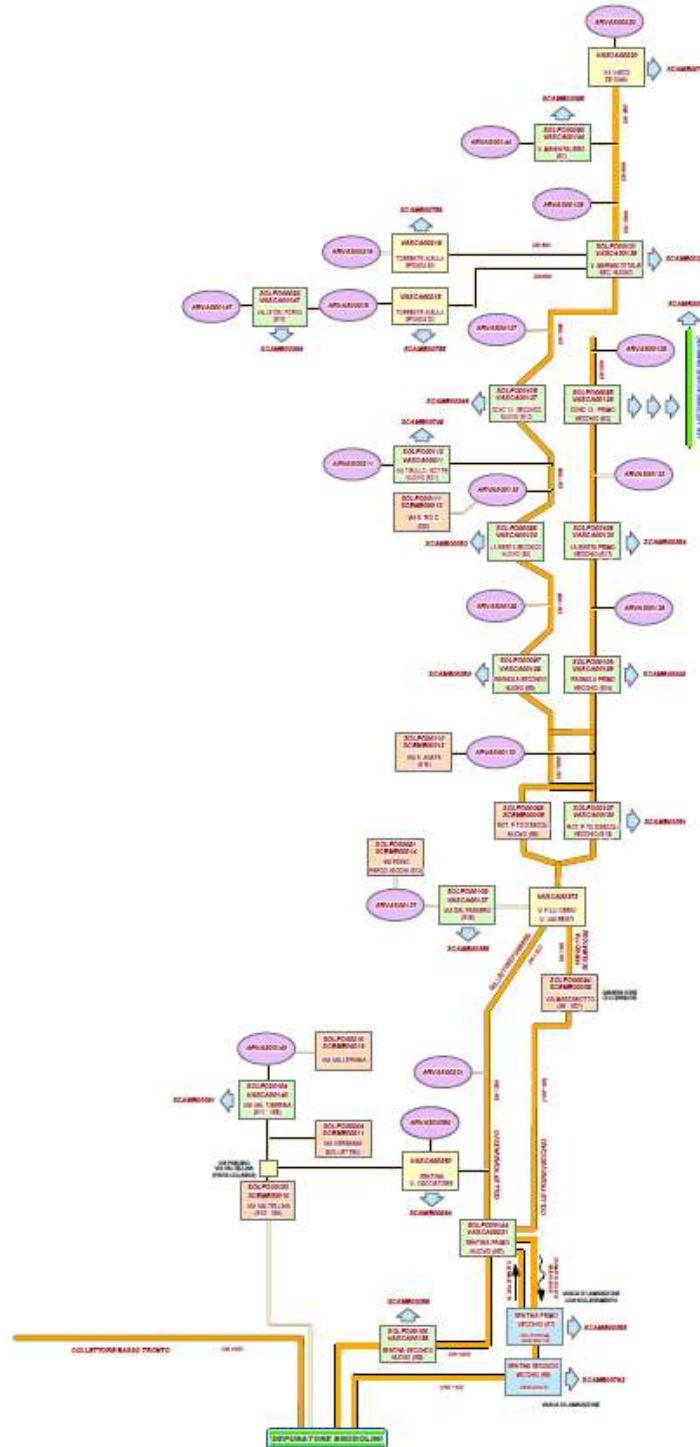


Figura 22 Schema della rete (Tratto Costiero)

Inoltre, lungo la rete sono presenti 28 scolmatori di piena, divisi fra 16 scolmatori di linea e 12 scolmatori associati ai sollevamenti, e 10 ulteriori scarichi di emergenza relativi a stazioni di sollevamento non associate a scolmatori.

N.	ID SCARICO	ID SCOLMATORE	ID SOLLEVAMENTO	DENOMINAZIONE	COMUNE
1	SCAMB01150	VASCA00220		VIA VASCO DE GAMA	SBT
2	SCAMB00756	VASCA00216		TORRENTE ALBULA SPONDA SX - IN PROSSIMITA' DI VIA GINO MORETTI	SBT
3	SCAMB00755	VASCA00215		TORRENTE ALBULA SPONDA DX - VIA PREMUDA	SBT
4	SCAMB00359	VASCA00138	SOLFO00131	VIA DELLE TAMERICI - VIA MARINAI D'ITALIA SECONDO - NUOVO	SBT
5	SCAMB00347	VASCA00126	SOLFO00095	VIALE TRIESTE - CONCESSIONE 13 PRIMO - VECCHIO	SBT
6	SCAMB00348	VASCA00127	SOLFO00105	VIALE TRIESTE - CONCESSIONE 13 SECONDO - NUOVO (S12)	SBT
7	SCAMB00368	VASCA00147	SOLFO00092	VALLE DEL FORNO (S15)	SBT
8	SCAMB00353	VASCA00132	SOLFO00096	VIALE MARCONI - LA SIESTA SECONDO - NUOVO	SBT
9	SCAMB00354	VASCA00133	SOLFO00108	VIALE MARCONI - LA SIESTA PRIMO - VECCHIO (S17)	SBT
10	SCAMB00749	VASCA00211		VIA VOLTATTORNI - VIA TIBULLO - SOTTOPASSO FERR	SBT
11	SCAMB00350	VASCA00129	SOLFO00097	RAGNOLA SECONDO - VIA NEGRI (SEASIDE) - NUOVO	SBT
12	SCAMB00349	VASCA00128	SOLFO00106	RAGNOLA PRIMO - VIALE EUROPA - VECCHIO - S14	SBT
13	SCAMB01096	VASCA00490		GIARDINI PRIMO - VIA MONTE VETTORE (FXDC - 7511)	SBT
14	SCAMB01097	VASCA00491		GIARDINI SECONDO - VIA MONTE CATRIA (FXDC - 7511)	SBT
15	SCAMB01098	VASCA00492		VIA MONTE CONERO (FXDC - 7511)	SBT
16	SCAMB00351	VASCA00130	SOLFO00107	ROTONDA PORTO D'ASCOLI - VIALE RINASCIMENTO - VECCHIO - S16	SBT
17	SCAMB00358	VASCA00137	SOLFO00109	VIA DEL PASSERO (S18)	SBT
18	SCAMB00984	VASCA00350		SENTINA SCOLMATORE - VIA DEL CACCIATORE	SBT
19	SCAMB00355	VASCA00221	SOLFO00144	SENTINA PRIMO - VIA DEL CACCIATORE - NUOVO (IS7)	SBT
20	SCAMB01003	VASCA00374		SENTINA - VIA DEL CACCIATORE - POZZETTO DI LINEA	SBT
21	SCAMB00356	VASCA00135	SOLFO00100	SENTINA SECONDO - VIA GIACOMO BRODOLINI - NUOVO (IS9)	SBT
22	SCAMB01018	VASCA00390		SAN SAVINO SFIORATORE	RIPATRANSONE
23	SCAMB01130	VASCA00525		PIAZZA GENERALE DALLA CHIESA	SBT
24	SCAMB01115	VASCA00508		EX PALAZZO DI GIUSTIZIA	SBT
25	SCAMB01116	VASCA00509		VIA CESARE LOMBROSO	SBT
26	SCAMB01137	VASCA00533		VIA VALTIBERINA - VIA VALLEPIANA	SBT
27	SCAMB01138	VASCA00534		VIA VALTIBERINA	SBT
28	SCAMB01139	VASCA00535		VIA VALTIBERINA - VIA ALFORTVILLE	SBT

Figura 23 elenco scolmatori di piena

N.	ID SCARICO	ID SOLLEVAMENTO	DENOMINAZIONE	COMUNE
1	SCEME00008	SOLFO00098	ROTONDA PORTO D'ASCOLI - VIA MARE (HT PERSICO) - NUOVO (S6)	SBT
2	SCEME00011	SOLFO00204	SOLLEVAMENTO VIA VERBANIA - BOLLETTINI	SBT
3	SCEME00009	SOLFO00094	VIA MARTIRI DI MARZABOTTO - VIA LAUREATI (S8 - IS2*)	SBT
4	SCEME00012	SOLFO00110	VIA S. AGATA (S19)	SBT
5	SCEME00013	SOLFO00111	VIA S. PIO X - VIA TOGLIATTI (S20)	SBT
6	SCEME00023	SOLFO00104	VIA VAL TIBERINA - VIA PIAVE (S11 - ISB)	SBT
7	SCEME00016	SOLFO00210	VIA VALLE PIANA	SBT
8	SCEME00010	SOLFO00103	VIA VALTELLINA - VIA PASUBIO (S10 - ISA)	SBT
9	SCEME00094	SOLFO00090	VIA MANIN FALIERO	SBT
10	SCEME00095	SOLF00225	FONTE MARTORE SOLLEVAMENTO	ACQUAVIVA PICENA

Figura 24 elenco scarichi di emergenza

Dal numero di utenze, sia domestiche che industriali, afferente a ciascuno scolmatore è stato possibile ricavare un'iniziale distribuzione degli abitanti equivalenti (AE) lungo la rete. Per le utenze domestiche si è risaliti agli AE, applicando l'equivalenza convenzionale utilizzata da CIIP che rapporta il numero di AE alle utenze tramite un fattore 2.5, in modo da discriminare preliminarmente i punti di campionamento.

La schematizzazione finale della rete del bacino di interesse con indicazione degli scolmatori e con la distribuzione degli abitanti è riportata nella figura seguente.

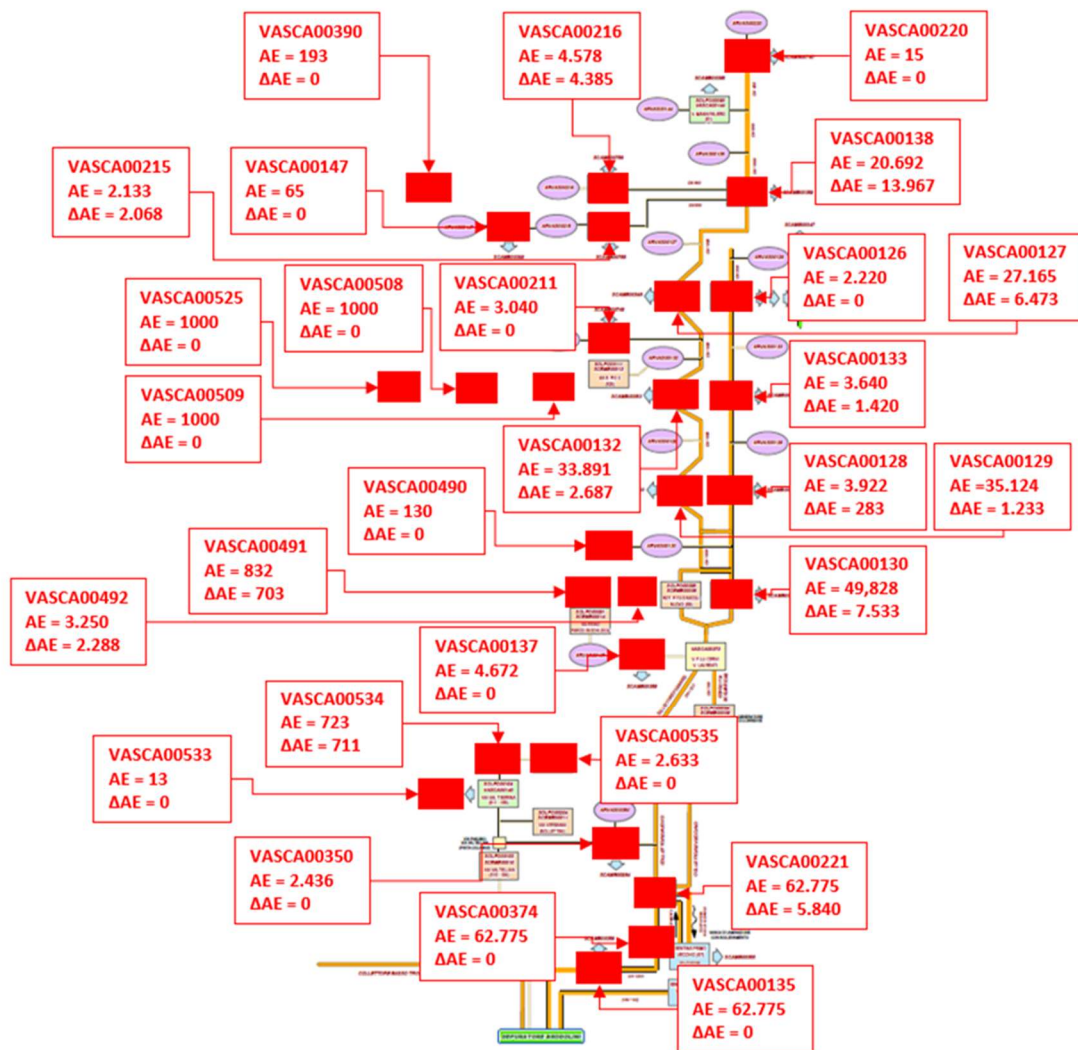


Figura 25 Distribuzione degli AE nella rete fognaria del bacino di San Benedetto

Le informazioni dei vari elementi costituenti la rete sono state ricavate dalle schede tecniche, ricevute da CIIP.

Si evidenzia che la rete fognaria originale del tratto costiero è stata semplificata al fine di ridurre le possibilità di errore legate all'incertezza di determinazione delle caratteristiche dei pozzetti senza rilievo. Utilizzando dati forniti, il software GIS e le schede tecniche di pozzetti, vasche e scolmatori forniti da CIIP, si sono individuati e modellati solo i manufatti e le condotte appartenenti ai rami principali della rete.



Figura 26 Rete semplificata del tratto costiero

3.2 Costruzione del modello idraulico

Il programma utilizzato per realizzare il modello idraulico della rete è lo SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato dal Water Resources Division dell'United States Environmental Protection Agency (US-EPA). Il programma consente di creare un modello per un'analisi dinamica degli afflussi-deflussi sia di singoli eventi sia per quelli continui nel tempo.

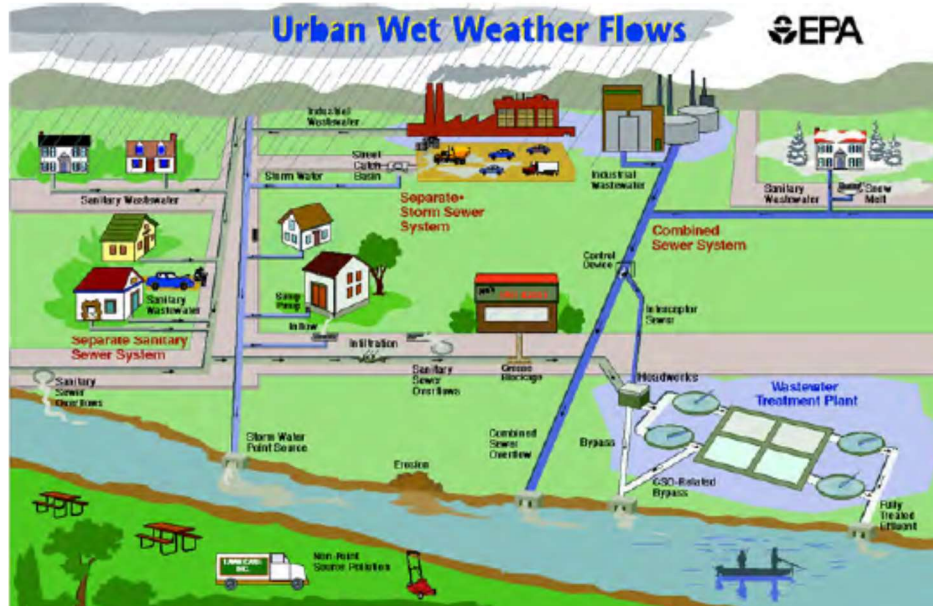


Figura 27 processi fisici e elementi trattati da SWMM

Il programma SWMM considera un insieme di sottobacini idrografici che raccolgono le precipitazioni meteoriche, da cui si generano deflussi idrici e carichi inquinanti, che successivamente vengono convogliate nel sistema di condotte, vasche, pompe che vengono inserite all'interno del modello. Il sistema di drenaggio viene diviso tra diverse suddivisioni ambientali:

- **Atmosfera**, che attraverso i Rain Gage genera precipitazioni descritte sia dal punto di vista quantitativo che temporale.
- **Terreno superficiale**, che attraverso uno o più Subcatchments raccoglie le precipitazioni e le separa in infiltrazioni verso il sottosuolo e in deflusso verso la rete di drenaggio.
- **Sottosuolo**, riceve le acque di infiltrazione e ne trasferisce una parte alla rete di drenaggio
- **Rete di drenaggio**, si compone da una rete di elementi che raccolgono e trasportano le acque reflue provenienti dai deflussi e dagli scarichi urbani. La rete è rappresentata da:
 - I Nodes, punti di connessione, che possono scambiare flussi in entrata e in uscita. Sono composti da: Junctions (pozzetti), Outfalls (scolmatori di portata), Storage Units (vasche di raccolta e vasche di sollevamento)
 - I Links, un sistema di tubazioni e condotte che collegano i Nodes. Sono composti da: Conduits (Condotte tra pozzetti), Pumps (mandata delle stazioni di sollevamento), Orificies, Weirs.

Il comportamento di questi elementi all'interno del modello vengono inseriti attraverso gruppi di dati chiamati Curves, Time Series e Time Pattern.

Il modello era già stato parzialmente costruito in un precedente studio; pertanto, nel presente elaborato si descrivono genericamente tutti gli elementi costituenti il modello, ponendo particolare attenzione sull'analisi quali-quantitativa dei flussi ai fini della calibrazione del modello.

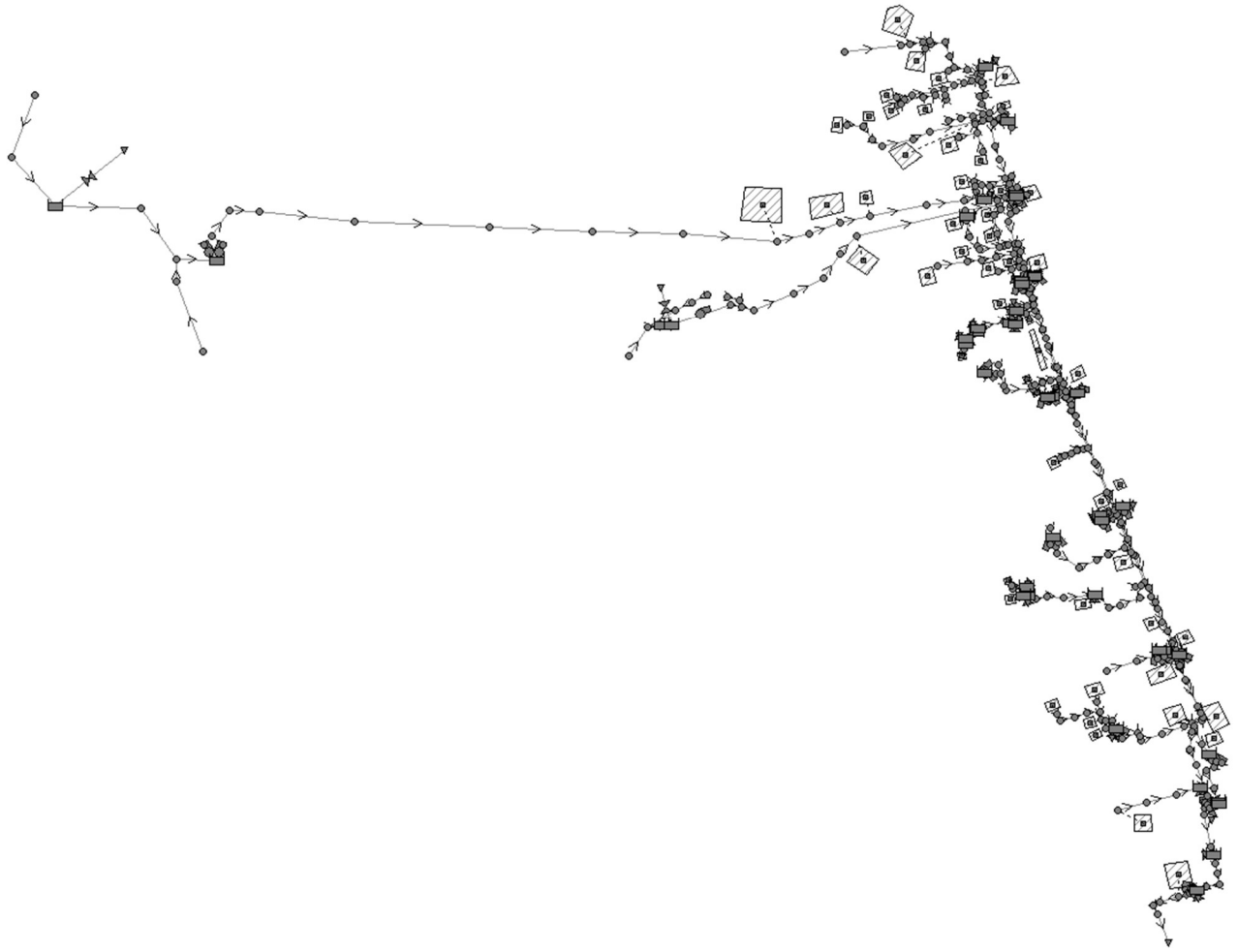
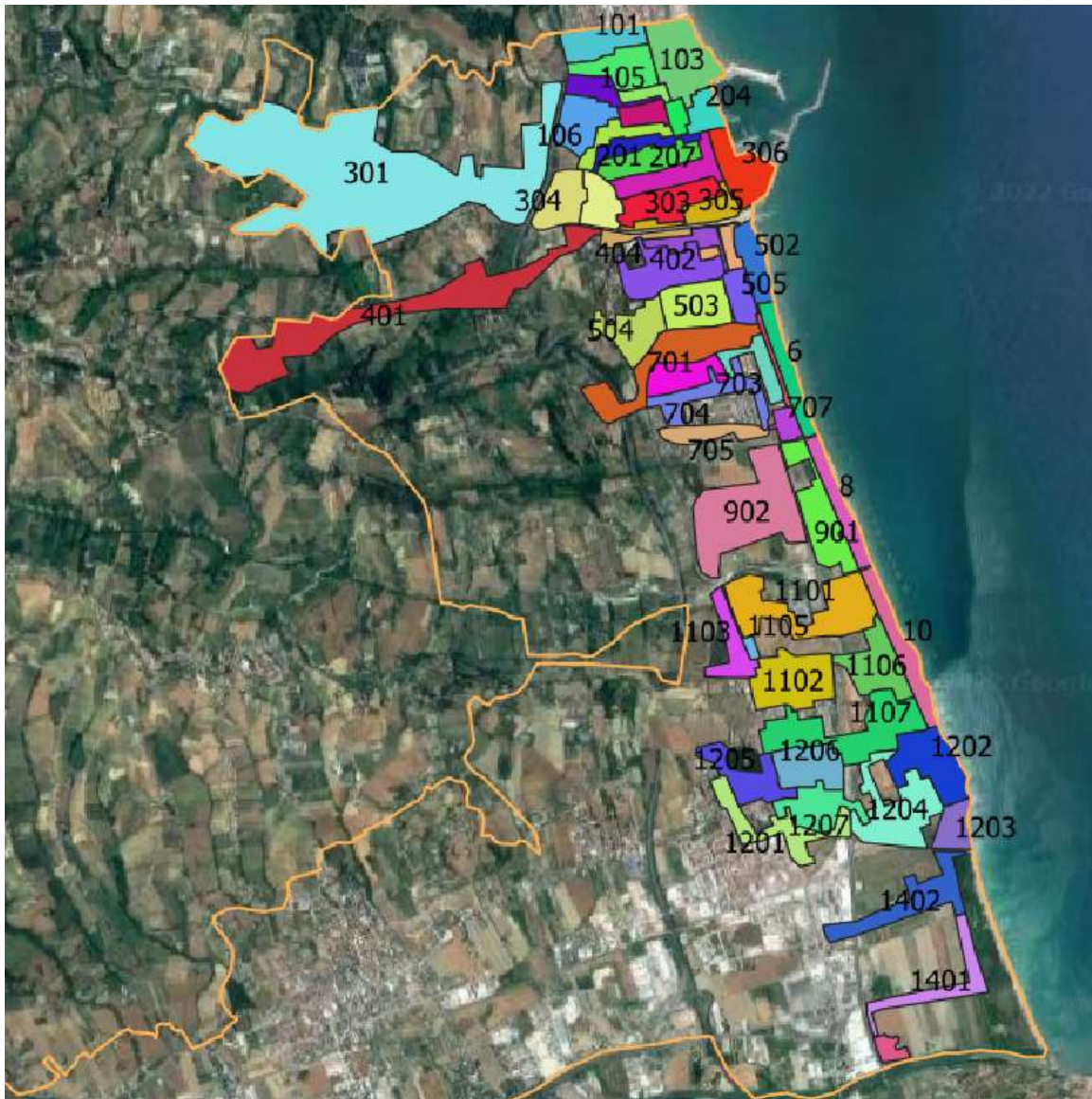


Figura 28 schema della rete fognaria nello SWMM

3.2.1 Definizione dei sottobacini

I sottobacini sono aree che raccolgono l'afflusso meteorico per poi inviarlo come deflusso in determinati pozzetti. A partire dalla cartografia del bacino idrografico, si sono ricostruite sul GIS le mappe delle aree contribuenti ai diversi tratti della rete.

Osservando l'andamento altimetrico del terreno per capire la direzione del deflusso delle acque e considerando solo le zone servite da reti fognarie miste, sono stati individuati 55 sottobacini, riportati nella seguente figura



Ai fini della modellazione idraulica lo SWMM richiede:

- Area Totale (ha), ricavata da QGIS
- Area impermeabile/urbanizzata(ha) ricavata dalla Carta d'Uso del Suolo
- Area permeabile(ha), ottenuta per differenza
- %impervious (runoff), ovvero il coefficiente di deflusso medio

$$\varphi_{\text{medio}} = \frac{S_{\text{perm}} * \varphi_{\text{perm}} + S_{\text{imper}} * \varphi_{\text{imper}}}{S_{\text{perm}} + S_{\text{imper}}}$$

- Width(m), perpendicolare alla direzione di deflusso (da QGIS)
- Slope(%), la pendenza ricavata dividendo la differenza di quota lungo la direzione di deflusso e la lunghezza del sottobacino

Oltre a questi dati deve essere indicato anche il Rain Gage (evento meteorico di riferimento) e come *Outlet* il pozzetto dove viene convogliato l'afflusso meteorico.

I restanti parametri sono assegnati di default.

Property	Value
Name	6
X-Coordinate	2429754.182
Y-Coordinate	4754397.325
Description	
Tag	
Rain Gage	R1
Outlet	0239
Area	35666
Width	107
% Slope	0
% Imperv	0.3
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Impe	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Impe	25
Subarea Rou	OUTLET
User-assigned name of subcatchment	

Figura 29 Schermata del Subcatchment

3.2.2 Definizione degli eventi di pioggia

Le precipitazioni meteoriche sono state assegnate tramite i ***Rain Gage*** che contengono tutte le impostazioni riguardanti le precipitazioni, in particolare viene scelto il tipo di formato di pioggia (volume di pioggia sversato in un determinato periodo di tempo ad intervalli regolari o intensità di pioggia), l'intervallo di registrazione dei dati (ad esempio ogni 15 minuti) e la fonte dei dati chiamata ***Time Series***.

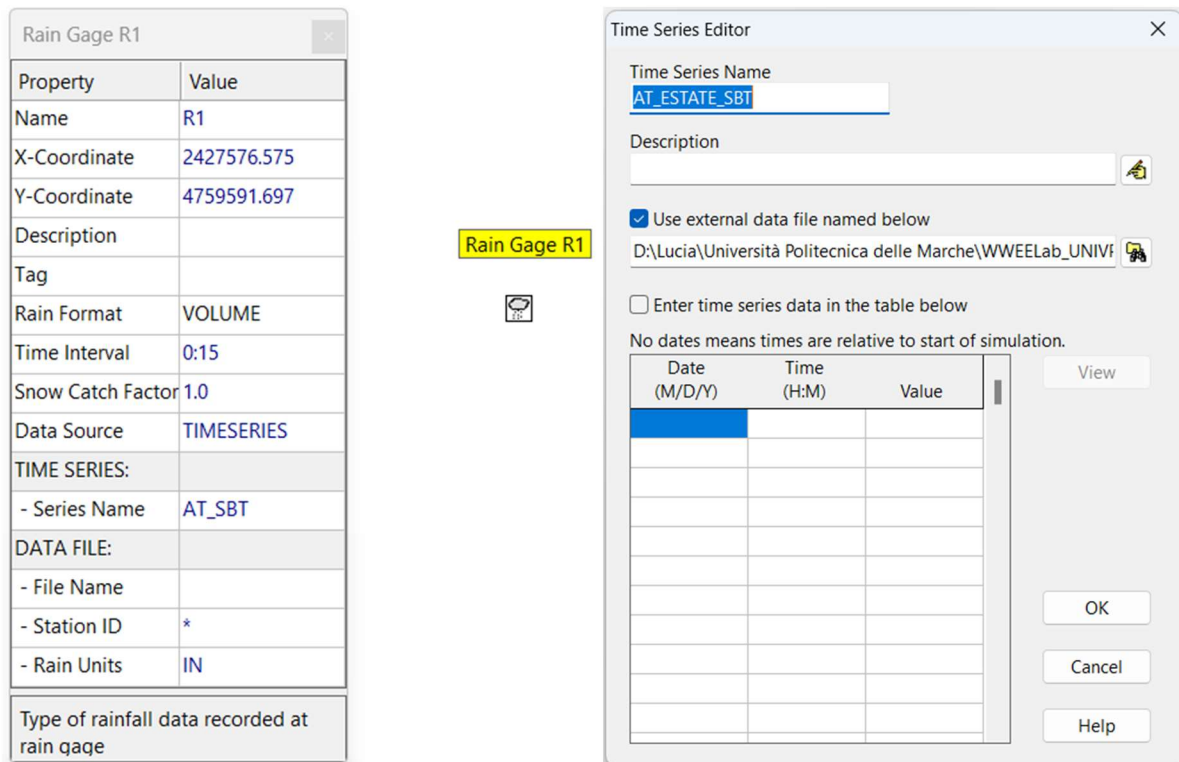


Figura 30 Schermata "Rain Gage" e schermata "Time Series" inserita all'interno del modello

Attraverso la finestra di comando del *Time Series* si possono inserire valori di precipitazione espressi in [mm] ad intervalli di tempo regolari, compilando una tabella oppure è possibile caricare un file di testo esterno. Si creano tanti *Time Series* quanti sono gli eventi di pioggia che si vogliono simulare.

I valori di precipitazione derivanti dall'elaborazione delle piogge sono stati inseriti nel modello. A tale scopo, sono state individuate le stazioni pluviometriche più adatte per la raccolta e per l'elaborazione dei dati in base alla vicinanza al baricentro del bacino idrografico precedentemente determinato.

L'analisi del tratto "costiero" è stata svolta raccogliendo i dati del pluviografo di San Benedetto del Tronto dal Dataset del Centro Funzionale per la Meteorologia, l'Idrologia e la Sismologia della Regione Marche e scaricabili dal Sistema Informativo Regionale Meteo-Idro-Pluviometrico (SIRMIP) della Protezione Civile Regionale. In particolare, si è determinata la curva di possibilità pluviometrica tramite l'elaborazione statistica di Gumbel ed è stato costruito l'anno tipo.

3.2.3 Definizione dei pozzetti

I pozzetti presenti lungo la rete fognaria analizzata, sono rappresentati nel modello come elementi puntali (**Junctions**), senza dimensioni e senza un volume di invaso.

Il modello richiede:

- Inflows, permette di convogliare uno specifico flusso;
- Invert Elevation[m], rappresenta l'altitudine del fondo del pozzetto;
- Max depth[m], indica la profondità del pozzetto;

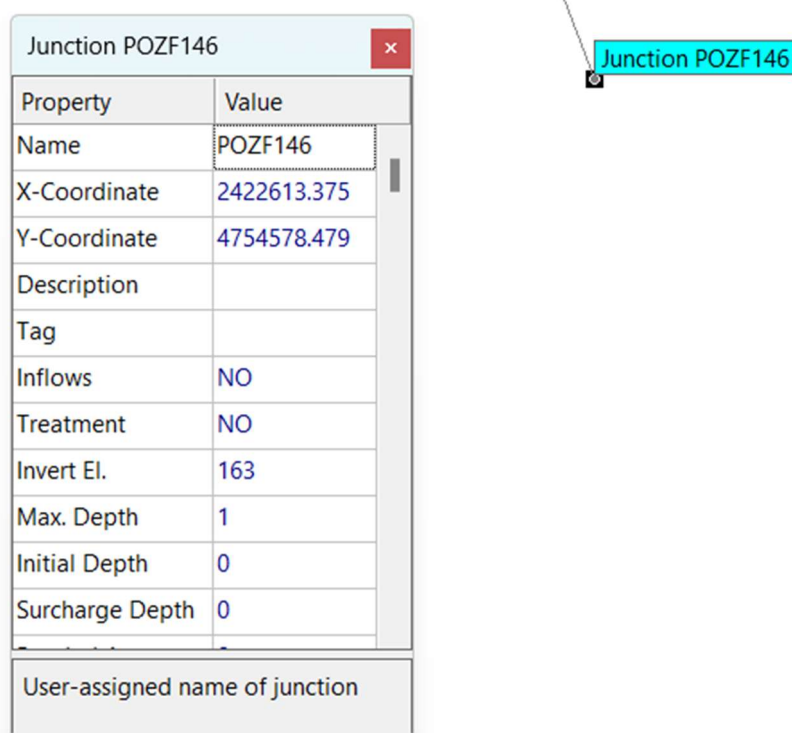


Figura 31 Schermata junction e rappresentazione all'interno del modello

I dati delle caratteristiche plano-altimetriche e geometriche dei pozzetti sono stati forniti da CIIP tramite software GIS e dalle schede di ricognizione dei pozzetti. Si evidenzia che per i pozzetti senza scheda tecnica si sono determinate le caratteristiche sulla base di quelle dei pozzetti immediatamente a monte e a valle.

3.2.4 Definizione delle condotte

Dopo aver inserito i pozzetti nel modello, questi sono stati collegati tramite le condotte (**Conduits**) che permettono il passaggio dell'acqua tra due punti della rete.

Le caratteristiche richieste dal modello sono:

- Inlet Node, ovvero il pozzetto da cui parte la condotta;
- Outlet Node, ovvero il pozzetto verso cui si dirige la condotta;
- Shape, ovvero la geometria della sezione trasversale selezionabile tra un elenco. Nel nostro studio la maggior parte delle condotte ha una forma circolare o rettangolare o quadrata, in minima parte ellittica. Le caratteristiche sono presenti nel software GIS fornito da CIIP spa;

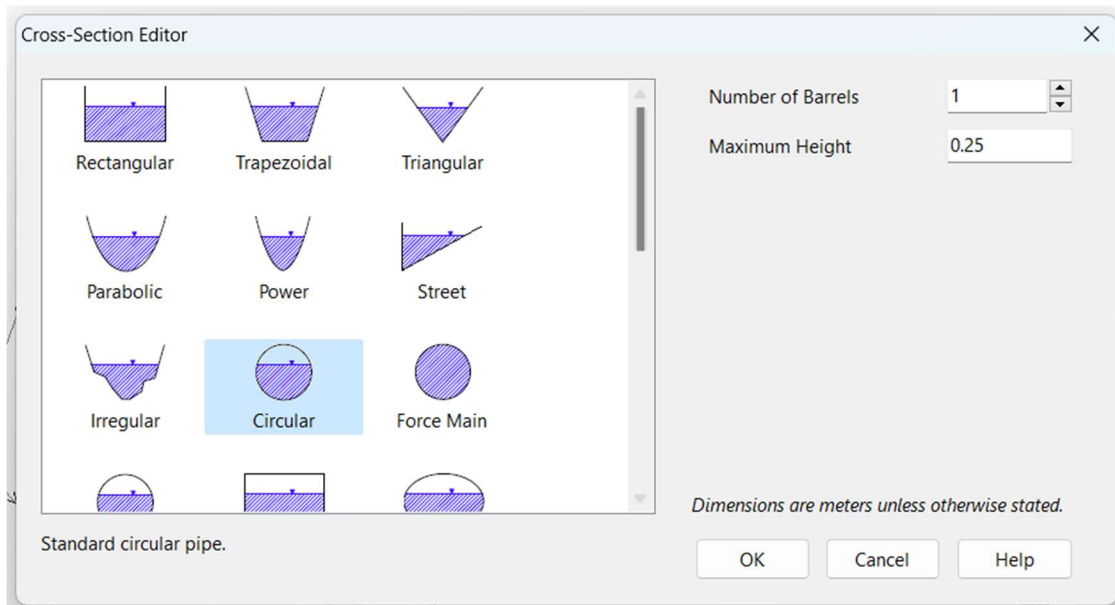


Figura 32 Editor della sezione trasversale (Shape) della condotta (Conduit)

- Max Depth, dimensioni della sezione trasversale, ricavate dal GIS
- Length[m], lunghezza della condotta, ricavata da GIS, per semplificare la rete si sono unificate condotte con caratteristiche uguali fra loro in un'unica condotta con lunghezza pari alla somma delle lunghezze delle condotte consecutive
- Roughness; ovvero la scabrezza del materiale della condotta, indicato tramite coefficiente di Manning [$s/m^{1/3}$]

	Materiale	Coeff. di Manning
AC	Acciaio	0.012
CL	Calcestruzzo	0.013
CD	Corrugato doppia parete (liscio interno)	0.009
FC	Fibro-cemento	0.013
P1	Polietilene AD PN 10	0.009
P2	Polietilene AD PN 16	0.009
P3	Polietilene AD PN 25	0.009
PV	PVC (Polivinilcloruro)	0.009
LT	Laterizio	0.013
VR	Vetroresina	0.009
C8	PPL SN 8	0.009
CC	PPL SN 16	0.009

Tabella 4 Valori del coefficiente di Manning

- Inlet Offset, quota della condotta nel pozzetto di monte
- Outlet Offset, quota della condotta nel pozzetto a valle

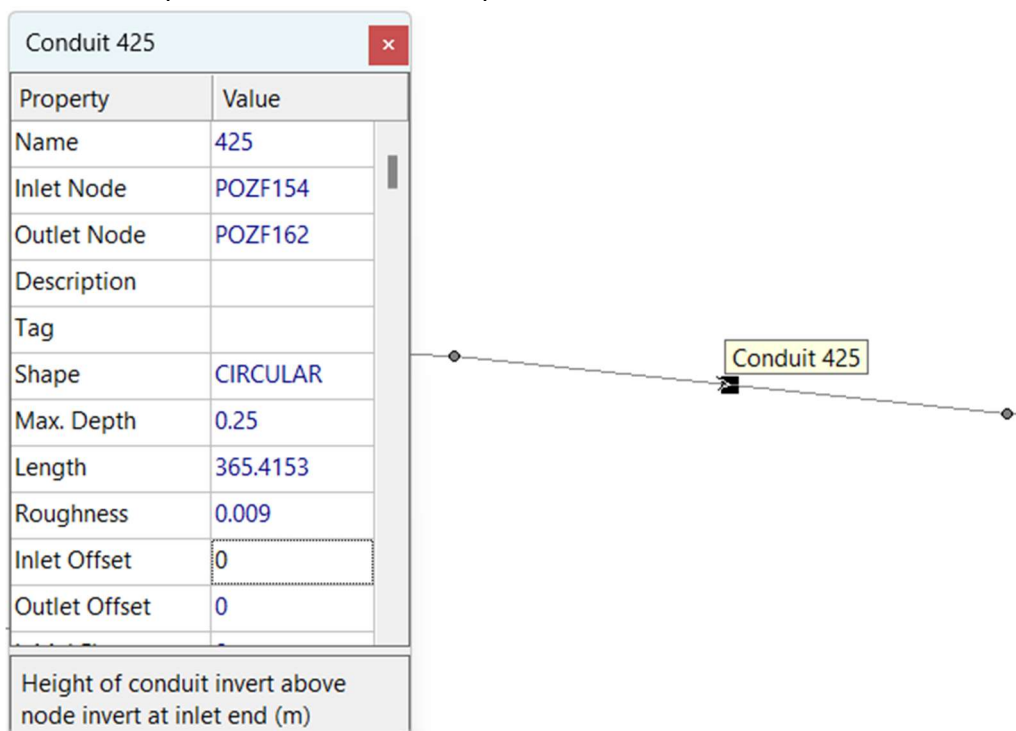


Figura 33 Schermata conduit e rappresentazione all'interno del modello

3.2.5 Definizione degli scolmatori

Gli scolmatori di portata (***Storage Unit***) assicurano il funzionamento a gravità della rete poiché scaricano in ambiente le portate eccedenti rispetto ad un certo limite di progetto.

Nel tratto costiero del sistema fognario sono presenti 28 scolmatori, di questi 25 sono stati modellati e inseriti all'interno del modello. Questa semplificazione è stata necessaria perché il flusso in uscita da 3 scolmatori (VASCA00533, VASCA00534, VASCA00535) si mescola con il flusso proveniente dal Basso Tronto prima dell'ingresso all'impianto di depurazione. Gli scolmatori inseriti all'interno del modello sono mostrati nella figura seguente.

N°	ID SCOLMATORE	ID VASCA	ID SOLLEVAMENTO	TIPOLOGIA VASCA
1	SCAMB00347	VASCA00126	SOLFO00095	SOLLEVAMENTO CON CSO
2	SCAMB00348	VASCA00127	SOLFO00105	SOLLEVAMENTO CON CSO
3	SCAMB00349	VASCA00128	SOLFO00106	SOLLEVAMENTO CON CSO
4	SCAMB00350	VASCA00129	SOLFO00097	SOLLEVAMENTO CON CSO
5	SCAMB00315	VASCA00130	SOLFO00107	SOLLEVAMENTO CON CSO
6	SCAMB00353	VASCA00132	SOLFO00096	SOLLEVAMENTO CON CSO
7	SCAMB00354	VASCA00133	SOLFO00108	SOLLEVAMENTO CON CSO
8	SCAMB00355	VASCA00221	SOLFO00144	SOLLEVAMENTO CON CSO
9	SCAMB00356	VASCA00135	SOLFO00100	SOLLEVAMENTO CON CSO
10	SCAMB00358	VASCA00137	SOLFO00109	SOLLEVAMENTO CON CSO
11	SCAMB00359	VASCA00138	SOLFO00131	SOLLEVAMENTO CON CSO
12	SCAMB00368	VASCA00147	SOLFO00092	SOLLEVAMENTO CON CSO
13	SCAMB00749	VASCA00211		LINEA
14	SCAMB00755	VASCA00215		LINEA
15	SCAMB00756	VASCA00216		LINEA
16	SCAMB01150	VASCA00220		LINEA
17	SCAMB00984	VASCA00350		LINEA
18	SCAMB01003	VASCA00374		LINEA
19	SCAMB01018	VASCA00390		LINEA
20	SCAMB01096	VASCA00490		LINEA
21	SCAMB01097	VASCA00491		LINEA
22	SCAMB01098	VASCA00492		LINEA
23	SCAMB01115	VASCA00508		LINEA
24	SCAMB01116	VASCA00509		LINEA
25	SCAMB01130	VASCA00525		LINEA

Tabella 5 elenco "Storage Unit" inseriti all'interno del modello

Tramite le schede fornite da CIIP spa vengono ricavati: codice vasca e dello scarico in ambiente, tipologia di scolmatore, informazioni sulla pianta e sezione grazie alle quali gli scolmatori sono stati riprodotti all'interno del modello in modo analogo alla realtà. A seconda della tipologia dello scolmatore, su sollevamento (con vasche separate o con una sola vasca) o di linea, sono stati inseriti e schematizzati in modo diverso all'interno del modello.

Di seguito si riportano le tipologie di scolmatori presenti e lo schema utilizzato all'interno dello SWMM.

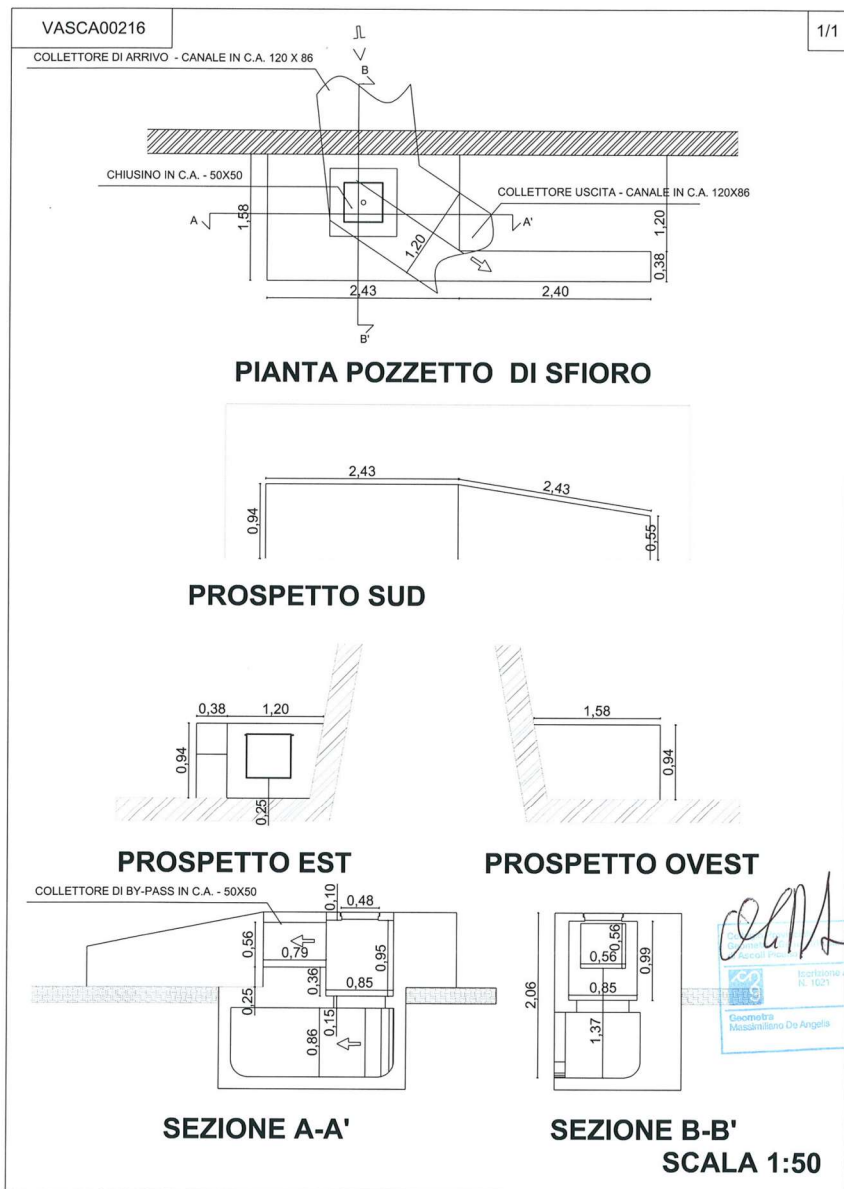


Figura 34 Pianta e sezione di uno scolmatore di linea (VASCA00216)

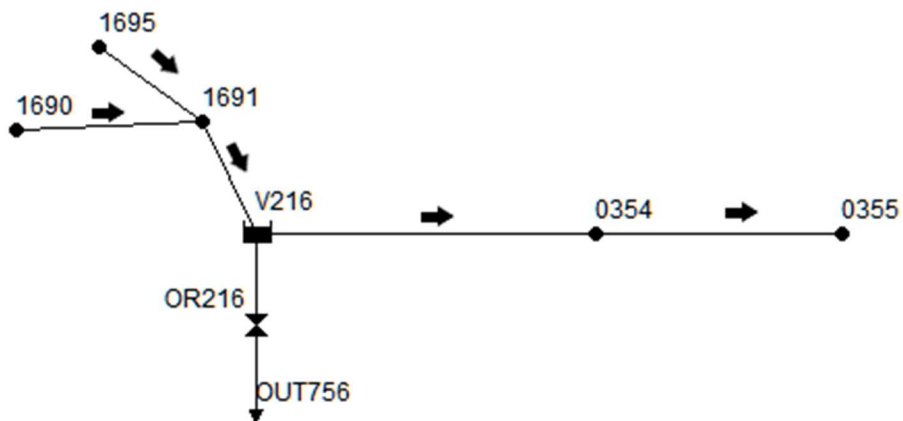


Figura 35 Rappresentazione di uno scolmatore di linea all'interno del modello SWMM (VASCA00216)

Gli scolmatori su sollevamento possono essere di due tipi (vasca unica e vasche separate):

1. Vasca unica: sono gli scolmatori che contengono nello stesso volume sia le pompe del sollevamento che la condotta di sfioro, sono modellate con un unico Storage Unit

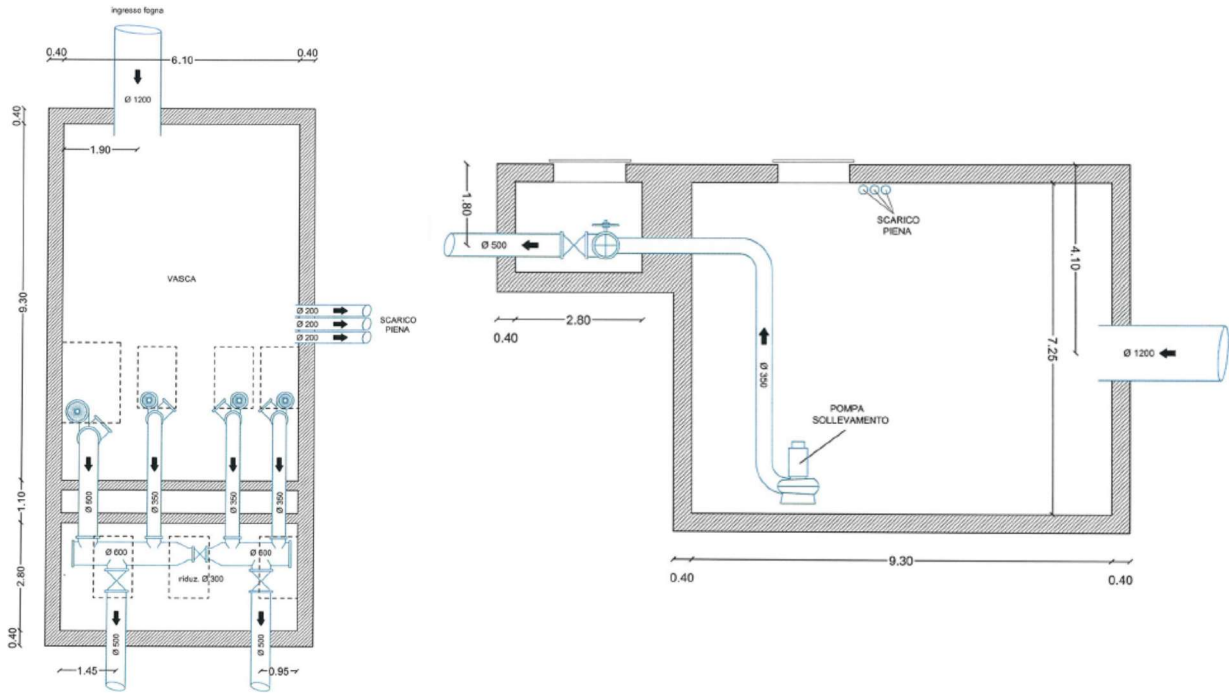


Figura 36 Pianta e sezione di uno scolmatore su sollevamento con vasca unica (VASCA00135)

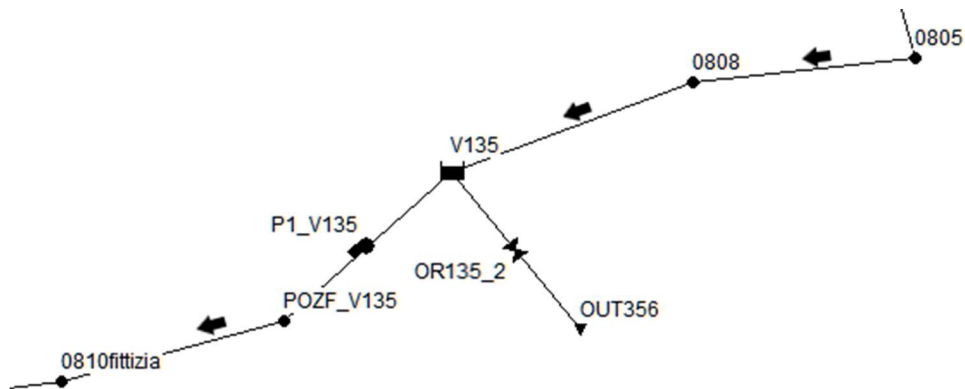


Figura 37 Rappresentazione di uno scolmatore con vasca unita all'interno dello SWMM (VASCA00135)

2. Vasche separate: scolmatori che presentano due vasche, una contenente lo scolmatore (collegata all'Outfall) e l'altra le pompe per il sollevamento, sono modellate attraverso due Storage Unit uniti da un Orifizio che consente il collegamento idraulico.

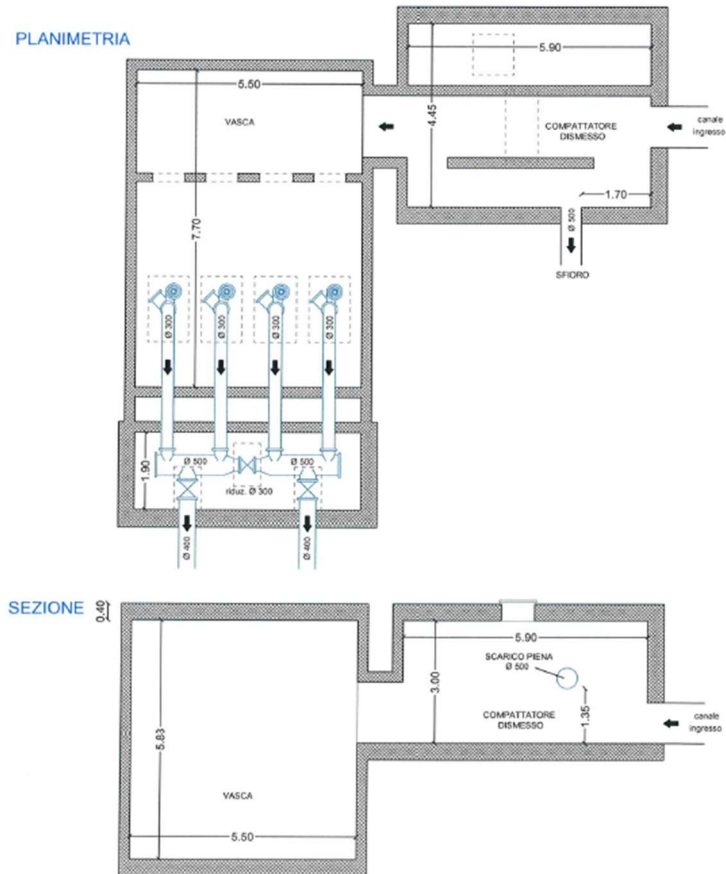


Figura 38 Pianta e sezione di uno scolmatore su sollevamento con vasche separate (VASCA00132)

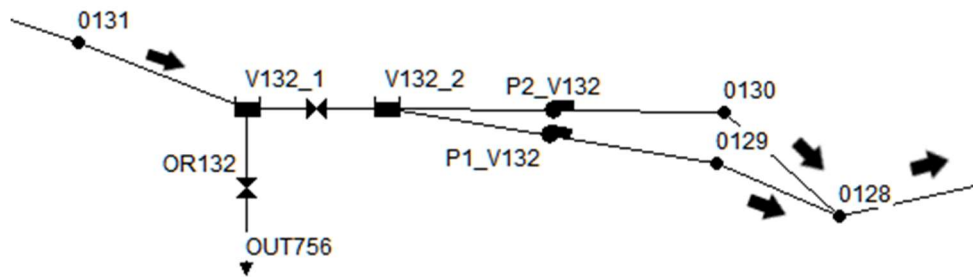


Figura 39 Rappresentazione di uno scolmatore con vasche separate all'interno dello SWMM (VASCA00132)

Per definire lo **Storage Unit** il modello richiede:

- Invert Elevation, altitudine (calcolata come differenza tra la quota del manufatto e la Max Depth);
- Max depth, altezza interna della vasca

Storage Unit V390	
Property	Value
Name	V390
X-Coordinate	2421403.295
Y-Coordinate	4755770.005
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	235
Max. Depth	1.7
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Shape	TABULAR
User-assigned name of storage unit	

Figura 40 Schermata "Storage Unit" all'interno del modello

Per definire il volume delle vasche, rappresentazione della capacità di stoccaggio delle acque di una vasca, si utilizza lo "Storage Curve" che può essere assegnato in due modi differenti:

- Attraverso un "Functional Curve" che richiede la definizione un coefficiente, un esponente e una costante;
- Attraverso un "Tabular Curve", metodo utilizzato in questo studio, che prevede l'utilizzo di una tabella in cui inserire i valori dell'area bagnata in funzione della profondità della vasca. È possibile inoltre verificare il corretto inserimento dei dati e visualizzare la geometria della vasca attivando il comando "View".

Questo procedimento è stato applicato sia per vasche di linea che per quelle di sollevamento.

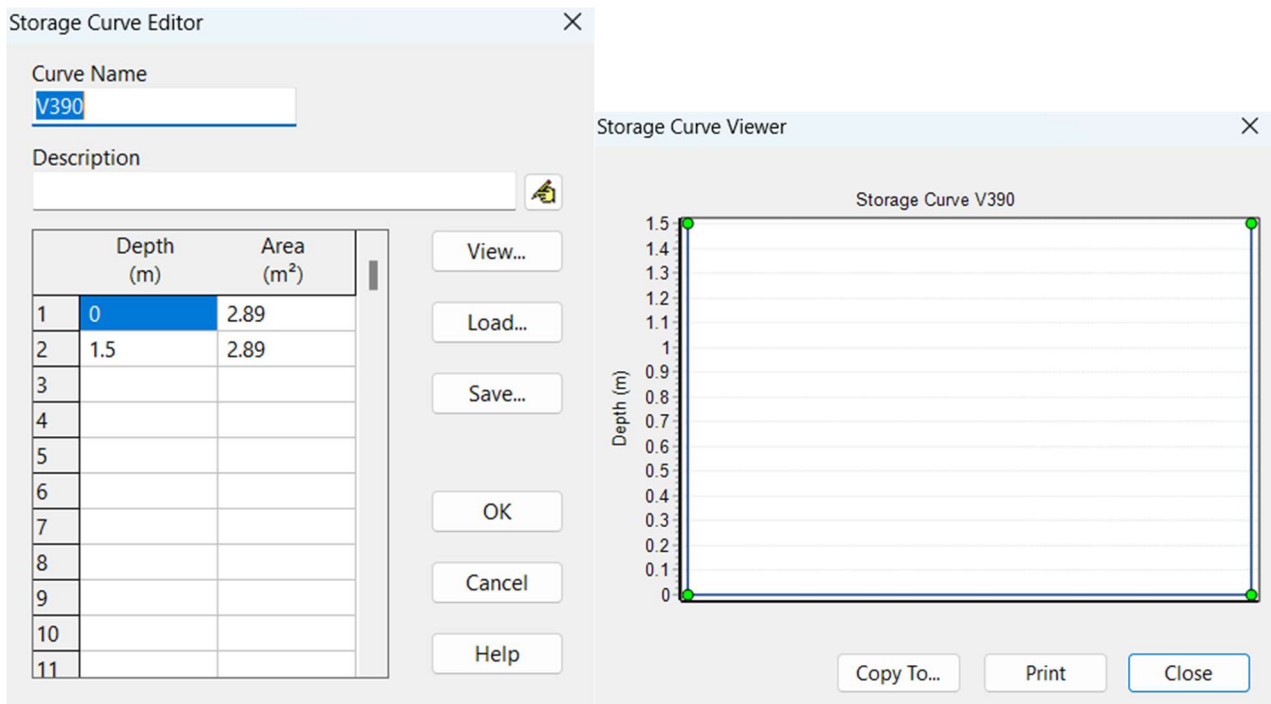


Figura 41 schermata "editor" e schermata "view" dello Storage Curve

L'**Orifice** è la condotta che ha il compito di scolmare la portata in eccesso. Viene definito assegnando:

- Shape, forma che può essere circolare o scatolare;
- Height e Width, le dimensioni della condotta;
- Inlet Offset, ovvero l'altezza della tubazione di sfioro rispetto al fondo della vasca, aumentando l'altezza diminuisce la frequenza di sfioro;
- Type, indica la tipologia della vasca, in particolare la posizione della condotta rispetto alla vasca che può essere disposta lateralmente (side), come in tutte le vasche in questo studio, o sul fondo;

Orifice OR390	
Property	Value
Name	OR390
Inlet Node	V390
Outlet Node	OUT1018
Description	
Tag	
Type	SIDE
Shape	CIRCULAR
Height	0.315
Width	0
Inlet Offset	0.07
Discharge Coeff.	0.65
Flap Gate	NO
Time to Open/Clos	0
User-assigned name of orifice	

Figura 42 Schermata "orifice" all'interno del modello

Per la simulazione degli scolmatori di portata lo SWMM prevede un altro elemento denominato "Weir" più adatto per la simulazione di scolmatori a stramazzo laterale. Tuttavia questo strumento non è stato utilizzato nel presente studio.

Un altro elemento utilizzato per la schematizzazione degli scolmatori di portata è l'**Outfall**, che viene definito impostando come unico dato "l'Invert Elevation" facendo in modo che si trovi ad una quota inferiore rispetto alla vasca corrispondente. Le altre caratteristiche non sono necessarie in quanto il modello utilizza questo elemento per convogliare l'acqua scolmata dall' "Orifice".

Outfall OUT1018	
Property	Value
Name	OUT1018
X-Coordinate	2421970.929
Y-Coordinate	4756220.285
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	234.5
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE
Fixed Outfall	
User-assigned name of outfall	

Figura 43 Schermata "Outfall" all'interno del modello

Oltre a questi elementi si sono inserite anche le pompe il cui funzionamento è stato descritto introducendo all'interno del modello le **Pump Curve**, una per ogni pompa. Queste curve di funzionamento sono state fornite da CIIP spa, e vengono inseriti nella tabella H-Q, tramite il comando "View" è possibile visualizzare il grafico.

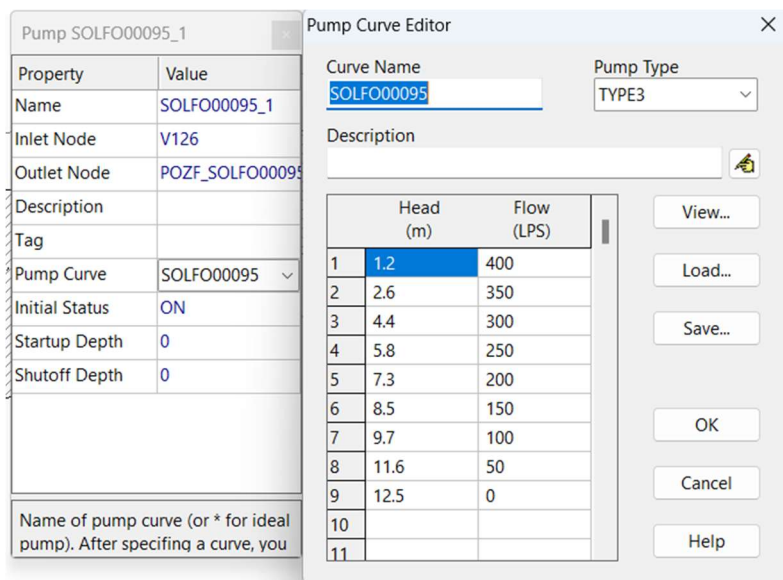


Figura 44 Schermata "Pump Curve" e editor

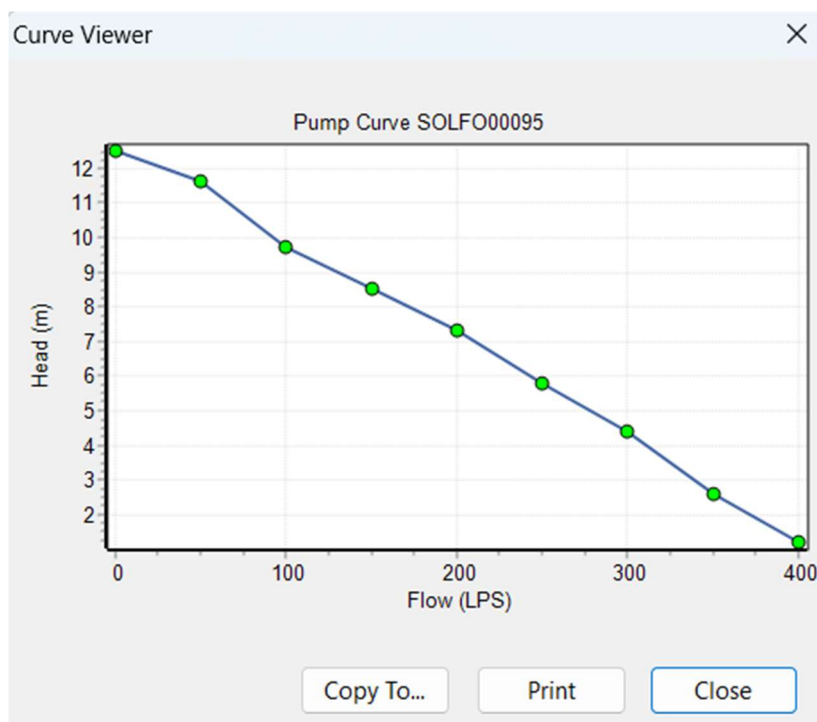


Figura 45 Schemata "View" delle "Pump Curve"

Si specifica che, per alcune vasche di sollevamento, è stato possibile elaborare i dati del telecontrollo trasmessi da CIIP (descritti nel paragrafo 3.3.2) al fine di ricavare le reali curve H-Q di lavoro delle pompe. Inoltre, si sono svolte anche verifiche in campo tramite l'utilizzo di apposito misuratore di portata (kaptor mini) posizionato nel pozzetto immediatamente a valle della stazione di sollevamento di interesse.

3.3 Analisi quantitativa della rete fognaria

L'analisi quantitativa della rete fognaria è stata possibile attraverso l'elaborazione dei dati forniti dal sistema di telecontrollo installato per alcune vasche lungo la rete fognaria (dati di on-off delle pompe e livelli) e l'analisi dei dati trasmessi da misuratori di portata Kaptor Mini.

In particolare, si è suddiviso la rete fognaria di San Benedetto in macro aree al fine di individuare i punti che caratterizzano dal punto di vista quali-quantitativo i flussi in arrivo all'impianto di depurazione. Sono stati individuati così otto tratti principali (A,B,C,D,E,F,G,H), rappresentati in figura.

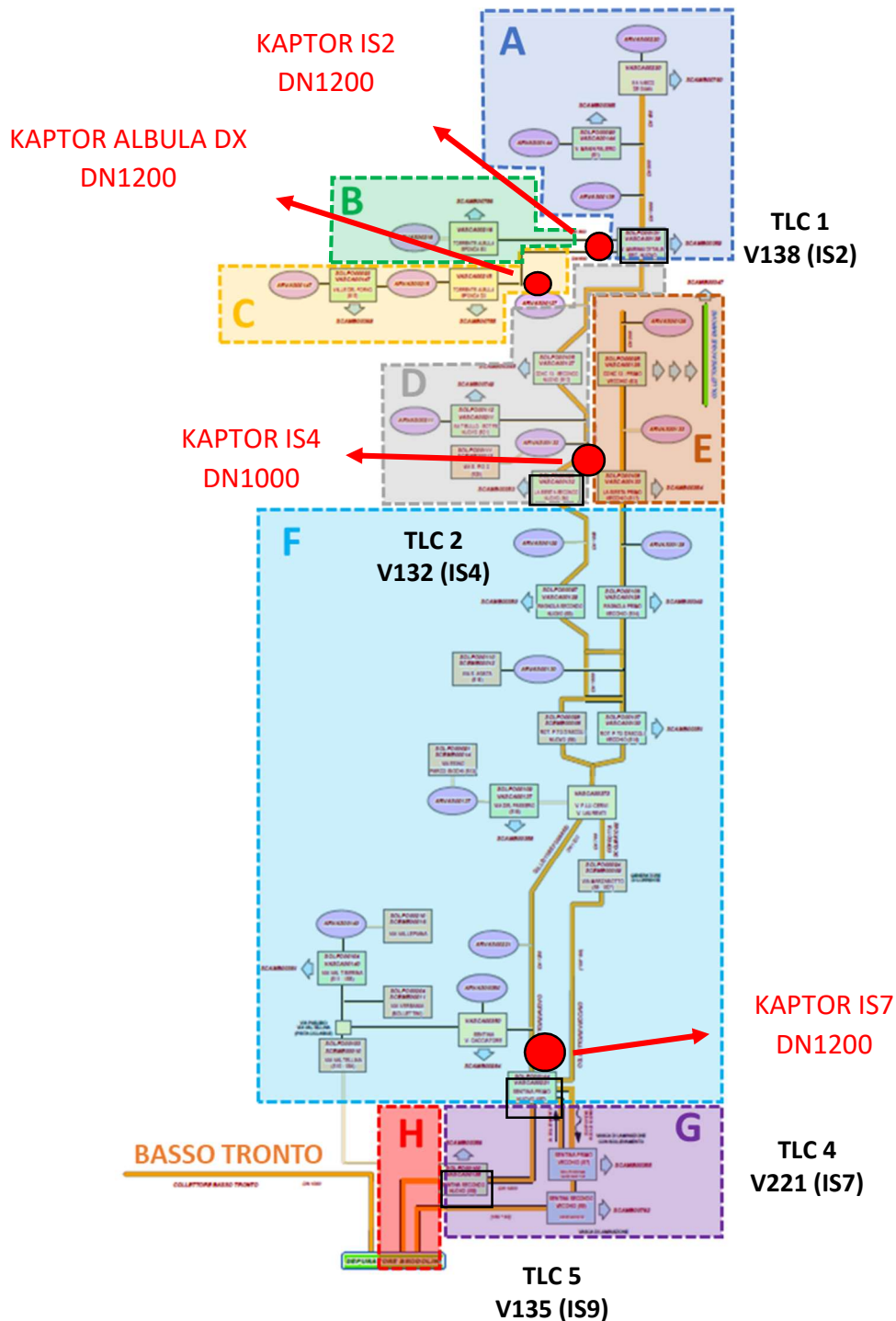


Figura 46 macro aree per l'individuazione dei punti di misura

In particolare, i contributi quantitativi delle singole aree sono stati determinati come segue:

- A. Il flusso proveniente dal tratto a nord è stato misurato dall'elaborazione dei dati del telecontrollo presso la stazione di sollevamento VASCA00138;
- B. La portata è stata ottenuta posizionando un Kaptor immediatamente a valle dei tratti B e C prima della vasca 138. Il flusso del solo tratto B è ottenuto per differenza con quello misurato in C;
- C. La portata del tratto C è stata ottenuta posizionando il Kaptor nel punto di chiusura del tratto C;
- D. Per la misura della portata del tratto D si sono elaborati i dati del telecontrollo della VASCA00132, i cui risultati sono stati confrontati con i dati del misuratore Kaptor installato nel punto di chiusura del tratto D;
- E. Il tratto E non fa parte della linea principale, pertanto non è stato considerato;
- F. Per il tratto F si sono considerati i dati del telecontrollo della VASCA00221 e dello strumento Kaptor installato nel punto di chiusura del tratto F della rete;
- G. Il flusso del tratto G è stato ottenuto dai dati disponibili di telecontrollo della VASCA00135
- H. Il flusso in arrivo all'impianto di depurazione è stato desunto dai dati del misuratore elettromagnetico dell'impianto

3.3.1 Misuratori di portata Kaptor e elaborazione dei dati

Per monitorare la portata che transita all'interno della rete fognaria, CIIP spa ha installato quattro misuratori Kaptor Mini in corrispondenza dei seguenti punti della rete (rappresentati in rosso nella figura seguente):

- ALBULA DX;
- V138 (IS2);
- V132 (IS4);
- V221 (IS7)

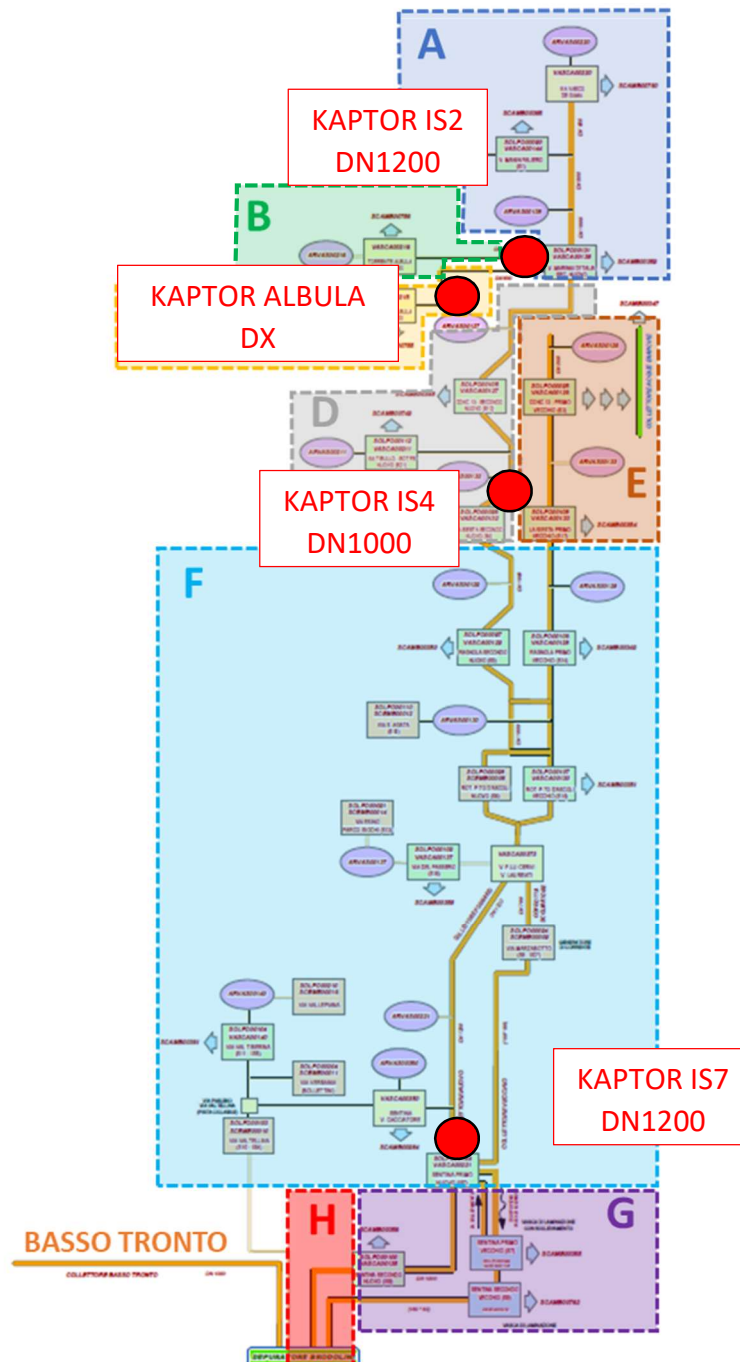


Figura 47 posizione dei misuratori Kaptor

I Kaptor Mini sono dispositivi di misurazione elettromagnetici, sviluppati e realizzati da B.M. Tecnologie Industriali. I dati acquisiti dallo strumento di misurazione vengono trasmessi tramite un modem (trasmettitore) integrato direttamente al sistema di telecontrollo gestito da CIIP.



Figura 48 trasmettitore Kaptor Mini e misuratore

Il dispositivo trasmette le misure con frequenza di invio dei dati da 1 ora a 24 ore tramite connessione Wi-Fi protetta attraverso file in formato CSV, facilmente elaborabili in Excel. In particolare permette la memorizzazione dei valori di ogni parametro da 1 minuto a 60 minuti.

Su ognuna delle variabili di misura lette dallo strumento è possibile impostare eventi di allarme. Il dispositivo registra il messaggio di allarme in memoria e può inviarlo tramite SMS. È possibile programmare dei cicli di pulizia per i sensori collegati allo strumento che consistono nell'attivare un'uscita relè per un tempo impostato, attendere un tempo post-pulizia e loggare le variabili sensore. Questa funzione può essere particolarmente utile qualora si utilizzino sensori che necessitano di una pulizia prima della lettura.

Il dispositivo può lavorare sia in modalità continua, con una trasmissione ininterrotta dei dati, sia in modalità intermittente.

Il trasmettitore è stato progettato per essere fissato a parete tramite una apposita staffa in acciaio inossidabile in modo da mantenere lo strumento in posizione verticale. La staffa viene fissata al muro utilizzando due tasselli e nel caso si prevedano sostituzioni frequenti è possibile utilizzare un supporto da muro che permetta uno sgancio rapido della staffa base

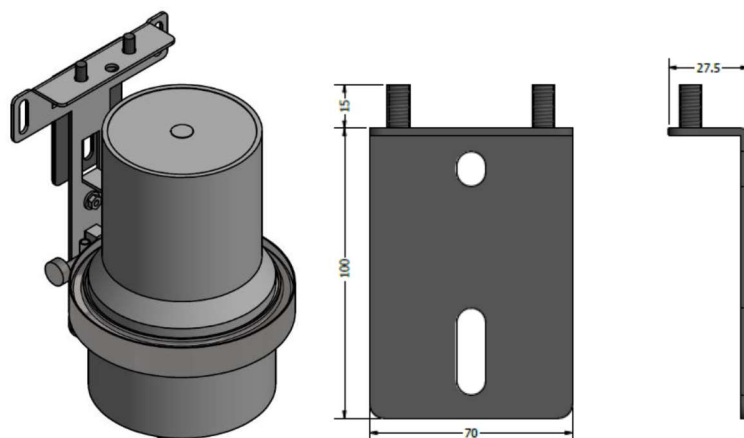


Figura 49 staffa base per il fissaggio del trasmettitore e supporto da muro

I sensori di misura associati al Kaptor Mini sono sensori di tipo combinato in grado di misurare contemporaneamente la velocità del flusso e il battente. Hanno due cristalli piezoelettrici indipendenti che lavorano contemporaneamente sia come trasmettitori sia come ricevitori.

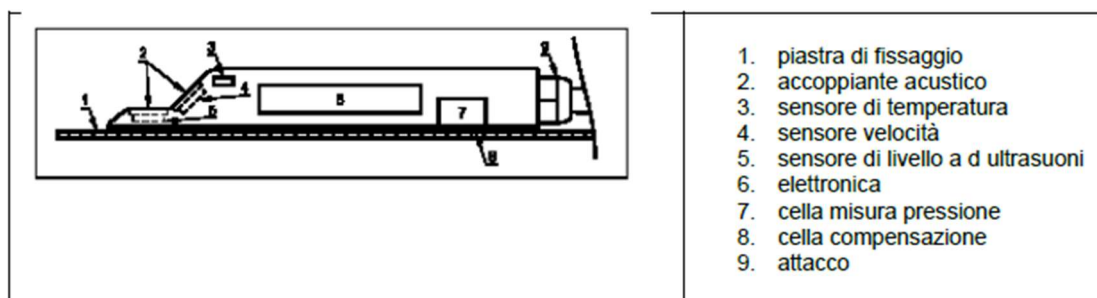


Figura 50 sensori Doppler a scarpetta

Lo strumento misura i seguenti parametri:

- Livello del fluido [m], tramite un sensore per la misura del tempo di transito (tempo in cui un segnale ultrasuono impiega per andare dal trasduttore alla superficie del liquido e ritornare indietro) o tramite un sensore di pressione piezoresistivo (misura la pressione della colonna d'acqua sopra il sensore);
- Velocità del fluido [m/s], tramite un sensore area velocity ad effetto Doppler (sfrutta la riflessione degli ultrasuoni da parte delle particelle in sospensione). La misura della velocità è possibile solo per valori di livello maggiori di 40 mm;
- Portata del fluido [l/s], misurata in modo indiretto tramite la velocità del fluido rilevata conoscendo la geometria della condotta;
- Temperatura del fluido [°C];
- Qualità del sensore [%]; le percentuali variano da 0.00 a 99.00 (rispettivamente da pessimo a ottimo). Valori normali >60.00

I dispositivi "a scarpetta" vengono installati sul fondo della condotta attraverso una piastra di base. Sono richiesti alcuni accorgimenti:

- Evitare: spine, passaggi o ostacoli, accessori, cavi profilati o inserimento laterale / frontale / posteriore al punto di misura.

- Il punto di misura deve essere scelto in normali condizioni di funzionamento. Non devono esserci depositi di sabbia, fango, limo o sassi. Velocità troppo basse possono causare la formazione di depositi. Pendenze basse o difetti strutturali possono provocarne l'accumulo.
- Evitare spostamenti di pendenza nel punto di misura.
- I diametri a monte e a valle devono essere rispettivamente di 3 e 2. A seconda dei possibili problemi, possono essere necessari diametri crescenti o maggiori distanze a monte / a valle.
- Il sensore deve essere installato al centro del canale in modo che sia perfettamente orizzontale e in condizioni di calma idraulica.
- Il cavo del sensore deve anch'esso essere fissato sul fondo del canale e dove possibile ricoperto di protezioni appropriate.

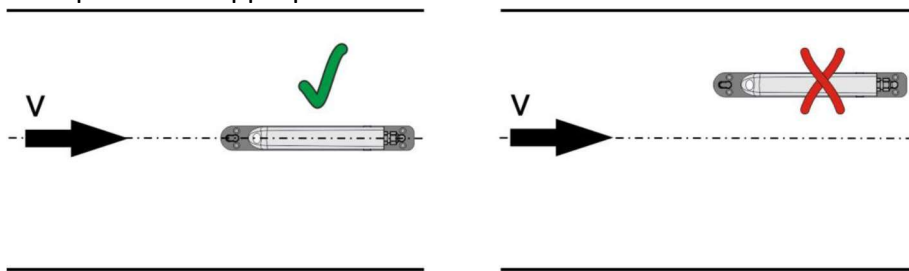


Figura 51 corretta installazione del sensore

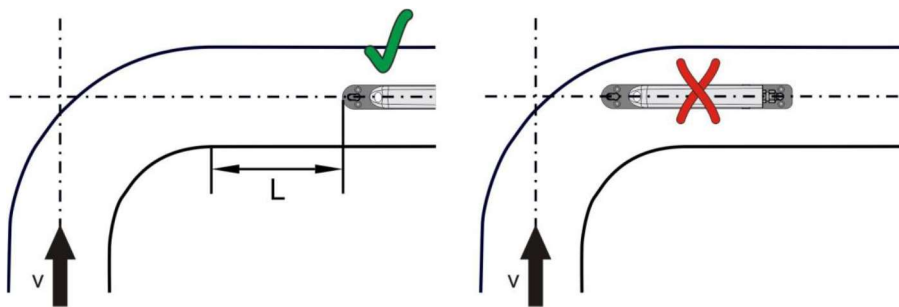


Figura 52 corretta installazione del sensore vicino a curve o gomiti



Figura 53 Esempio di installazione (Kaptor "ALBULA DX")

Il dati ricavati dai Kaptor Mini di portata [l/s], velocità [m/s], livello [m] e temperatura [°C] trasmessi da CIIP spa all'interno di fogli di calcolo Excel sono stati filtrati ed elaborati.

È stato necessario filtrare i dati dei Kaptor per avere i dati il più possibile rappresentativi dei flussi all'interno della rete, in particolare a causa del problema dello sporco dovuto alla presenza di stracci in rete.

Sono stati inclusi nell'elaborazione tutti i dati con livello[mm] compresi tra 40mm (limite inferiore di misurazione del Kaptor) e il diametro nominale della condotta in cui è stato installato lo strumento e con valori di velocità [m/s] positivi e diverse da zero

La rielaborazione dei dati è stata condotta calcolando angolo al centro e area bagnata utilizzando formule trigonometriche:

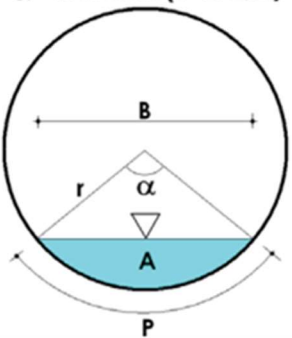
Tipo di sezione CIRCOLARE	Area bagnata A	Perimetro bagnato P	Larghezza pelo libero B
$\alpha = 2 \arccos(1 - 2 \cdot h/D)$ 	$\frac{D^2}{8}(\alpha - \sin\alpha)$	$\frac{D}{2} \cdot \alpha$	$D \cdot \sin \frac{\alpha}{2}$

Tabella 6 Area, perimetro, larghezza del pelo libero in funzione del tirante idrico in sezioni circolari

Successivamente è stata calcolata la portata minuto per minuto come prodotto fra la velocità del fluido [m/s] e l'area bagnata precedentemente calcolata.

VALORI MISURATI DA KAPTOR							RIELABORAZIONE									
			Q	v	h	h	v (GS)	Q (GS)	Q (GS)	Rh	ALFA	AREA BAGNATA	PERIMETRO BAGNATO	y/D	Q = V*A	
Data	Ora	data	l/s	m/s	m	mm	m/s	m3/s	l/s	m		mm2	mm		l/s	m3/h
		2023-01-03 00:01:00	104,16	0,44	0,416	416	1,59	0,38	378,11	0,19	3,52	238347,26	1232,35	0,59	104,87	377,54
		2023-01-03 00:02:00	104,16	0,44	0,416	416	1,59	0,38	378,11	0,19	3,52	238347,26	1232,35	0,59	104,87	377,54
		2023-01-03 00:03:00	104,16	0,44	0,416	416	1,59	0,38	378,11	0,19	3,52	238347,26	1232,35	0,59	104,87	377,54

Tabella 7 esempio tabella di rielaborazione per il calcolo della portata

Per il calcolo della velocità non è stato possibile utilizzare la formula di Gauckler-Strckler in quanto non ci si trova mai in condizione di moto uniforme.

Successivamente sono state calcolate per ogni giorno le medie di:

- Portata elaborata, Qelab [m³/h];
- Portata ricavata dalle misure del Kaptor, Qkaptor [m³/h];
- Livello ricavato dalle misure del Kaptor, h [mm];

Inoltre, è stato calcolato lo scarto (%) tra le misure di portata derivante dall'elaborazione e quelle misurate direttamente dallo strumento Kaptor, dal cui confronto sono emerse differenze accettabili, validando così i valori misurati dal kaptor.

Successivamente sono stati individuati i giorni di pioggia (SI/NO) ricavati dal sito del SIRMIP al fine di individuare il solo contributo della portata secca, distinta tra periodo invernale (1° settembre – 31 maggio) e periodo estivo (1° giugno – 31 agosto).

<i>Qsecca media</i>	
m3/h	m3/d
31	755
31	742

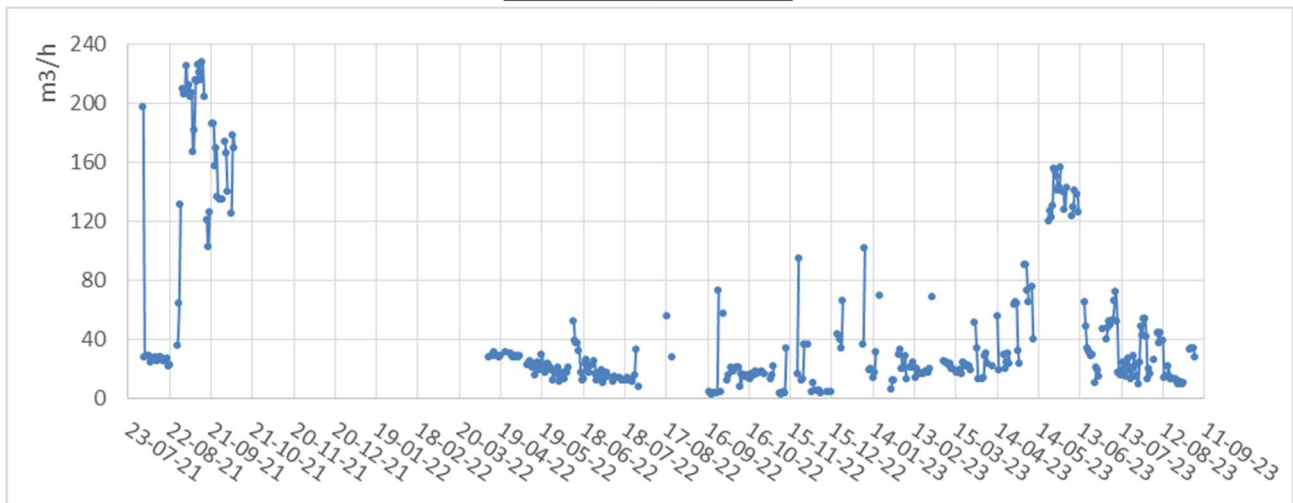


Figura 54 esempio risultati e grafico ricavati dall'elaborazione Kaptor V221

3.3.2 Elaborazione dati del telecontrollo

Oltre ai misuratori Kaptor Mini in alcune stazioni di sollevamento è presente un sistema di telecontrollo che monitora da remoto l'andamento dei livelli in vasca e i cicli di accensione e spegnimento (ON/OFF) delle pompe.

Le vasche provviste di questo sistema utili ai fini della quantificazione del flusso in corrispondenza delle sezioni di chiusura delle macro-aree sono:

- V138 (IS2)
- V132 (IS4)
- V221 (IS7)
- V135 (IS9)

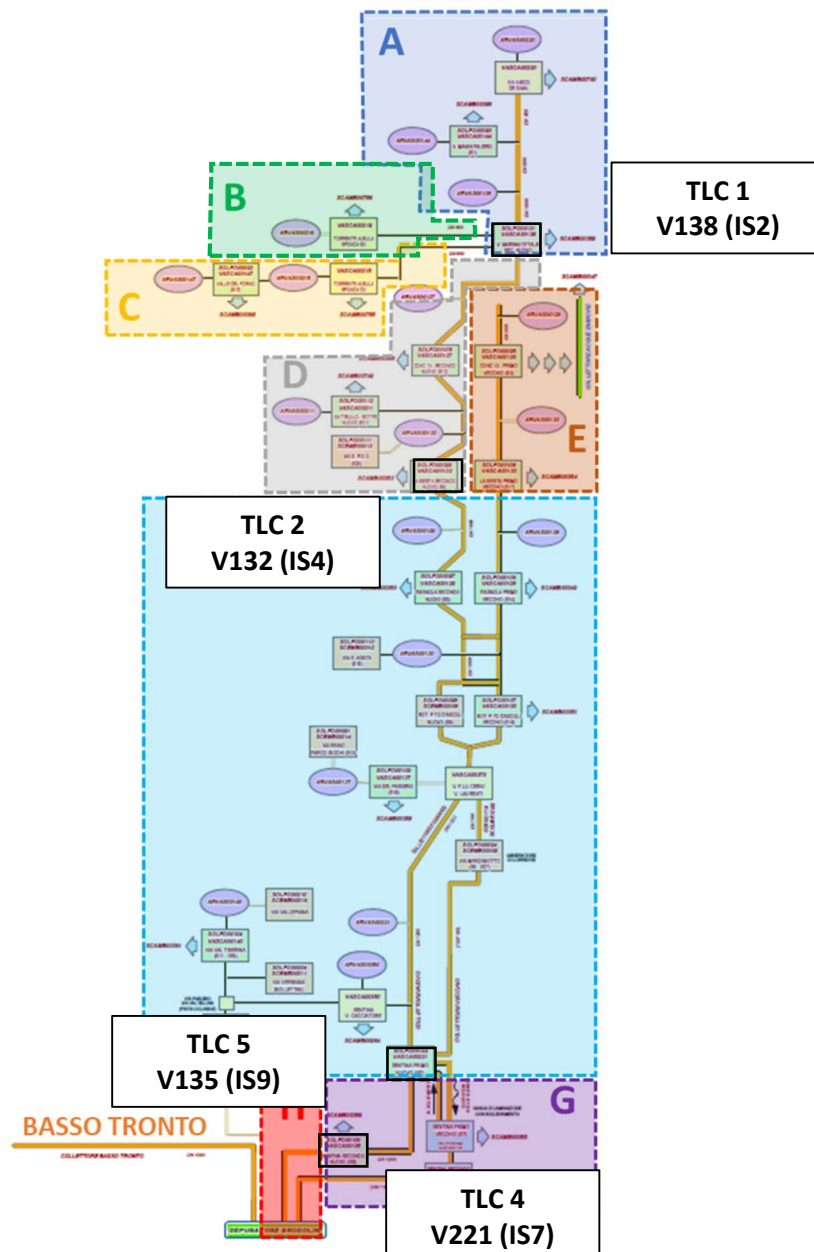


Figura 55 individuazione delle vasche con telecontrollo nel ramo costiero (rete semplificata)

I dati del telecontrollo trasmessi da CIIP spa contengono le seguenti informazioni:

- Livello [m] in vasca minuto per minuto

- Orario di accensione (ON) e spegnimento (OFF) delle pompe presenti nella vasca

Per i sollevamenti IS4 (V132), IS9(V135) si è svolta l'elaborazione dei picchi al fine di ricavare la portata effettivamente sollevata da ciascuna pompa, confrontata poi con le curve caratteristiche delle pompe indicate nelle schede Art.43 trasmesse da CIIP.

Si precisa che per le vasche IS2 (V138) e IS7 (V221) non è stato possibile fare la medesima elaborazione. Infatti, il sollevamento IS2 non ha una vasca di sollevamento a monte con cui confrontare i tempi di accensione e spegnimento delle pompe; mentre la VASCA00221 è dotata di un compattatore in ingresso, il quale determina un accumulo del flusso al suo interno. Ne segue che per questi due sollevamenti i dati delle portate sono stati ricavati dalle schede tecniche Art.43 fornite da CIIP spa.

L'elaborazione dei picchi è stata svolta applicando il seguente iter:

1) Individuazione dei giorni da analizzare:

Si sono scelti alcuni giorni sia per il periodo invernale (1° settembre – 31 maggio) che per il periodo estivo (1° giugno – 31 agosto). I giorni selezionati sono stati presi in condizione di tempo asciutto (assenza di precipitazioni) in modo da considerare la portata secca sollevata dalle pompe.

2) Costruzione degli andamenti orari del livello

Per ogni giorno sono stati costruiti gli andamenti orari del livello [m] dai dati del telecontrollo

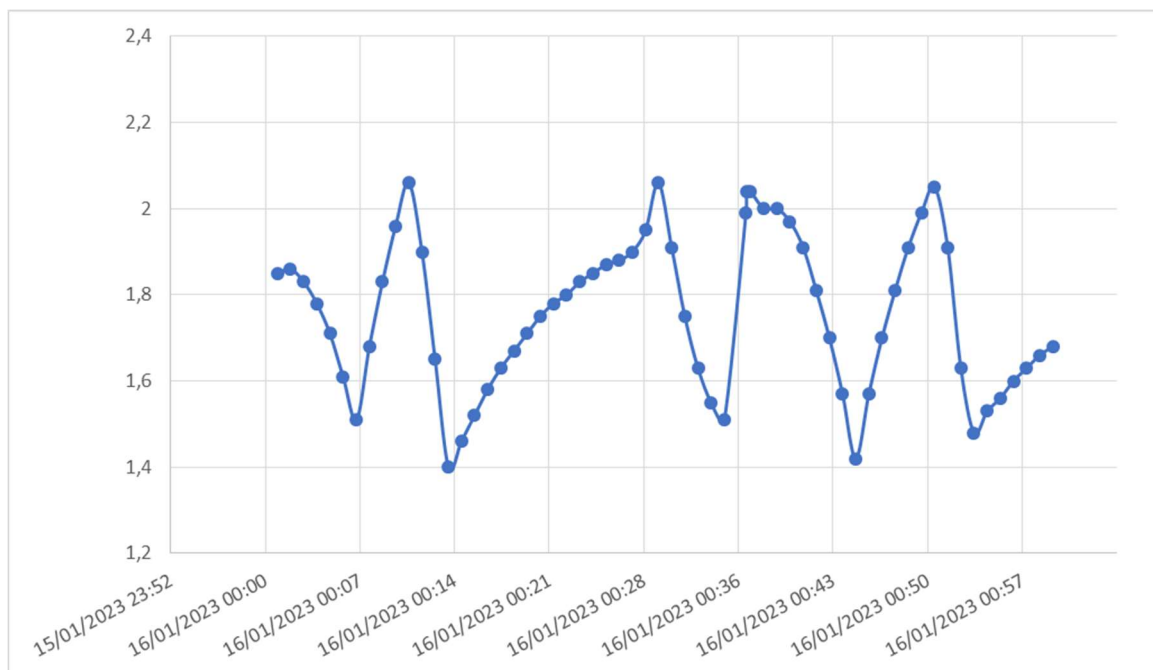


Figura 56 esempio di andamento orario (00:00-01:00) del livello nella vasca 135

3. Individuazione dei picchi da elaborare:

Per procedere all'elaborazione sono stati selezionati solo i picchi immediatamente successivi allo spegnimento delle pompe della stazione di sollevamento di monte in modo da essere sicuri che la portata in ingresso (Q_{IN}) sia costante. Per far ciò sono stati costruiti dei grafici per confrontare il livello della vasca di studio con il livello della vasca a monte e i rispettivi on-off delle pompe come mostrato nella seguente figura:

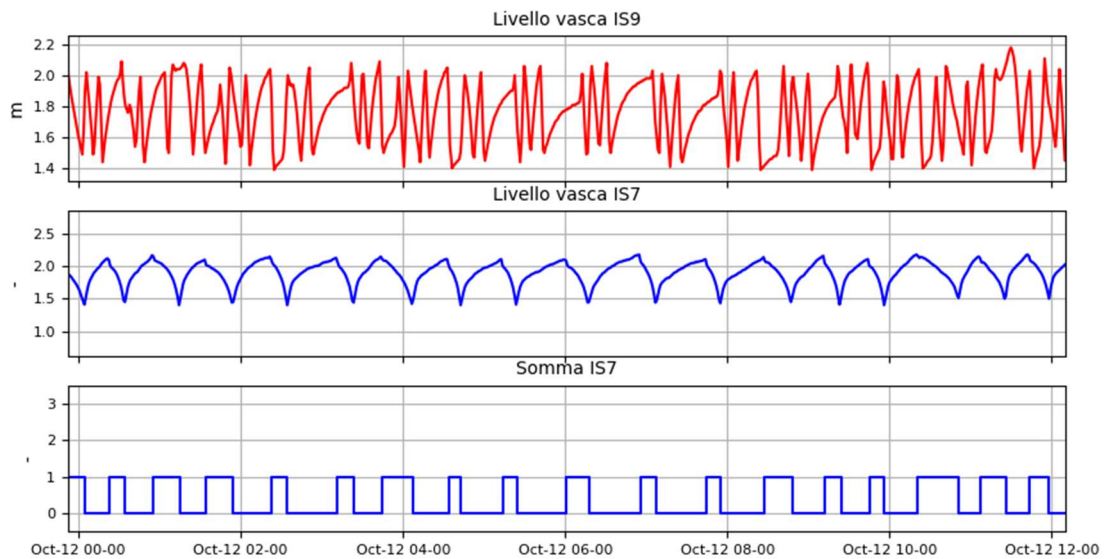


Figura 57 esempio di individuazione dei picchi da elaborare V135

Inoltre si sono scartati tutti quei picchi che non risultano simmetrici.

4. Calcolo delle portate sollevate da ogni pompa:

Il ramo di crescita e decrescita del picco rappresentano rispettivamente la quantità di acqua in ingresso e sollevata. Si sono ricavati i volumi in ingresso e sollevati in [m³] come prodotto tra l'area della vasca (A [m²]), ricavata dalle schede tecniche, e la differenza dei valori dei livelli nel ramo di crescita e di decrescita.

$$\Delta h = h_{max} - h_{min}$$

$$v = \Delta h \times A$$

Successivamente si è calcolata la portata in ingresso nella vasca Q_{IN} [m³/h] come rapporto fra il volume in ingresso durante il riempimento della vasca e il tempo di riempimento (ricavato dai dati ON/OFF della pompa trasmessi dal telecontrollo).

$$Q_{IN} = v_{in} \times t_{acc}$$

Si è calcolata la portata in uscita dalla vasca, ovvero quella sollevata dalle pompe Q_{OUT} [m³/h], come somma fra la portata in ingresso Q_{IN} e il prodotto fra il volume sollevato "vsoll" e il tempo di svuotamento "tsv".

$$Q_{OUT} = Q_{IN} + (v_{soll} \times t_{sv})$$

Tale analisi si è ripetuta per i diversi giorni scelti al fine di avere un quadro il più possibile completo sulle portate effettivamente sollevate da tutte le pompe installate nelle stazioni di sollevamento di interesse. A partire dalla media della portata sollevata da ciascuna pompa, si è costruita la curva di funzionamento in modo da ottenere la portata sollevata nel caso in cui si verifichi contemporaneità di lavoro delle pompe stesse.

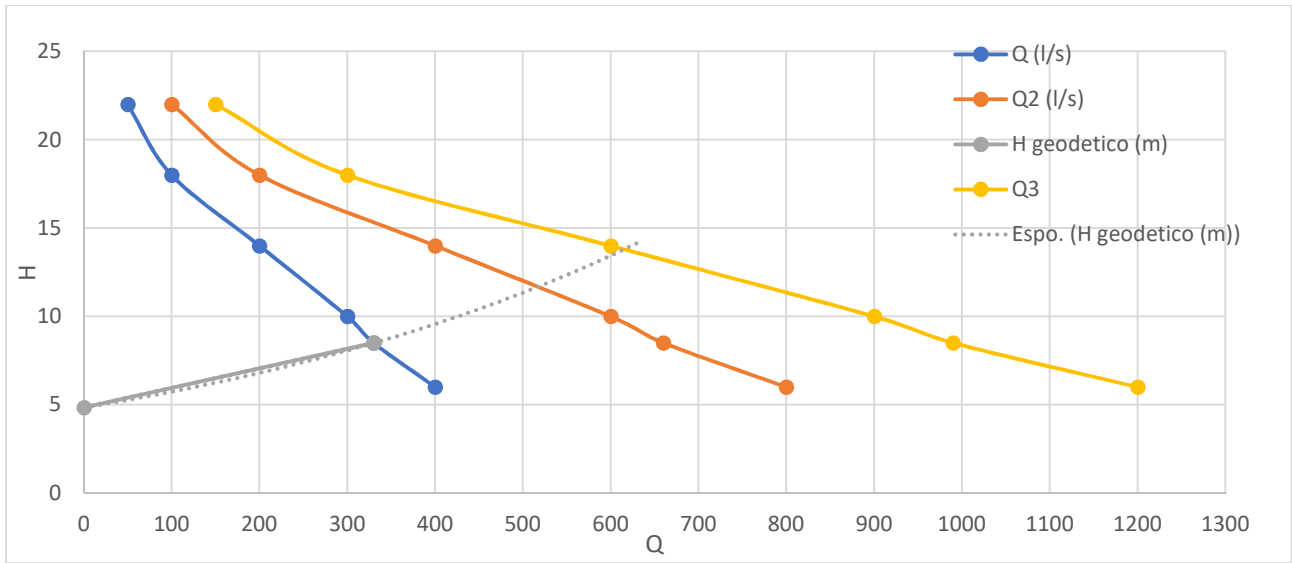


Figura 58 esempio di curva di funzionamento ricavata dall'elaborazione del telecontrollo per la V135 (IS9)

3.3.3 Verifica delle portate con Kaptor portatile

Per poter verificare le portate ricavate dall'elaborazione del telecontrollo della vasca132 si sono condotte delle misurazioni in alcuni punti specifici della rete in particolare nel tratto F tra IS4 (VASCA00132) e IS7(VASCA00221). Di seguito si elencano i punti dove sono state effettuate le misure:

- POZF100127 a valle della VASCA00132
- POZF100125 a valle della VASCA00132
- POZF100122 a valle della VASCA00129
- POZF100116 a valle della VASCA00129
- POZF100105 a valle della VASCA00129



Figura 59 posizione nel GIS dei pozzetti campionati

Lo strumento utilizzato è il Kaptor Multi sviluppato da B.M. Tecnologie Industriali. Si tratta di uno strumento di misura portatile che acquisisce e trasmette con intervalli da 1 minuto a 24 ore i seguenti parametri:

- Portata istantanea Q [l/s]
- Velocità istantanea V [m/s]
- Livello istantaneo L [m]
- Temperatura istantanea T [°C]
- Qualità istantanea QL [%]
- Tensione batteria Vbatt [V]

Una volta ottenuti i dati con intervallo di un minuto, è stato possibile verificare la portata sollevata da ciascuna pompa dell'impianto di sollevamento a monte dei pozzetti dove si sono fatte le misurazioni, confrontando i valori misurati in campo con quelli indicati nelle schede tecniche e/o derivante dall'elaborazione dei picchi.



Figura 60 Kaptor portatile utilizzato per le misurazioni



Figura 61 esempio di misure nel pozzetto POZF100127 (a valle di IS4)

3.4 Analisi qualitativa della rete fognaria

Per poter caratterizzare qualitativamente i flussi che transitano all'interno della rete e calibrare correttamente il modello costruito è stata effettuata, nel corso degli anni 2021,2022 e 2023, un'apposita campagna di misura. Per tener conto della variabilità stagionale sono stati effettuati 10 campionamenti nel periodo estivo e 9 nel periodo invernale. I punti di campionamenti sono stati scelti, come effettuato nell'analisi quantitativa, per caratterizzare i flussi delle otto macro aree individuate come riportato in figura.

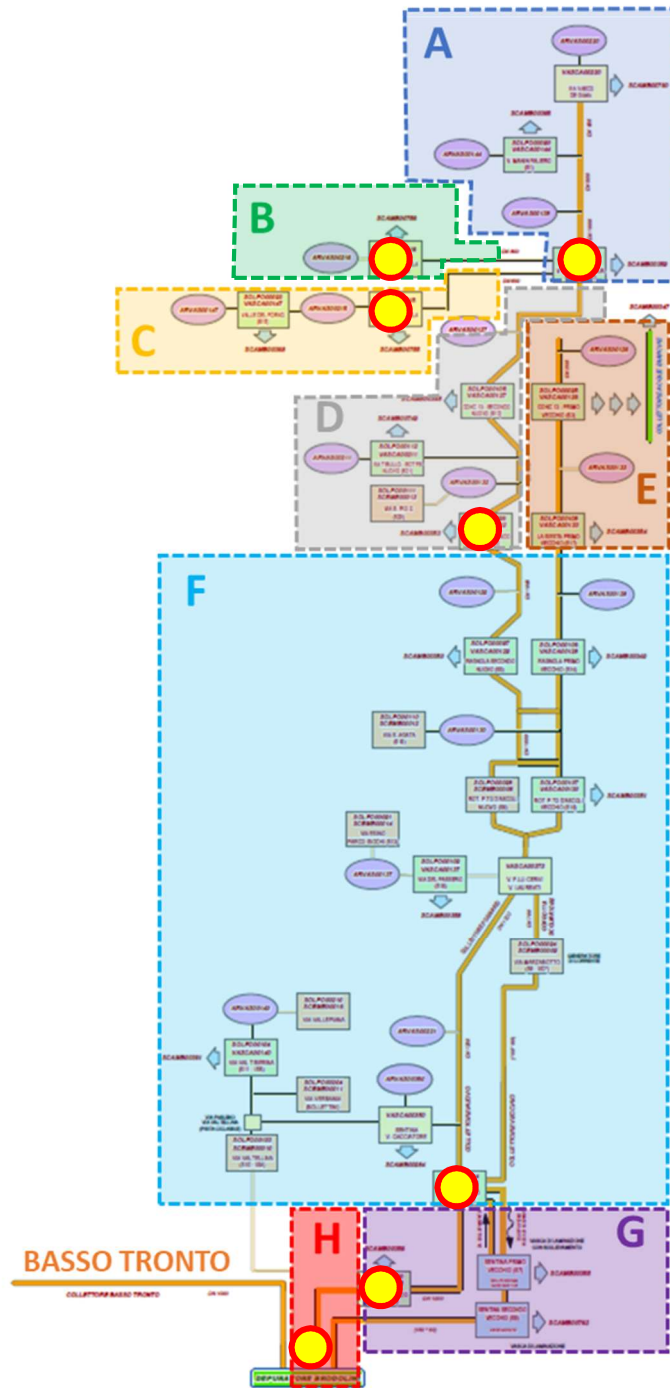


Figura 62 punti di campionamento individuati all'interno della rete

In particolare:

- A. Per il tratto A il campionamento è stato effettuato all'interno della stazione di sollevamento nella VASCA00138
- B. Per il tratto B il campionamento è stato effettuato all'interno della stazione di sollevamento nella VASCA00216 (ALBULA SX)
- C. Per il tratto C il campionamento è stato effettuato all'interno della stazione di sollevamento nella VASCA00215 (ALBULA DX)
- D. Per il tratto D il campionamento è stato effettuato all'interno del primo pozzetto a monte della VASCA00132
- F. Per il tratto F il campionamento è stato effettuato all'interno della stazione di sollevamento nella VASCA00221
- G. Per il tratto F il campionamento è stato effettuato all'interno della stazione di sollevamento nella VASCA00135
- H. Per il tratto H il campionamento è stato effettuato all'interno del sollevamento ad ingresso impianto



Figura 63 esempio di campionamento nella VASCA00138

Nelle seguenti tabelle si riportano i giorni dei campionamenti effettuati nei punti selezionati per il periodo estivo (01/06-31/08) e per il periodo invernale (01/09-31/05).

Tratto	Punto di campionamento	29/06/2021	27/07/2021	03/08/2021	19/08/2021	23/08/2021	22/06/2022	21/07/2022	16/08/2022	24/08/2022	13/06/2023
A	V138-IS2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
B	V216	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
C	V215	X	X	X	X	X	X	X	X	X	
D	V132-IS4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
F	V221-IS7	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
G	V135-IS9						X	X	X	X	
H	IS10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

Tabella 8 Giorni di campionamento nel periodo estivo

Tratto	Punto di campionamento	24/09/2021	21/10/2021	06/12/2021	18/01/2022	03/02/2022	10/03/2022	05/10/2022	03/04/2023
A	V138-IS2	X	X	X	X	X	X		
B	V216	X	X	X	X	X	X		
C	V215	X	X	X	X	X	X		
D	V132-IS4	X	X	X	X	X	X	X	
F	V221-IS7	X	X	X	X	X	X	X	X
G	V135-IS9			X	X	X	X		
H	IS10	X	X	X	X	X	X		

Tabella 9 Giorni di campionamento nel periodo invernale

I campioni prelevati sono stati trasportati e conservati secondo metodi standard e sono stati analizzati nel laboratorio UNIVPM. I parametri ricavati sono stati mediati tenendo conto delle variazioni orarie (seasonal) sia per il periodo invernale che per il periodo estivo.

Nelle seguenti tabelle si riportano i parametri ottenuti dalle analisi effettuate, suddivisi per periodo estivo e periodo invernale.

CAMPIONAMENTO ESTATE (Giugno-Agosto)								
Parametro	Numerazione	A (V138-IS2)	B (V216)	C (V215)	D (V132-IS4)	F (V221-IS7)	G (V135-IS9)	H (IS10)
	Δ AE	13967	4385	2068	2687	5840	0	0
pH	-	7,5	7,5	7,5	7,4	7,4	7,4	7,5
BOD5	mg/l	204	203	214	135	133	100	133
COD	mg/l	401	460	388	292	236	187	329
TKN	mg/l	67	78	68	54	49	45	59
Ntot	mg/l	67	78	72	54	52	45	64
TSS	mg/l	142	160	131	97	100	107	131
Ptot	mg/l	7	9	6	4	5	3	4
Cloruri	mg/l	132	95	119	185	192	241	229
E.Coli	UFC/100ml	8880975	5322055	5298978	6784262	6135032	7182163	3336299

Tabella 10 Risultati dell'analisi dei campionamenti per il periodo estivo

CAMPIONAMENTO INVERNO (Settembre-Maggio)								
Parametro	Numerazione	A (V138-IS2)	B (V216)	C (V215)	D (V132-IS4)	F (V221-IS7)	G (V135-IS9)	H (IS10)
	Δ AE	13967	4385	2068	2687	5840	0	0
pH	-	7,6	7,6	7,6	7,5	7,5	7,5	7,6
BOD5	mg/l	133	184	146	133	66	71	107
COD	mg/l	308	423	271	363	134	179	221
TKN	mg/l	60	74	55	55	33	34	41
Ntot	mg/l	60	74	55	55	34	41	41
TSS	mg/l	80	98	62	119	60	52	88
Ptot	mg/l	9	8	5	7	5	3	5
Cloruri	mg/l	160	124	153	100	118	112	182
E.Coli	UFC/100ml	3406066	5531850	7764941	2744722	2319716	2112653	1648971

Tabella 11 Risultati dell'analisi dei campionamenti per il periodo invernale

Dalle analisi effettuate emerge che, solo per il periodo invernale, nel punto di campionamento F la concentrazione dei parametri risulta essere inferiore rispetto al punto di campionamento D probabilmente a causa di problemi di sedimentazione in rete associati ad una riduzione delle portate (tratto legato prevalentemente al turismo).

Capitolo 4: Risultati e discussione

Si riportano in questo paragrafo i risultati ottenuti dall'analisi quali-quantitativi della rete ai fini della costruzione del bilancio di massa.

4.1 Risultati Kaptor Mini

L'elaborazione dei dati trasmessi dal kaptor è stata effettuata per il periodo Agosto 2021 – Settembre 2023, distinguendo tra periodo estivo (1° Giugno – 31 Agosto) e invernale (1° Settembre – 31 Maggio), come descritto nel paragrafo 3.3.1.

Kaptor ALBULA DX V215

Durante il periodo di analisi, la misura della portata non è stata costante nel tempo a causa del frequente sporcamento del misuratore a scarpetta; per cui in data 11/04/2022 e 16/09/2022 si è provveduto alla sostituzione del sensore. Per il bilancio sono stati considerati i valori di portata misurati dallo strumento dopo la sostituzione del sensore in data 11/04/2022, periodo di continuità nelle misure.

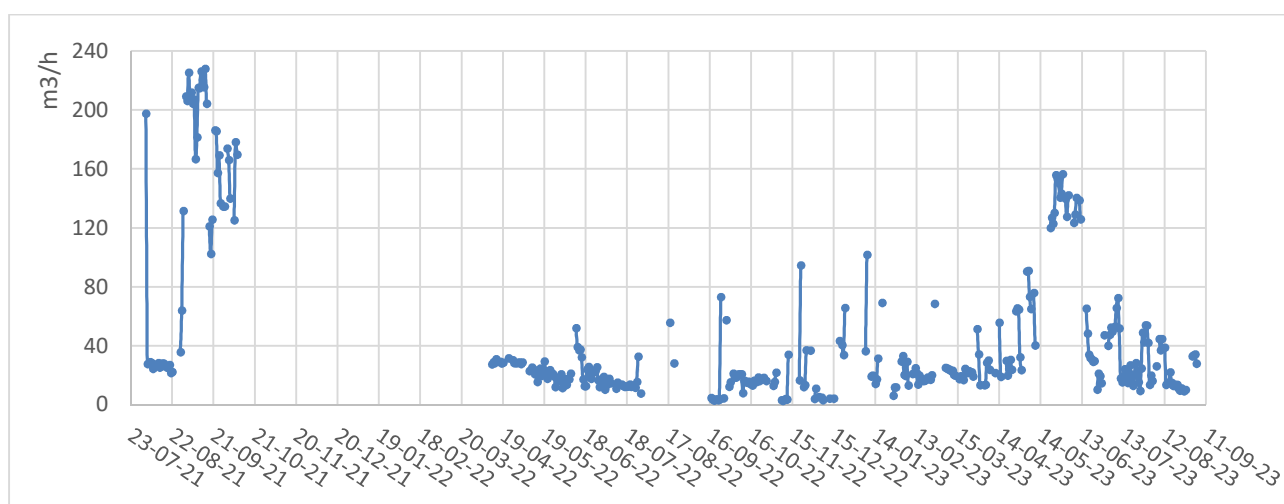


Figura 64 grafico andamento della portata misurata dal Kaptor ALBULA DX

Qsecca media	
m3/h	m3/d
31	755
31	742

Tabella 12 Risultati Kaptor ALBULA DX

Kaptor V138

Il Kaptor installato nella vasca V138, ha richiesto la necessità di una pulizia frequente a causa dello sporco del sensore. Inoltre, Per il bilancio sono stati considerati i valori di portata medi del periodo invernale, mentre per il periodo estivo sono stati considerati i valori di portata relativi solo ad alcuni giorni in cui i risultati sono più affidabili.

Di seguito si mostrano i risultati per il periodo invernale e per i giorni scelti come rappresentativi del periodo estivo.

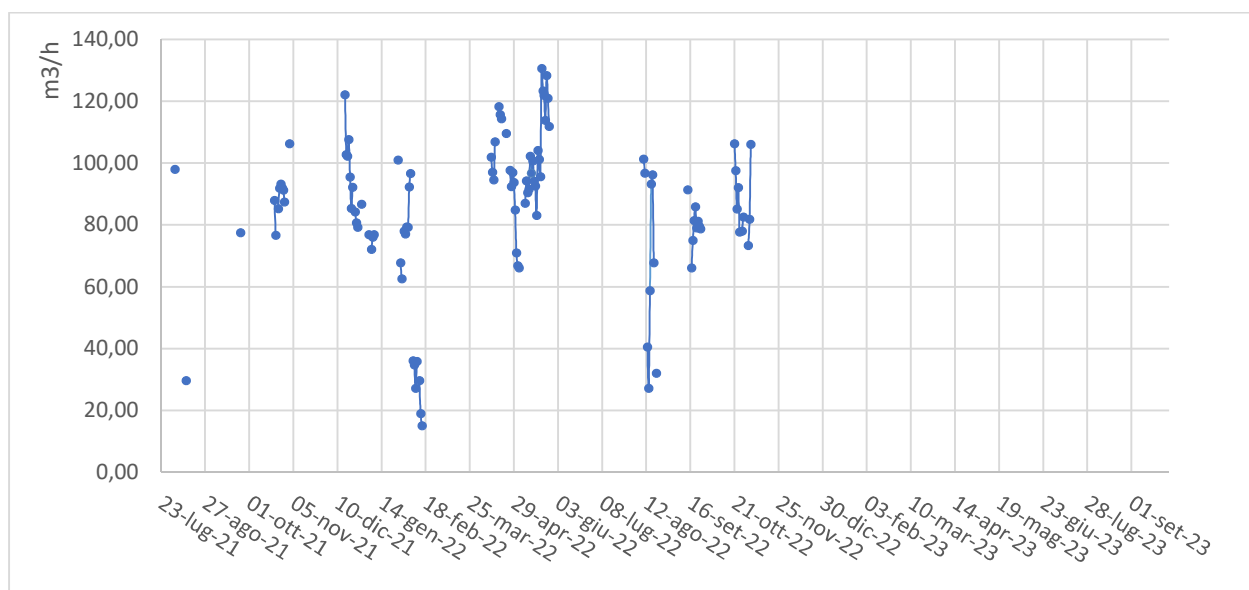


Figura 65 grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V138

Qsecca media	
m3/h	m3/d
87	2092

Tabella 13 risultati Kaptor V138 per il periodo invernale

ESTATE (valori "affidabili")	h (mm)	Q kaptor (m3/h)
3-ago-21	143,50	97,96
10-ago-22	108,53	101,22
11-ago-22	99,10	96,69
16-ago-22	115,67	93,22
17-ago-22	118,33	96,22
MEDIA (m3/h)		97
MEDIA (m3/d)		2330

Tabella 14 risultati Kaptor V138 per il periodo estivo

Kaptor V132

Il Kaptor installato nella vasca V138, ha richiesto la necessità di una pulizia frequente a causa dello sporco del sensore. Si precisa che i risultati del Kaptor installato nella vasca V132 sono stati utilizzati solo come confronto con i dati del telecontrollo. Dal confronto emerge che i dati del telecontrollo risultano maggiori rispetto a quelli misurati dal Kaptor.

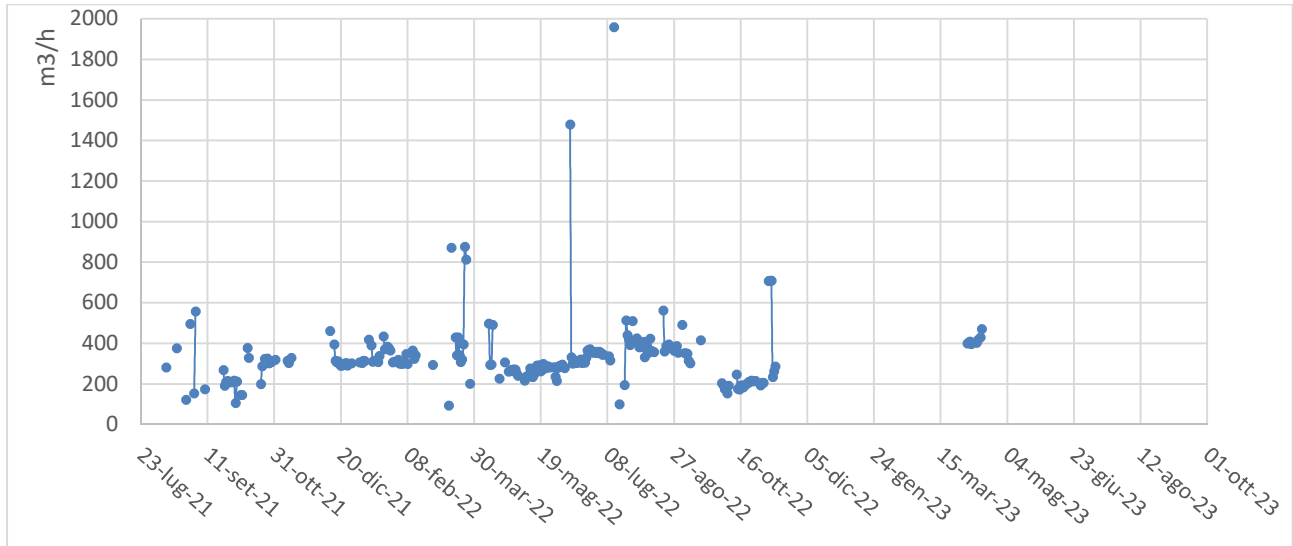


Figura 66 grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V132

Qsecca media	
m3/h	m3/d
389	9342
306	7354

Figura 67 Risultati Kaptor V132

Kaptor V221

I dati trasmessi dal kaptor installato nella vasca V221 sono risultati molto altalenanti nel tempo a causa di frequenti problemi di sporcamento. Ne segue che ai fini del bilancio sono stati considerati solo i valori misurati dopo la sostituzione del sensore avvenuta in data 11/04/2022. In particolare, per i periodo estivo sono stati considerati accettabili valori di portata misurati tra il 1/06/2022 e il 20/06/2022 (prima della decrescita), mentre per il periodo invernale quelli tra aprile e maggio. Di seguito si riportano i risultati ottenuti.

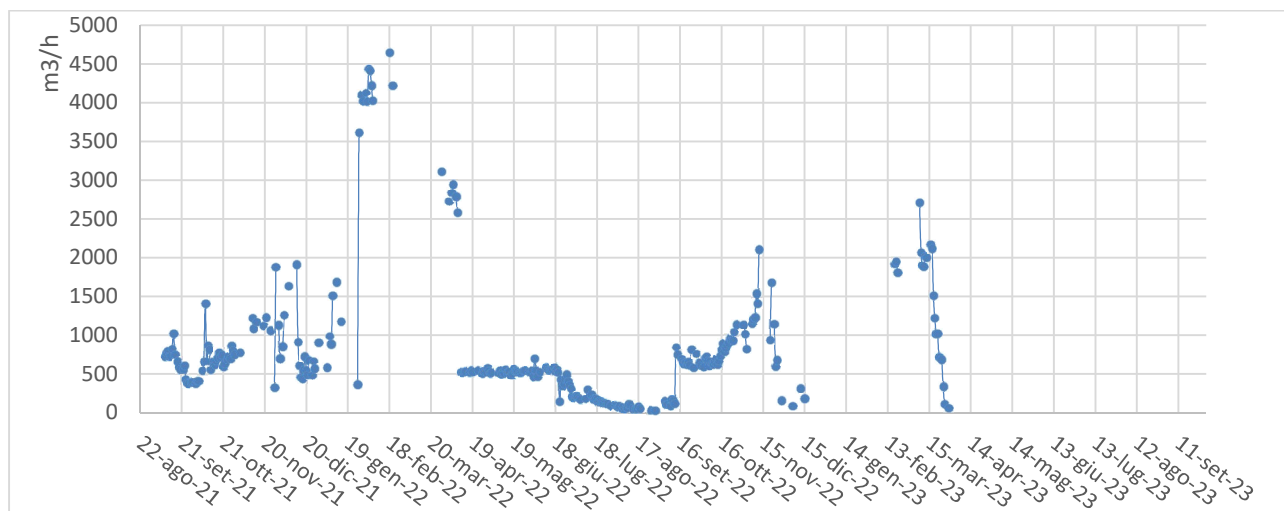


Tabella 15 grafico andamento della portata misurata dal Kaptor V221

<i>Qsecca media</i>	
m3/h	m3/d
550	13192
526	12613

Tabella 16 Risultati Kaptor V221

Si precisa che i risultati del Kaptor V221 sono stati utilizzati solo come confronto con i dati del telecontrollo. Dal confronto emerge che i risultati ottenuti sono in linea con quelli del telecontrollo.

4.2 Risultati Telecontrollo

Si riportano i risultati dell'elaborazione dei dati del telecontrollo già descritti nel paragrafo 3.3.2 per il periodo invernale (1° settembre – 31 maggio) e per il periodo estivo (1° giugno – 31 agosto).

V138 – IS2

Per il sollevamento IS2 non è stato possibile fare l'elaborazione dei picchi dal momento che non è presente una vasca a monte con cui confrontare l'accensione e lo spegnimento delle pompe. Si è deciso quindi di utilizzare i valori ricavati dalla scheda tecnica dell'art. 43 della vasca V138 forniti da CIIP. All'interno dell'impianto sono presenti due pompe che lavorano in parallelo e due di riserva.

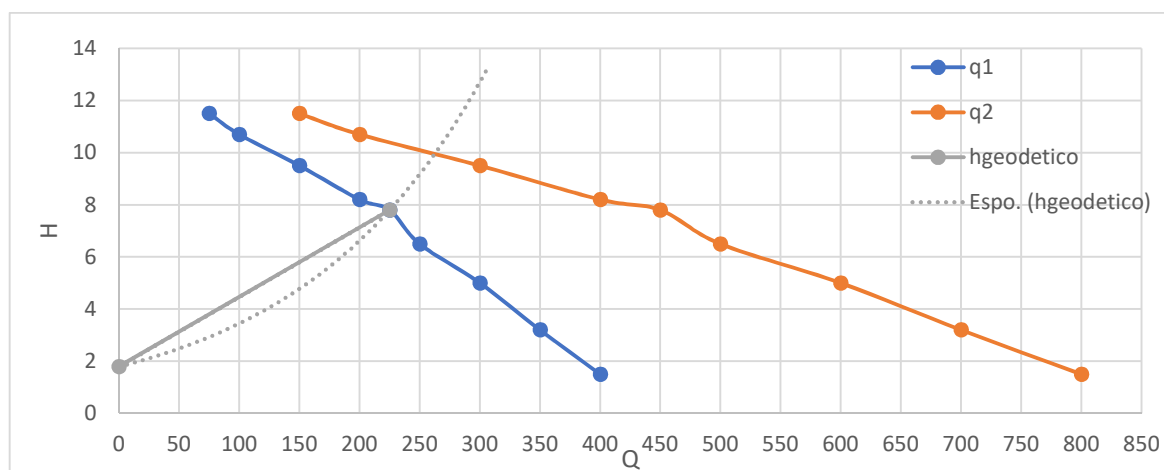


Figura 68 Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V138

P3	1 pompa	225	l/s
P4	2 pompe	260	l/s
	3 pompe	225	l/s

Tabella 17 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V138

Sulla base delle portate sollevate ottenute si sono calcolate le portate medie nel periodo secco in m3/d.

ESTATE	INVERNO
m3/d	m3/d
5785	5564

Tabella 18 Risultati portata media secca V138

V132 – IS4

Per la vasca IS4 è stato possibile applicare l'elaborazione dei picchi descritta nel paragrafo 3.3.2. In particolare, sono stati analizzati 21 giorni di cui 13 nel periodo invernale e 8 nel periodo estivo, i cui risultati ottenuti sono riportati nelle tabelle seguenti. Si evidenzia che le portate medie sollevate da ciascuna pompa sono state ottenute come media pesata sui tempi di accensione di tutti i giorni analizzati.

	Q sollevata l/s			
	P1	P2	P3	P4
27/05/2021	-	-	-	-
13/06/2021	-	-	-	-
07/07/2021	-	-	-	-
01/08/2021	-	-	-	-
16/08/2021	-	-	214	-
16/09/2021	-	-	195	-
20/10/2021	-	112	-	115
14/11/2021	-	-	-	112
16/12/2021	232	111	-	-
22/12/2021	-	117	-	125
05/02/2022	246	78	-	-
19/03/2022	224	96	-	-
03/05/2022	-	-	-	-
22/06/2022	205	-	-	-
01/07/2022	230	244	239	-
06/07/2022	219	242	224	-
24/07/2022	-	-	-	-
10/08/2022	-	256	218	-
31/08/2022	259	245	228	-
14/09/2022	221	238	209	-
23/09/2022	221	230	226	-
21/10/2022	233	228	191	-
12/11/2022	225	276	219	-
23/12/2022	228	243	-	-
16/01/2023	234	245	-	-
MEDIA	229	197	216	117
INVERNO	231	139	204	117
ESTATE	205	-	-	-

	tempo accensione s			
	P1	P2	P3	P4
27/05/2021	-	-	-	-
13/06/2021	-	-	-	-
07/07/2021	4055	49641	3265	0
01/08/2021	14340	38150	3675	0
16/08/2021	4421	53410	3384	0
16/09/2021	1971	23091	1784	38041
20/10/2021	5804	27001	4525	20644
14/11/2021	6219	23444	5519	22072
16/12/2021	7140	21641	7385	0
22/12/2021	7568	21412	6549	23532
05/02/2022	9695	40109	12302	0
19/03/2022	9255	33552	9653	0
03/05/2022	2959	58977	2631	0
22/06/2022	10997	9927	10194	0
01/07/2022	11416	10396	11391	0
06/07/2022	11807	9726	10597	0
24/07/2022	14008	11326	13153	0
10/08/2022	13148	11597	13389	0
31/08/2022	14299	9645	13389	0
14/09/2022	10811	9507	11383	0
23/09/2022	12202	8574	13381	0
21/10/2022	7576	7915	12661	0
12/11/2022	9544	7335	10174	0
23/12/2022	16677	14773	0	0
16/01/2023	14592	12677	0	0
MEDIA	9587	22340	7843	4534
tempo medio d'accensione	22%	50%	18%	10%

Tabella 19 Risultati elaborazione del telecontrollo condotta per la vasca V132

P1,P2,P3,P4	1 pompa	200	l/s
-------------	----------------	------------	------------

Tabella 20 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata dall'elaborazione dei picchi V132

Dai risultati della campagna di misure condotta tramite Kaptor portatile, descritta nel paragrafo 3.3.3, risulta che la portata sollevata da una pompa è pari a 230 l/s. I risultati ricavati dall'elaborazione sono in linea con questo risultato. Ne segue dunque che ai fini del bilancio sono stati utilizzati i dati riportati nella scheda Art.43, in quanto validati dalle misure in campo.

Di seguito si riportano i valori di portata sollevata da ciascuna pompa ricavati dalla scheda tecnica della V132 e di portata media secca in m3/d considerati per il bilancio.

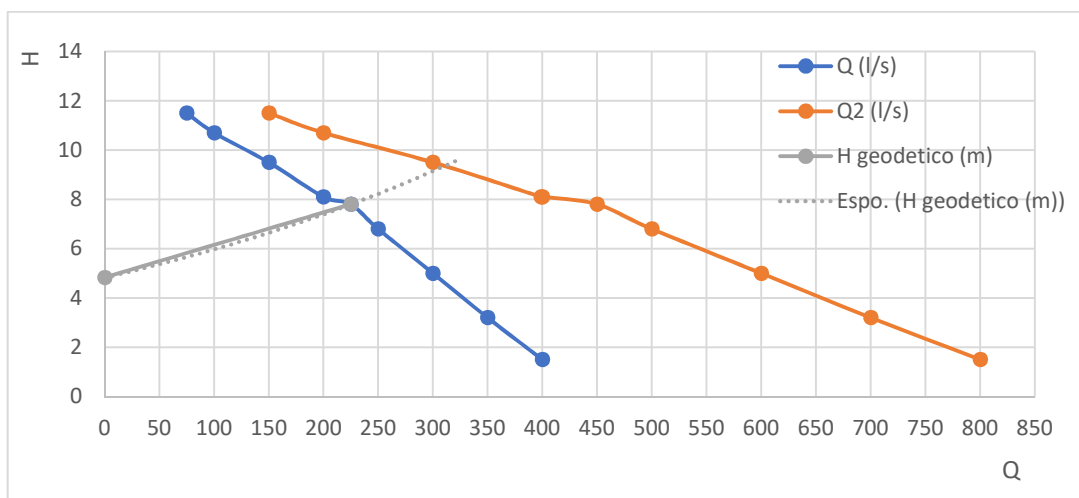


Figura 69 Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V132

1 pompa	225	l/s
2 pompe	310	l/s

Tabella 21 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V132

ESTATE	INVERNO
m3/d	m3/d
11347	11004

Tabella 22 Risultati portata media secca V132

V221 – IS7

La VASCA00221 è dotata di un compattatore in ingresso come mostrato in figura. Si evidenzia che dall'analisi dei livelli in vasca ottenuti dai dati del telecontrollo, emerge che il livello all'interno della stessa è influenzato dall'accumulo nel compattatore di monte. Ne segue l'impossibilità dell'applicazione del metodo dei picchi al fine della determinazione dell'effettiva portata sollevata da ogni pompa. Dunque, si è fatto riferimento ai dati ricavati dalla scheda tecnica fornita da CIIP spa.

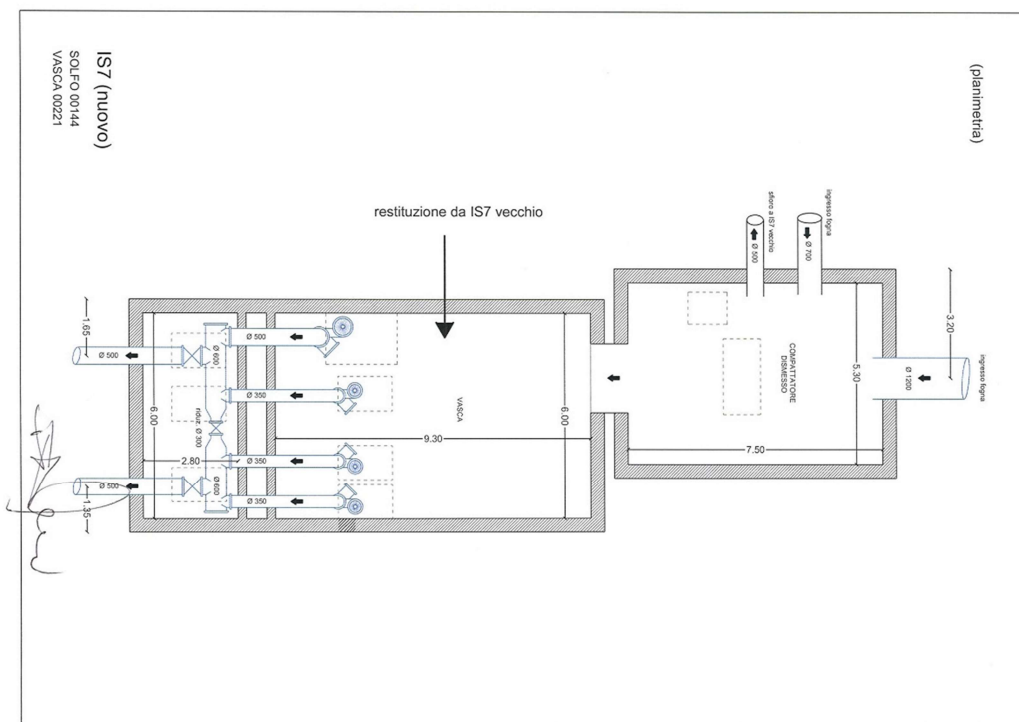


Figura 70 planimetria V221

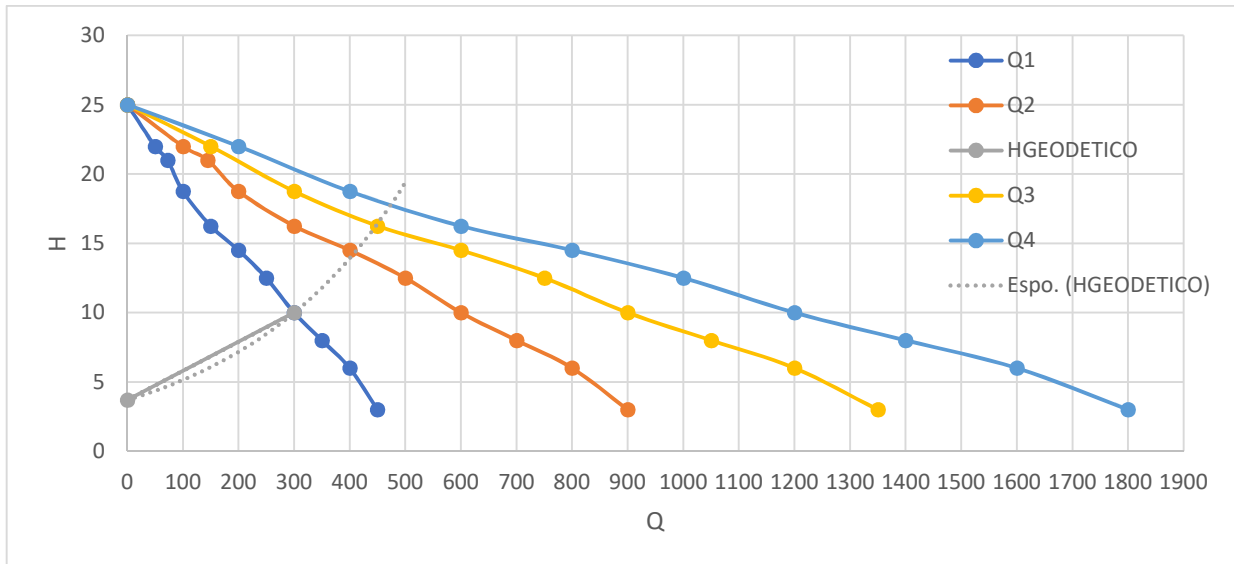


Figura 71 Grafico portata-prevalenza ricavato dalla scheda tecnica Art.43 V221

P1	1 pompa	300	l/s
P2	2 pompe	410	l/s
P3	3 pompe	450	l/s
P4	4 pompe	470	l/s

Tabella 23 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata da scheda tecnica Art.43 V221

ESTATE	INVERNO
m3/d	m3/d
14243	11617

Tabella 24 Risultati portata media secca V221

Si evidenzia che i risultati del telecontrollo risultano in linea con quelli ricavati dal Kaptor V221.

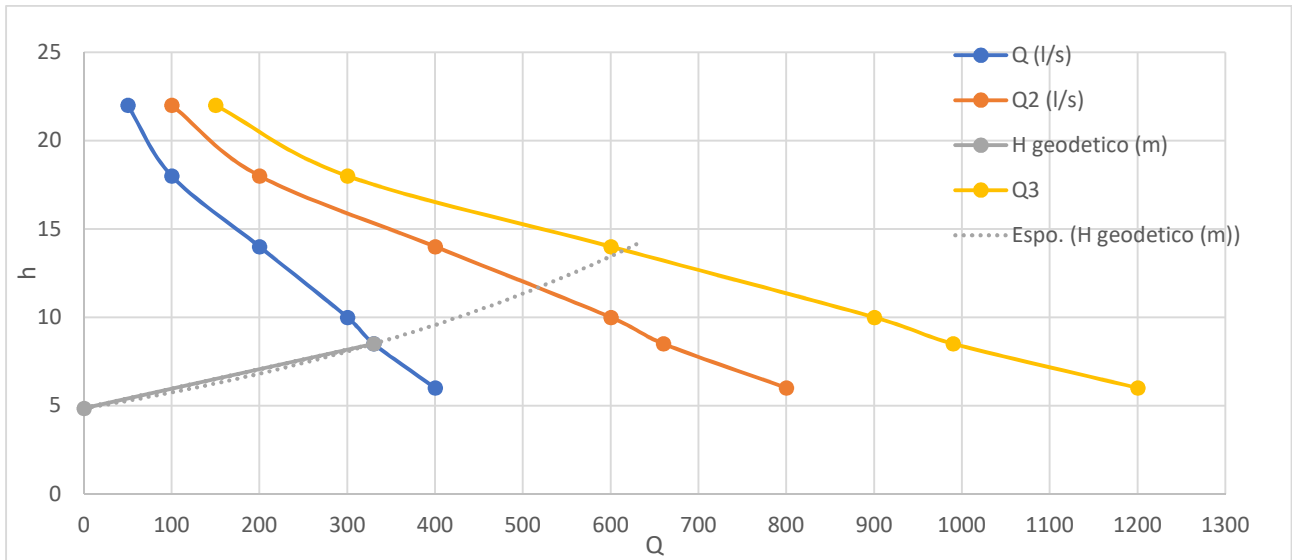
V135 – IS9

Per il sollevamento IS9 è stato possibile applicare l'elaborazione dei picchi. In particolare, sono stati analizzati 25 giorni di cui 16 nel periodo invernale e 9 nel periodo estivo, i cui risultati sono riportati in figura.

	Q sollevata l/s			
	P1	P2	P3	P4
10/05/2021	254	-	-	337
27/05/2021	249	-	-	296
13/06/2021	228	-	-	290
07/07/2021	230	-	-	297
01/08/2021	216	-	-	312
16/09/2021	220	227	-	303
20/10/2021	255	255	-	291
14/11/2021	-	289	414	307
16/12/2021	-	301	416	291
22/12/2021	-	317	427	285
05/02/2022	-	323	358	312
19/03/2022	-	354	356	309
03/05/2022	-	276	-	315
07/06/2022	-	270	386	305
22/06/2022	-	317	450	313
06/07/2022	-	344	426	332
24/07/2022	-	290	-	267
10/08/2022	-	284	360	322
31/08/2022	248	285	-	297
23/09/2022	290	252	-	324
12/10/2022	299	260	-	260
21/10/2022	254	279	-	315
12/11/2022	271	271	-	266
16/01/2023	-	277	-	287
31/01/2023	269	275	-	306
MEDIA	253	287	399	301
INVERNO	262	277	404	299
ESTATE	231	298	405	304

Tabella 25 Risultati elaborazione del telecontrollo condotta per la vasca V135

Dai risultati emerge che presumibilmente le pompe P1, P2 e P3 sono le medesime per cui ai fini del bilancio è stato preso in considerazione la media delle portate massime sollevate di ciascuna pompa. La pompa P3 lavora con una portata sollevata maggiore e anche in tal caso, ai fini del bilancio, si è considerato il massimo valore di portata sollevata. Di seguito si mostrano i risultati ottenuti.



P1,P2,P4	1 pompa	330	l/s
	2 pompe	520	l/s
	3 pompe	620	l/s
P3		450	l/s

Tabella 26 Risultati portata sollevata dalle pompe ricavata dall'elaborazione dei picchi per la V135

ESTATE	INVERNO
m3/d	m3/d
14595	11742

Tabella 27 Risultati portata media secca V135

4.3 Bilancio di massa

A partire dai risultati quali-quantitativi descritti nei paragrafi precedenti, si è costruito il bilancio di massa.

Per ogni macro-area (A, B, C, D, F, G) definita nel paragrafo 3.3, sono stati calcolati gli abitanti equivalenti [AE] teorici come differenza tra gli AE associati alla vasca della macro area in questione e gli AE associati alla vasca di chiusura della macro area precedente.

Da un punto di vista quantitativo, sono stati utilizzati i risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati del telecontrollo e dei kaptor:

- Per il tratto A la portata è stata ricavata come differenza tra quella misurata in corrispondenza della vasca V138 (IS2), ricavata dal telecontrollo, e il contributo di portata dei tratti B e C (misurata dal kaptor);
- Per il tratto B la portata è stata calcolata come differenza tra quella ricavata dai risultati dell'analisi del Kaptor installato a monte della vasca V138 e quella ricavata dall'analisi del Kaptor installato nella vasca ALBULA DX;
- Per il tratto C sono stati considerati i risultati ricavati dall'elaborazione del Kaptor installato nella vasca ALBULA DX;
- Per il tratto D la portata è stata ottenuta come differenza tra le portate di IS4 e IS2, ricavate dal telecontrollo;
- Per il tratto F la portata è stata calcolata come differenza tra le portate di IS7 (V221) e IS2 (V132), ricavate dal telecontrollo;
- Per il tratto G la portata è stata calcolata come differenza tra le portate di IS9 e IS7, ricavate entrambe dall'analisi dei dati del telecontrollo;

Da un punto di vista qualitativo, si sono caratterizzate le macro-aree in termini di concentrazioni [mg/l] di BOD5, COD e Ntot, come differenza dei carichi di massa. Solo per i tratti B e C non è stato necessario determinare le concentrazioni da calcolo in quanto a disposizione i risultati della campagna di campionamento svolta proprio in corrispondenza di entrambe le vasche (vedi paragrafo 3.4). Inoltre, si evidenzia che per i tratti F e G sono state utilizzati direttamente i risultati ottenuti dalla campagna di analisi.

Successivamente sono stati calcolati i carichi di massa L_{BOD5} , L_{COD} e L_{Ntot} [kg/d] come prodotto tra la portata media [m³/d] e le concentrazioni [mg/l] per ogni tratto.

Utilizzando i fattori di carico unitario f_{cu} [kg/AE/d] per i parametri di BOD5 (pari a 0,06 kg/AE/d), di COD (pari a 0,12 kg/AE/d) e di Ntot (pari a 0,012 kg/AE/d) sono stati ricavati gli AE effettivi come rapporto tra la concentrazione di ogni tratto e il fattore di carico unitario di riferimento, i quali sono risultati in linea con quelli teorici

Infine, sono state ricavate le portate specifiche [l/AE/d] per BOD5, COD e Ntot associate ad ogni tratto, calcolate come rapporto tra la portata media e gli AE effettivi.

Si riportano nelle tabelle seguenti i risultati ottenuti per il periodo estivo e per il periodo invernale.

ESTATE		B	C	A	D	F	G
	AE	4.578	2.133	13.981	13.199	25.244	0
Portate medie	Q (m3/d)	1.575	755	3.456	5.562	2.855	352
Concentrazione medie (mg/l)	BOD5 (mg/l)	203	214	203	63	124	100
	COD (mg/l)	460	388	377	179	292	187
	Ntot (mg/l)	78	72	62	40	44	45
Carichi di massa medi	BOD5 (kg/d)	320	161	700	352	354,7	35,3
	COD (kg/d)	725	293	1.302	997	834,4	65,8
	Ntot (kg/d)	123	54	213	222	125,5	15,8
Abitanti equivalenti basse concentrazioni	AE BOD5	5.340	2.686	11.668	5.861	5.912	588
	AE COD	6.039	2.440	10.851	8.307	6.954	549
	AE Ntot	10.210	4.540	17.717	18.530	10.460	1.321
Portata specifiche basse concentrazioni	Qs BOD5 (l/AE/d)	295	281	296	949	483	599
	Qs COD (l/AE/d)	261	309	318	670	411	642
	Qs Ntot (l/AE/d)	154	166	195	300	273	267

Tabella 28 Risultati finali bilancio di massa per il periodo estivo

INVERNO		B	C	A	D	F	G
	AE	4.578	2.133	13.981	13.199	25.244	0
Portate medie	Q (m3/d)	1.350	742	3.472	5.440	531	125
Concentrazione medie (mg/l)	BOD5 (mg/l)	184	146	110	134	66	71
	COD (mg/l)	423	271	272	419	134	179
	Ntot (mg/l)	74	55	55	49	34	41
Carichi di massa medi	BOD5 (kg/d)	248	108	382	728	35	9
	COD (kg/d)	572	201	943	2.280	71	22
	Ntot (kg/d)	100	41	192	269	18	5
Abitanti equivalenti basse concentrazioni	AE BOD5	4.139	1.801	6.374	12.127	581	149
	AE COD	4.764	1.674	7.861	19.003	593	187
	AE Ntot	8.314	3.394	16.014	22.404	1.489	430
Portata specifiche basse concentrazioni	Qs BOD5 (l/AE/d)	326	412	545	449	914	839
	Qs COD (l/AE/d)	283	443	442	286	895	670
	Qs Ntot (l/AE/d)	162	219	217	243	356	291

Tabella 29 Risultati finali bilancio di massa per il periodo invernale

Sia per il periodo invernale sia per quello estivo, il bilancio risulta calibrato in IS9 (punto di chiusura). In termini di portata l'errore %, calcolato come rapporto tra la differenza (Δ) delle portate sollevate dalle vasche IS9 e IS7 e la portata sollevata da IS7, risulta minimo sia per il periodo estivo sia per quello invernale. In termini di carichi di massa, gli errori % risultano sempre piuttosto bassi, con valori leggermente superiori in termini di COD, ma comunque accettabili.

ESTATE	Δ	ERRORE	INVERNO	Δ	ERRORE
Q (m3/d)	352	2%	Q (m3/d)	125	1%
L BOD5 (kg/d)	-432	-23%	L BOD5 (kg/d)	76	10%
L COD (kg/d)	-1433	-34%	L COD (kg/d)	544	35%
L Ntot (kg/d)	-82	-11%	L Ntot (kg/d)	92	24%

Tabella 30 Risultati ottenuti per la chiusura del bilancio

Conclusioni e sviluppi futuri

In questo elaborato di tesi si è completata l'elaborazione dei dati quantitativi e qualitativi, condotta per la rete fognaria di San Benedetto del Tronto. Le elaborazioni svolte si sono rese necessarie ai fini della calibrazione del bilancio di massa, con punto di chiusura in IS9 (macro-area G).

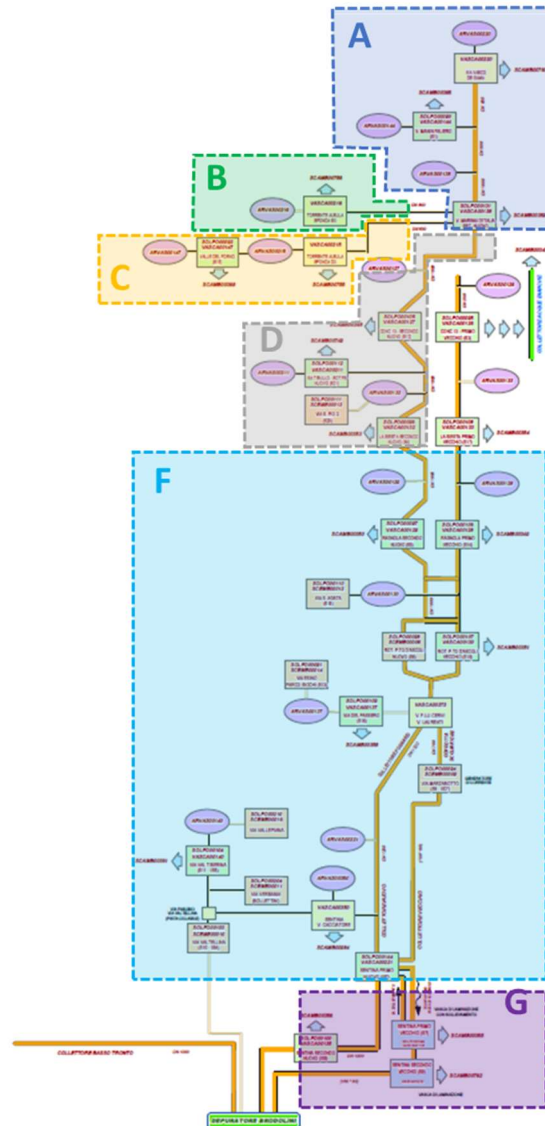


Figura 72 Suddivisione della rete fognaria

Inoltre, sono state calcolate per ogni tratto individuato le portate specifiche $[l/AE/d]$, necessarie ai fini dell'ultimazione del modello SWMM.

ESTATE		B	C	A	D	F	G
	AE	4.578	2.133	13.981	13.199	25.244	0
Portata specifiche basse concentrazioni	Qs BOD5 (l/AE/d)	295	281	296	949	483	599
	Qs COD (l/AE/d)	261	309	318	670	411	642
	Qs Ntot (l/AE/d)	154	166	195	300	273	267
INVERNO		B	C	A	D	F	G
	AE	4.578	2.133	13.981	13.199	25.244	0
Portata specifiche basse concentrazioni	Qs BOD5 (l/AE/d)	326	412	545	449	914	839
	Qs COD (l/AE/d)	283	443	442	286	895	670
	Qs Ntot (l/AE/d)	162	219	217	243	356	291

Tabella 31 portate specifiche ricavate dal bilancio di massa

Si evidenzia che nel modello verranno applicate le portate specifiche su base azoto, in quanto maggiormente rappresentative ed in linea con quelle tipiche della letteratura convenzionale con contributi prevalenti a carattere domestico.

I risultati ottenuti dunque dal presente lavoro di tesi risultano necessari ai fini della calibrazione del modello quali-quantitativo SWMM al fine di individuare gli scolmatori maggiormente critici sia da un punto di vista qualitativo che quantitativo. Al fine di finalizzare quanto previsto, risulterà necessaria l'implementazione di diversi scenari di simulazione con conseguente valutazione degli impatti associati agli scolmatori di piena e l'individuazione dei relativi scenari di mitigazione.

FONTI UTILIZZATE

Bibliografia

Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato, 917/2017/R/IDR, ARERA, 2017

Piano di Tutela della Regione Marche DACR n.145 26/01/2010, PTA Regione Marche, 2010

Norme in materia ambientale, D.lgs. n°152 03/04/2006, 2006

Relazione Triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi marino costieri della Regione Marche, ARPAM, Ottobre 2021

Relazione Triennale 2018-2020 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della Regione Marche, ARPAM, Ottobre 2021

Corso di Costruzioni Idrauliche, Prof. Darvini Giovanna, A.A. 2020 – 2021, UNIVPM - Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Architettura

SCARICATORI DI PIENA Meccanismi di funzionamento ed indicazioni progettuali, Prof. Corrado Gisonni, Dipartimento di Ingegneria Università degli Studi della Campania «L. Vanvitelli»

KAPTOR MINI – Manuale utente – V0.2, B.M. TECNOLOGIE INDUSTRIALI s.r.l.

Sensori Doppler idoneo per KAPTOR MINI – BJONG Manuale Utente, B.M. TECNOLOGIE INDUSTRIALI s.r.l.

Manuale di Istruzioni per l'Installazione di Sensori Doppler e a Correlazione, NIVUS GmbH, distribuito da B.M. TECNOLOGIE INDUSTRIALI s.r.l.

Technical Instructions of Doppler Sensors, NIVUS GmbH

KAPTOR MULTI – DataSheet, B.M. TECNOLOGIE INDUSTRIALI s.r.l.

Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1, US EPA, 2015

Storm Water Management Model Reference Manual. Volume II – Hydraulics, US EPA, 2017

A review of combined sewer overflows as a source of wastewater-derived emerging contaminants in the environment and their management, Bruce Petrie, 2021

A critical review on best practice and innovative solutions to mitigate impacts on environment and human health, Alice Botturi, E. Gozde Ozbayram, Katharina Tondera, Nathalie I. Gilbert, Pascale Rouault, Nicolas Caradot, Oriol Gutierrez, Saba Daneshgar, Nicola Frison, Çağrı Akyol, Alessia Foglia, Anna Laura Eusebi & Francesco Fatone, 2020

Soluzioni Naturalistiche (NBS) per la città metropolitana di Milano, Lorenzo Bono, Marco Callerio, Giulio Conte, Anacleto Rizzo, Iliriana Sejdullahu

Studio e validazione dell'impatto ambientale di scolmatori di fognatura mista in località costiere: il caso di Cupra Marittima, De Simoni Lucia, A.A. 2019 – 2020

Analisi idraulica a supporto dello studio dell'impatto di scolmatori di fognatura mista dell'agglomerato di San Benedetto del Tronto (AP), Palmisano Andrea, A.A. 2021 – 2022

A robust and accurate surrogate method for monitoring the frequency and duration of combined sewer overflows. *Environ Monit Assess* 190, 209, Hofer, T., Montserrat, A., Gruber, G. et al. (2018).

Sitografia

<https://www.gazzettaufficiale.it/dettaglio/codici/materiaAmbientale>

<https://www.arera.it>

<https://www.regione.marche.it>

<https://www.ciip.it>

<https://www.arpa.marche.it>

<http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Console-Servizi-Protezione-Civile/SIRMIP-online>

<http://www.iridra.eu/it/applicazioni/cso-ita.html>

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.03.043>

<https://doi.org/10.3390/w5010013>

<https://www.recordbaqattini.com/landings/pavimenti-drenanti-pavimenti-drenanti-carrabili-pavimenti-carrabili-autobloccanti-drenanti.html>

<https://doi.org/10.1007/s10661-018-6589-3>