



UNIVERSITÀ POLITECNICA DELLE MARCHE

FACOLTÀ DI INGEGNERIA

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Civile

**STUDIO E VALIDAZIONE DELL'IMPATTO AMBIENTALE DI
SCOLMATORI DI FOGNATURA MISTA IN LOCALITÀ
COSTIERE: IL CASO DI CUPRA MARITTIMA**

**STUDY AND VALIDATION OF ENVIRONMENTAL IMPACT OF
COMBINED SEWER OVERFLOWS IN COASTAL AREA:
THE CASE OF CUPRA MARITTIMA**

Relatore

Prof. Francesco Fatone

Tesi di Laurea di

Lucia De Simoni

Correlatore

Ing. Anna Laura Eusebi

Ing. Giovanna Darvini

INDICE

Capitolo 1: Introduzione	3
Capitolo 2: Stato dell'arte	7
2.1 Inquadramento normativo	7
2.2 Software di modellazione	16
2.3 Modellazione qualitativa e quantitativa e integrazione con sistemi di controllo digitale: il Progetto DWC	18
Capitolo 3: Materiali e Metodi	20
3.1 Agglomerato di Cupra Marittima metodologia di determinazione degli scolmatori critici	21
3.1.1 Modello idraulico	22
3.1.1.1 Definizione dei sottobacini	24
3.1.1.2 Definizione degli eventi di pioggia	28
3.1.1.2.1 Costruzione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica mediante l'applicazione del metodo dei casi critici e l'elaborazione statistica secondo Gumbel	30
3.1.1.2.2 Precipitazioni in continuo dell'Anno Tipico	33
3.1.1.3 Definizione dei pozzetti	35
3.1.1.4 Definizione delle condotte	36
3.1.1.5 Definizione degli scolmatori	38
3.1.2 Modello qualitativo	45
3.1.2.1 Determinazione ed introduzione dei flussi degli inquinanti	46
3.1.2.2 Determinazione dei flussi di dilavamento degli inquinanti	47
3.1.3 Campionamenti	49
3.1.4 Calibrazione e validazione del modello	51
3.1.5 Simulazioni e determinazione degli impatti	52
3.2 Impianto di Peschiera: schematizzazione del bacino e simulazioni semplificate degli afflussi in fognatura	55
Capitolo 4: Risultati e discussione	63
4.1 Modello idraulico- Agglomerato Cupra Marittima	63
4.2 Modello qualitativo- Agglomerato Cupra Marittima	76
4.3 Calibrazione quali-quantitativa del modello	82
4.4 Risultati degli scenari di simulazione	84
4.4.1 Scenario di SIMULAZIONE 1	84
4.4.2 Scenario di SIMULAZIONE 2	85
4.4.3 Scenario di SIMULAZIONE 3	87

4.4.4 Scenario di SIMULAZIONE 4.1	88
4.4.5 Scenario di SIMULAZIONE 4.2	91
4.4.6 Scenario di SIMULAZIONE 4.3	93
4.4.7 Scenario di SIMULAZIONE 4.4	95
4.4.8 Scenario di SIMULAZIONE 4.5	96
4.4.9 Scenario di SIMULAZIONE 4.6	96
4.4.10 Confronto tra i vari scenari e determinazione degli impatti	97
4.5 Modello semplificato applicato a Peschiera	114
Conclusioni	119
Appendice	120
Bibliografia	130
Sitografia	132
Indice delle figure	133
Indice dei grafici	135
Indice delle tabelle	137
Ringraziamenti	141

Capitolo 1: Introduzione

Le reti fognarie, ovvero il complesso di canalizzazioni necessarie per raccogliere ed allontanare da insediamenti civili e/o produttivi le acque superficiali e quelle reflue provenienti dalle attività e del metabolismo umano, possono essere a sistema unitario o a sistema separato, con reti distinte per le acque bianche e nere. Nel caso di sistema fognario misto, configurazione più diffusa, lungo il tracciato sono presenti dei manufatti, denominati scolmatori, aventi la funzione di scaricare nel corpo idrico ricettore, durante un evento meteorico intenso, un'aliquota di portata che eccede quella massima che può essere inviata all'impianto di depurazione. Ciascun manufatto è caratterizzato da un fattore di diluizione "c" di progetto usualmente definito come il rapporto tra la portata ammessa (data dalla somma della portata media di tempo asciutto e quella di pioggia) e quella media di tempo asciutto, superato il quale entrano in funzione i CSO (Combined Sewer Overflows).

Questo coefficiente di diluizione è solitamente compreso tra 4 e 6 nel caso di centri medio piccoli e tra 2.5 e 3 nel caso di grandi centri urbani. Nonostante ciascun manufatto venga dimensionato come parte unitaria dell'infrastruttura fognaria, i valori di diluizione sono influenzati dalle specificità della rete e dalle caratteristiche del territorio nella loro complessità come le attività produttive e gli insediamenti civili presenti a monte del punto di scolmo. I valori di diluizione minimi vengono solitamente normati da regolamenti locali e/o da leggi o appositi piani regionali, solitamente ripresi nel piano di tutela delle acque. È ovviamente necessario che il fattore di diluizione adottato sia superiore al coefficiente di punta delle sole acque nere onde evitare lo scarico di acque reflue non trattate e non diluite.

Particolare attenzione deve essere posta alle acque di prima pioggia che possono risultare ricche di inquinanti soprattutto dopo periodi prolungati di tempo secco. È opportuno quindi che i dispositivi di sfioro siano in grado di trattenere le acque di prima pioggia per poi scaricare quelle che giungono in un secondo momento.

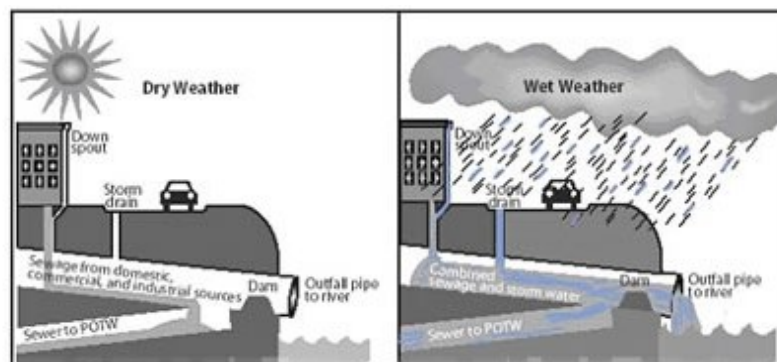


Figura 1: Sistema fognario combinato – schematizzazione del funzionamento in tempo secco e piovoso

Nel caso di sistemi fognari separati è vietato avere scolmatori; tutta la portata nera deve arrivare ed essere trattata in un impianto di depurazione.

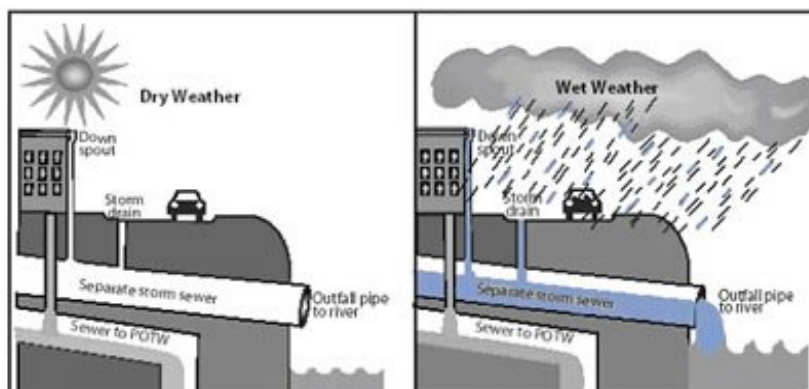


Figura 2: Sistema fognario separato - schematizzazione del funzionamento in tempo secco e piovoso

Nel presente elaborato di tesi si studiano gli scolmatori ricadenti nel bacino idrografico del comune di Cupra Marittima, in provincia di Ascoli Piceno, i quali, durante gli eventi piovosi, scolmano la portata in eccesso in diversi corpi idrici superficiali (Torrente Menocchia, Torrente di Sant'Egidio, Fosso di San Silvestro, Fosso della Fonte) che confluiscono nel Mar Adriatico.

Questa analisi nasce a seguito della necessità da parte della CIIP spa - Cicli Integrati Impianti Primari, gestore del servizio idrico integrato della zona considerata, di studiare, anche dopo specifici accordi con l'ente competente (Provincia di Ascoli Piceno) gli effettivi impatti ambientali prodotti da questi manufatti, anche in termini di balneabilità o di qualità delle acque superficiali.

Infatti, i CSO rappresentano un grave problema ambientale per i corpi idrici superficiali interessati, in quanto i flussi scaricati dagli scolmatori sono estremamente impattanti definendo tali eventi come "inquinamento breve" poiché le acque scolmate, nonostante siano diluite, contengono al loro interno inquinanti convenzionali (nutrienti, solidi in sospensione, sostanza organica, microrganismi patogeni), ma soprattutto sostanze, seppur presenti in piccola quantità, che hanno elevata tossicità come ad esempio i metalli pesanti e gli idrocarburi depositati sulle superfici impermeabili a causa del traffico motorizzato e trasportati poi dalle acque di dilavamento.

Il contributo di tali sovrafflussi in termini di inquinanti, risulta estremamente variabile ed è lecito attendersi un incremento di questa variabilità a causa di una maggiore irregolarità ed intensità delle precipitazioni poiché la loro concentrazione dipende non solo dal carico proveniente dalle acque reflue scaricate in fognatura e dalle acque di prima pioggia, ma anche dall'intensità e durata dell'evento umido e dal tempo trascorso tra due eventi successivi.

Negli ultimi decenni si è verificata una maggiore frequenza degli eventi meteorici intensi a seguito dei cambiamenti climatici per cui risulta fondamentale controllare il funzionamento di tali manufatti. Gli impatti ambientali ed igienico-sanitari determinati da questi flussi scolmati risultano più o meno rilevanti in funzione anche del corpo d'acqua superficiale di recapito intermedio e finale. Alla luce di tutto ciò risulta fondamentale considerare non soltanto la portata idraulica sversata, ma anche la qualità delle acque di sfioro.

Una gestione efficace delle acque reflue e meteoriche si deve basare su una visione unitaria di bacino tenendo conto degli aspetti idraulici e ambientali. Per limitare le problematiche relative ai CSO la soluzione apparentemente migliore potrebbe essere quella di sostituire la rete mista con una separata, ma questo in numerose aree urbanizzate non è economicamente sostenibile. Il sistema unitario è normalmente molto più economico del sistema separato, in termini di costi di investimento e ancor più in termini di costi gestionali.

Si evidenzia che anche la separazione delle reti richiede una corretta gestione e un opportuno trattamento delle acque di dilavamento, potenzialmente contaminate in maniera inaccettabile per essere scaricate direttamente al corpo d'acqua superficiale.

L'impatto che i CSO hanno nei corpi idrici ricettori è stato studiato anche a livello internazionale, in particolare l'US-EPA (*United States Environmental Protection Agency*) ha svolto studi di scenari reali al fine di valutare l'impatto degli scaricatori di piena di sistemi fognari combinati sui corpi ricettori dimostrando che anche un sistema fognario separato ha rischi legati a sversamenti a seguito di malfunzionamenti o cause accidentali che possono portare a problemi di balneabilità o ambientali anche più probabili rispetto alle fognature miste.

Si può osservare dal diagramma sottostante che in realtà le cause di mancata balneabilità molto spesso siano legate a ragioni diverse dagli scolmatori di piena e quindi risulta fondamentale considerare altri fonti di inquinamento di cui spesso si sottovalutano gli impatti come ad esempio gli impianti di trattamento, scarichi provenienti dalle imbarcazioni, animali domestici e specie selvatiche, acque di dilavamento urbane, uso spropositato di pesticidi, fertilizzanti e concimi in agricoltura, fosse settiche e impianti di scarico privati.

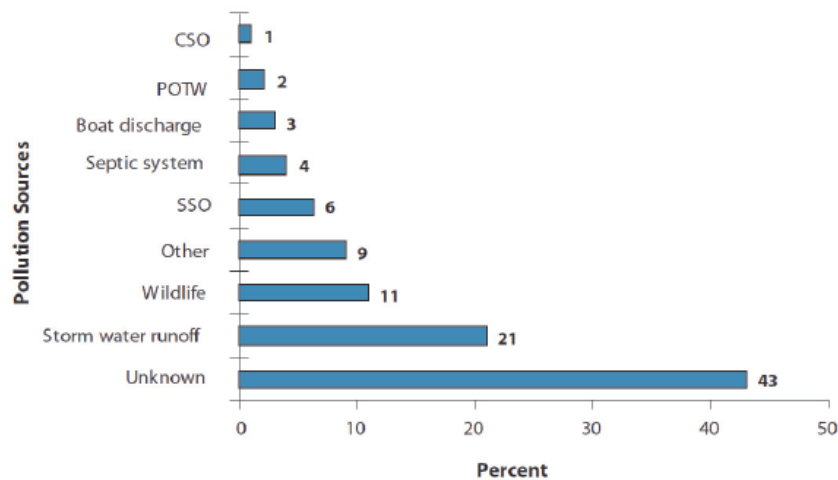


Grafico 1: Diverse fonti di inquinamento responsabili dei divieti di balneazione

(Report to Congress on Impacts and Control of Combined Sewer Overflows and Sanitary Sewer Overflows)

Si può dunque dedurre che i CSO rappresentano un problema complesso, per cui è necessario analizzare con attenzione le situazioni locali prima di effettuare importanti investimenti e/o realizzare infrastrutture che potrebbero non diminuire il rischio di danni per l'ambiente e/o per la salute pubblica.

Uno sviluppo di questo tipo è applicabile, anche, a supporto di attività predittive di water energy food nexus e in questo ambito il progetto DWC prevede, attraverso la digitalizzazione delle reti idriche, un'ottimizzazione in termini gestionali delle risorse stesse, favorendo il riutilizzo delle acque reflue trattate per scopi irrigui, così da ridurre lo stress idrico e lo sfruttamento eccessivo delle risorse di acqua dolce.

Pertanto nel presente studio si è svolto anche il calcolo della portata afferente all'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo, situato in provincia di Milano e gestito dalla CAP, a sostegno del progetto europeo DWC (Digital Water City).

Capitolo 2: Stato dell'arte

2.1 Inquadramento normativo

L'impatto che gli scolmatori di piena hanno sui corpi idrici ricettori è ben noto a livello comunitario, nazionale e regionale dove si concentrano la maggior parte di normative e regolamenti poiché risulta necessaria una conoscenza approfondita delle caratteristiche idrogeologiche del territorio.

L'EurEau (European Federation of National Associations of Water Services), voce del settore idrico europeo i cui membri sono le associazioni nazionali dei servizi idrici di 29 Paesi, stima che attualmente ci siano circa 650.000 scaricatori di piena in tutta Europa.

L'obbiettivo dell'EurEau è quello di mettere insieme tutti i professionisti del settore in modo da aiutare a sostenere il patrimonio idrico europeo per le generazioni a venire attraverso la pubblicazione di paper in cui vengono fornite diverse soluzioni a riguardo del problema oggetto di studio.

Una delle tematiche affrontate è stata quella relativa ai CSO che fanno parte del normale funzionamento dei sistemi di fognatura combinati, i quali devono essere progettati e monitorati correttamente al fine di minimizzare gli impatti negativi sull'ambiente idrico e proteggere la salute pubblica.

Le direttive europee, individuate da EurEau, in cui vengono trattati gli scolmatori di piena sono le seguenti:

- **Urban Waste Water Treatment Directive 91/271/ECC (UWWTD)** in cui si afferma che la progettazione, costruzione e gestione dei sistemi di collettamento deve essere svolta in modo da limitare l'inquinamento dei corpi idrici a seguito dell'attivazione degli scolmatori. Data l'impossibilità di trattare tutte le acque reflue in arrivo all'impianto durante le precipitazioni intense, è compito degli stati membri stabilire i limiti degli scaricatori, basandosi sui rapporti di diluizione e sulla frequenza annuale degli scolmatori.
- **Water Framework Directive 2000/60/EC (WFD)** è la direttiva quadro sulle acque che prevedeva di raggiungere lo stato di qualità buono entro il 2015, obbiettivo non ottenuto. Anche nei piani di gestione dei bacini RBMP (River Basin Management Plans) sono presi in considerazione i CSO come un importante causa di impatto ambientale per i corpi idrici riceventi.

- **Bathing Water Directive 2006/7/EC (BWD)** è la direttiva sulle acque di balneazione, le quali sono influenzate dai CSO che determinano degli eventi di inquinamento di breve durata pari a circa 72 ore.

(EurEau, 26 May 2016 – Overflows of collecting systems)

A livello nazionale l'ARERA (Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente), organismo indipendente, svolge attività di regolazione e controllo nei settori dell'energia elettrica, del gas naturale, dei servizi idrici, del ciclo dei rifiuti e del telecalore.

È stata istituita con la legge n. 481 del 1995 con il compito di tutelare gli interessi dei consumatori e di promuovere la concorrenza, l'efficienza e la diffusione in modo omogeneo sull'intero territorio nazionale di servizi con adeguati livelli di qualità, attraverso l'attività di regolazione e di controllo. Inoltre predispone sistemi tariffari certi, trasparenti e basati su criteri predefiniti.

Queste funzioni sono svolte bilanciando gli obiettivi economico-finanziari dei soggetti esercenti i servizi con quelli generali di carattere sociale, di tutela ambientale e di uso efficiente delle risorse.

Con il documento 27 luglio 2017, 562/2017/R/IDR, l'Autorità illustra i propri orientamenti al fine di *“incentivare adeguati livelli di performance, favorire il progressivo allineamento del sistema infrastrutturale ai parametri definiti in ambito europeo e nazionale e assicurare, al contempo, i necessari livelli di tutela della risorsa e dell'ambiente, forniti dai gestori in ciascun ambito territoriale di competenza.”*

Inizialmente l'attività era limitata ai soli settori dell'energia elettrica e del gas naturale per poi estendersi attraverso alcuni interventi normativi; in particolare sono state attribuite competenze in materia di servizi idrici con il decreto n.201/11 e, poi, con la legge 27 dicembre 2017 n. 205 sono state attribuite all'Autorità funzioni di regolazione e controllo del ciclo dei rifiuti.

Inoltre con il documento 748/2017/R/IDR del 10 Novembre 2017 (RQTI - Regolazione della Qualità Tecnica del Servizio Idrico Integrato) venne redatto un modello di regolazione della qualità tecnica che si basa su diversi parametri quali:

- requisiti, in cui si vanno ad identificare le *“criticità di sistema che dovrebbero essere superate, in un predeterminato arco di tempo, anche attraverso interventi straordinari”*;
- standard specifici, che sono *“riferiti a profili di continuità del servizio di acquedotto, cui associare indennizzi automatici alle utenze in caso di mancato rispetto dei livelli minimi previsti”*;

- standard generali, *“riferiti in modo distinto ai servizi di acquedotto, fognatura e depurazione e suddivisi in indicatori semplici e macro-indicatori, con lo scopo di attribuire, alle due categorie, pesi e azioni regolatorie differenti.”*

In particolare, per il servizio di fognatura, è stato individuato un macro-indicatore M4 denominato “Adeguatezza del sistema fognario” il quale è composto da:

- M4a - “frequenza allagamenti e/o sversamenti”: numero di allagamenti (fognatura mista, bianca) e di sversamenti (fognatura nera), verificatisi ogni 100 km di rete fognaria gestita (n/100 km)
- M4b - “Adeguatezza normativa degli scaricatori di piena”: incidenza degli scaricatori non adeguati alle normative vigenti (%)
- M4c - “Controllo degli scaricatori di piena”: incidenza degli scaricatori non oggetto di ispezione o non dotati di sistemi di rilevamento automatico dell’attivazione (%).

L’obiettivo è quello di minimizzare l’impatto ambientale derivante dal convogliamento delle acque reflue andando a coniugare elementi di adeguatezza normativa con quelli operativi/strutturali.
(<https://www.arera.it>)

Le delibere emanate dall’ARERA, in materia di servizio idrico integrato, forniscono i principi guida sui quali si basano i PTA (Piani di Tutela delle Acque) di ciascuna regione, i quali hanno lo scopo di raggiungere gli obiettivi di qualità dei corpi idrici e tutelare a livello quali-quantitativo la risorsa idrica, garantendo un approvvigionamento idrico sostenibile nel lungo periodo.

Il PTA della Regione Marche è stato approvato dall’assemblea legislativa regionale con delibera DACR n.145 del 26/01/2010 e rappresenta il mezzo tramite il quale la Regione individua gli strumenti per la protezione e la conservazione della risorsa idrica.

Gli obiettivi di questi strumenti di pianificazione regionale sono perseguiti attraverso misure ed interventi adottati e previsti per ogni ciclo di pianificazione (sessennale).

La sezione di interesse è la D, ovvero quella relativa alle Norme Tecniche di Attuazione (NTA) che sono distinte in sette capi, di cui si considera il Capo IV riguardante le misure di tutela qualitativa.

In particolare, si evidenziano gli articoli correlati agli scolmatori.

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

Art. 36 – SCARICHI A MARE DI ACQUE REFLUE URBANE

Il Comma 1 dichiara che *“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 e oltre l'estremità delle opere marittime perpendicolari alla costa (moli, pennelli, ecc)."

Nell'eventualità che ciò non si possa verificare, 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 aggiunge che *"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."*

Quindi gli scarichi in mare di acque reflue urbane, compresi gli scolmatori, devono avvenire al largo delle opere di difesa costiera o in battigia solo in particolari condizioni.

Art. 41 – RETI FOGNARIE

L'articolo disciplina le 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."*

Il Comma 5 riguarda le reti separate e dichiara che *"è vietato scaricare nella fognatura nera qualsiasi acqua priva di carico inquinante o che, prima dell'immissione in rete, rispetti i limiti di emissione per lo scarico in acque superficiali"*. Poi, aggiunge che *"tali scarichi sono ammissibili, purché non pregiudichino la funzionalità dell'impianto di trattamento finale, qualora lo scarico diretto in acque superficiali risulti troppo oneroso."*

Le disposizioni del Comma 5 vengono applicate anche al Comma 6 che riguarda le reti esistenti che non è possibile separare dichiarando che *"per esse deve essere prevista la progressiva eliminazione dell'immissione di acque non inquinate o che rispettano i limiti di emissione per lo scarico in corpo ricettore diverso dalla pubblica fognatura."*

Il Comma 8 afferma che *"nel dimensionamento delle reti fognarie il calcolo delle portate deve avvenire sia con il sistema statistico tradizionale sia con i sistemi di calcolo aggiornati con le più recenti rilevazioni climatiche, adottando i risultati più cautelativi."*

Art. 42 – ACQUE METEORICHE DI DILAVAMENTO, ACQUE DI LAVAGGIO, ACQUE DI PRIMA PIOGGIA

L'articolo fornisce informazioni a riguardo della gestione e del trattamento delle acque meteoriche. In particolare, come si può vedere dai seguenti Commi, le acque meteoriche derivanti da aree

industriali o produttive devono essere trattate in impianti idonei, mentre per quelle di prima pioggia che non derivano da queste aree risulta necessaria la realizzazione di serbatoi per non scaricarle nel momento di massimo afflusso e successivamente trattarle in impianto di depurazione oppure deve essere previsto l'inserimento di un apposito trattamento delle acque stoccate.

Il Comma 1 afferma che le *“acque di lavaggio delle aree esterne adibite ad attività produttive o di servizi devono essere convogliate ed opportunamente trattate in idonei impianti.”* Inoltre pure le *“acque meteoriche di dilavamento delle medesime aree esterne devono essere convogliate e la loro frazione di prima pioggia deve anche essere opportunamente trattata in idonei impianti.”* Queste acque meteoriche di dilavamento di prima pioggia *“sono sottoposte alla disciplina delle acque reflue industriali.”* Non sono soggette a questa disciplina le acque meteoriche di dilavamento di seconda pioggia.

Nei Commi 2 e 3 sono elencate le attività produttive soggette alle specifiche del Comma 1.

Per le acque di prima pioggia diverse da quelle considerate nel Comma 1, 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, con lo scopo ultimo di calcolare i volumi di acqua da trattenerne ovvero da pretrattare o mandare in impianto, le acque di prima pioggia come quelle *“corrispondenti ad un'altezza di pioggia di 5mm.”* Viene anche aggiunto che per calcolare il volume, i coefficienti di afflusso da assumere sono pari a 1 per le superfici impermeabili e 0.3 per quelle permeabili, escludendo dal calcolo le aree verdi e quelle coltivate.

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

Il Comma 1 dichiara che gli scaricatori di piena devono essere autorizzati allo scarico *“previa la necessaria verifica degli standard costruttivi e delle condizioni di funzionamento.”*

Il Comma 5 disciplina gli scolmatori di nuova realizzazione per i quali *“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.”

Gli scolmatori delle reti fognarie miste esistenti devono, secondo il Comma 6, essere adeguati alle norme del d.p.c.m 4 marzo 1996 “Disposizioni in materia di risorse idriche”.

Inoltre, secondo quanto previsto dai Commi 7 e 8 gli interventi, stabiliti nel Piano d'Ambito, per gli agglomerati con almeno 10.000 AE devono essere in grado di gestire e trattare le acque di prima pioggia in modo da ridurre il carico inquinante del 35%, valore che raggiunge il 45% nel caso di agglomerati che ricadono entro la fascia di 10 km dalla costa al fine di tutelare le acque di balneazione.

Il Comma 9 dichiara l'importanza, ai fini del raggiungimento degli obiettivi di qualità ambientale, della realizzazione e dell'adeguamento delle vasche di prima pioggia in prossimità degli scarichi di fognatura mista 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.”

Infine, il Comma 10 afferma che *“la Giunta regionale può stabilire linee tecniche di indirizzo per la realizzazione dei sistemi di accumulo delle acque meteoriche e può definire altresì le modalità di funzionamento e di adeguamento degli scolmatori (sfioratori) di piena esistenti per garantire la corretta funzionalità in relazione agli obiettivi di tutela dei corpi recettori.”*

(PTA Regione Marche, 2010)

Inoltre, di fondamentale importanza è la Legge Galli n.36/94 che ha posto l'attenzione sul ciclo dell'acqua a partire dalla sua captazione per differenti usi, fino alla restituzione ai corpi ricettori in condizioni compatibili con la protezione e il rispetto di questi ultimi.

Viene definito il Sistema Idrico Integrato (SII) come *“l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue”*,

il quale va organizzato nell'ambito di un territorio omogeneo indicato come Ambito Territoriale Ottimale (ATO).

In questo modo è stata superata la frammentazione della gestione delle risorse idriche.

Alle Regioni è stato affidato l'incarico di individuare gli ATO e nel caso specifico della Regione Marche, con la Legge Regionale n.18/1998, si sono definiti 5 Ambiti Territoriali Ottimali:

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: Suddivisione ATO – Regione Marche

Il presente studio effettuato nel comune di Cupra Marittima ricade nell'ATO n.5 che comprende 59 comuni, di cui la CIIP spa è il gestore unico del Servizio Idrico Integrato.

(<https://www.regione.marche.it>; <https://www.ciip.it>)

Per conto della Regione Marche, l'ARPAM (Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale delle Marche) effettua il monitoraggio dei corpi idrici fluviali presenti nel territorio al fine di valutare lo

stato di qualità e definire lo stato ecologico e chimico dei corsi d'acqua. Per la definizione dello stato ecologico (distinto in cinque classi: elevato, buono, sufficiente, scarso, cattivo) si analizzano gli indicatori biologici e i parametri chimico fisici; mentre quello chimico viene definito sulla base del rispetto dei limiti stabiliti in tabella 1/A del D.Lgs.152/2006. L'ultimo ciclo triennale di monitoraggio risale a fine 2017, in cui per il Torrente Menocchia, di interesse in questo elaborato di tesi, si è riscontrato uno stato ecologico scarso e uno stato chimico non buono; risultati analoghi a quelli ottenuti nel triennio di analisi precedente (2013-2015).

DOCUMENTO	TRIENNIO	BACINO	STATO ECOLOGICO	STATO CHIMICO
Relazione triennale sulla qualità dei corpi idrici fluviali della regione Marche, ARPAM	2015-2017	Torrente Menocchia	SCARSO	NON BUONO
Relazione triennale sulla qualità dei corpi idrici fluviali della regione Marche, ARPAM	2013-2015	Torrente Menocchia	SCARSO	NON BUONO

Tabella 1: Stato ecologico e chimico – Torrente Menocchia

L'ARPAM effettua anche attività di controllo finalizzata a stabilire, in base ai valori degli Escherichia coli e Enterococchi, la classe di qualità delle acque di balneazione (eccellente, buona, sufficiente, scarsa) considerando, secondo quanto previsto dalla normativa, i risultati degli ultimi quattro anni.

ACQUE COSTIERE E DI TRANSIZIONE				
PARAMETRI	CLASSI DI QUALITÀ			
	ECCELLENTE	BUONA	SUFFICIENTE	SCARSA
Enterococchi (ufc o MPN/100 ml)	100 (*)	200 (*)	185 (**)	>185 (**)
Escherichia coli (ufc o MPN/100 ml)	250 (*)	500 (*)	500 (**)	>500 (**)
*Basato sulla valutazione del 95° percentile **Basato sulla valutazione del 90° percentile				

Tabella 2: Definizione classi di qualità per acque costiere e di transizione

Dai risultati delle attività di monitoraggio svolte durante le stagioni balneari 2014-2019, per il comune di Cupra Marittima, in tutti i punti di analisi, è sempre risultato uno stato di qualità eccellente.

DOCUMENTO	COMUNE	CLASSE DI QUALITA'					
		2014	2015	2016	2017	2018	2019
Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, ARPAM	Cupra Marittima	ECCELLENTE	ECCELLENTE	ECCELLENTE	ECCELLENTE	ECCELLENTE	ECCELLENTE

Tabella 3: Classe di qualità delle acque di balneazione – Comune di Cupra Marittima

La conoscenza dello stato di qualità dei corpi idrici superficiali è di fondamentale importanza al fine tutelare le risorse idriche e adottare misure finalizzate al risanamento del patrimonio idrico.

(<https://www.arpa.marche.it;>)

2.2 Software di modellazione

Gli impatti ambientali legati al funzionamento degli scaricatori di piena rappresentano un serio problema per i gestori del SII, per cui si rende necessario un corretto esercizio di tali manufatti al fine di limitare gli effetti negativi connessi al loro utilizzo.

Un valido aiuto per il controllo e monitoraggio dei sovrafflussi da fognatura mista, ovvero per l'analisi del funzionamento degli scolmatori, è fornito dalla modellazione che si distingue, in base alla complessità, ai costi dell'indagine e alle diverse informazioni necessarie, in quattro livelli di dettaglio.

	N1	N2	N3	N4
	MINIMO	AUSPICABILE	BUONO	OTTIMO
LIVELLO	Progettazione sulla base di parametri (emissioni non esplicitate)	Progettazione sulla base di modellazione idraulica e idrologica	Progettazione sulla base di modellazione idraulica e idrologica con assegnata concentrazione del refluo	Progettazione sulla base di modellazione idraulica, idrologica, delle caratteristiche del refluo, dell'impianto di trattamento, del corpo idrico recettore, considerando reali concentrazioni variabili sui corpi idrici
AMBITO	Sottobacino	CSO collegato al proprio sottosistema	sistema o sottosistema integrato	sistema o sottosistema integrato
CRITERI	Volume specifico m ³ /ha imp	numero di CSO volume di CSO	inquinamento da CSO (N,P,metalli)	standard di qualità ambientali variabili (DO, NH ₃ , etc)

Tabella 4: Livelli di modellazione

Come si può osservare dalla tabella soprastante, passando dal livello N1 al livello N4 aumenta il grado di dettaglio del modello utilizzato. Nel prosieguo si evidenziano questi livelli.

Livello N1: è quello minimo in cui non viene effettuata una modellazione idraulica/idrologica, l'inquinamento non viene preso in considerazione, però risulta necessario avere informazioni dettagliate su scala regionale delle precipitazioni. I criteri di emissione sui quali si basa sono il volume specifico (funzione della dimensione del bacino, della tipologia di corpo idrico recettore, dell'utilizzo del suolo e della strategia di gestione dei flussi influenti all'impianto di depurazione) e il fattore di diluizione.

Livello N2: viene effettuata una modellazione idraulica e idrologica dei bacini idrografici. Anche in questo caso l'inquinamento non viene considerato ed è opportuno avere una regionalizzazione delle

precipitazioni. I criteri di emissione su cui si fonda sono il numero o la durata dei sovrafflussi e il volume scolmato.

Livello N3: si svolge una modellazione idraulica e idrologica e si studia l'inquinamento associato agli eventi di pioggia. Occorre avere informazioni su scala regionale delle precipitazioni, ma anche utilizzare serie storiche riguardanti gli eventi meteorici. Oltre ai criteri su cui si basa il livello precedente, in tal caso si considera anche il carico sversato sul corpo idrico recettore.

Livello N4: livello ottimale in cui si esegue non soltanto una modellazione del sistema di drenaggio urbano dal punto di vista idrologico, idraulico e di diffusione dell'inquinante, ma anche del corpo idrico recettore. Si analizza quindi l'inquinamento relativo alla precipitazione, i suoi effetti in termini di concentrazione di ossigeno disciolto, nutrienti e carica batterica nel corpo idrico recettore e si potrebbero valutare anche gli impatti della portata scolmata sulla morfologia dei corpi idrici.

La scelta di uno di questi gradi di dettaglio per la gestione dei CSO ricade a livello nazionale in base alle misure previste nei piani di gestione dei bacini (RBMP).

Il monitoraggio della rete è fondamentale per garantire una gestione ottimale delle acque di fognatura in presenza di eventi meteorici e per conoscere l'impatto sui corpi ricettori.

(“Policies and legislation for CSO control and the protection of surface waters” Malgrat, 2013)

2.3 Modellazione qualitativa e quantitativa e integrazione con sistemi di controllo digitale: il Progetto DWC

Sempre più le città sono chiamate ad adottare misure finalizzate al miglioramento della gestione delle loro risorse idriche.

Una soluzione innovativa per modernizzare le infrastrutture idriche incrementandone le prestazioni, tutelare la salute pubblica e coinvolgere gli utenti nella gestione delle acque urbane, è rappresentata dalla digitalizzazione delle reti.

(<https://cordis.europa.eu>)

Il progetto DWC (Digital Water City), finanziato dalla Commissione Europea e coordinato dal Centro di Competenza sulle Acque di Berlino (KWB), ha come obiettivo principale quello di rafforzare, attraverso l'uso innovativo e intelligente dei dati e tecnologie digitali, la gestione integrata dei sistemi idrici in cinque grandi aree urbane europee: Parigi, Berlino, Copenaghen, Milano e Sofia.

Lo scopo è di collegare il mondo digitale e quello fisico sviluppando soluzioni avanzate per affrontare le sfide attuali e future legate all'acqua.

Le aree di applicazione vanno dalla gestione delle acque sotterranee, alla manutenzione e al funzionamento delle fognature, al trattamento delle acque reflue e al riutilizzo fino alla gestione delle acque di balneazione urbane.

DWC raggruppa 24 partner provenienti da 10 paesi europei, tra cui l'Università Politecnica delle Marche, l'Università Statale di Milano, l'Istituto Superiore di Sanità e il Gruppo CAP, gestore unico del servizio idrico nella provincia di Milano e impegnato in diversi Comuni nelle province di Monza e Brianza, Pavia, Como e Varese.

Per quanto riguarda Milano, l'azione di innovazione è rivolta principalmente al depuratore di Peschiera Borromeo in cui verranno studiate e validate sul campo soluzioni digitali e tecnologiche al fine di garantire un riutilizzo sicuro delle acque reflue trattate per l'irrigazione agricola.

Le soluzioni del progetto consentiranno un monitoraggio continuo e un controllo costante della qualità delle acque trattate, permettendo di effettuare valutazioni in tempo reale.

(<https://www.digital-water.city> ; <https://www.gruppocap.it>)

Tutto questo è svolto nell'ottica del water energy food nexus per cui l'acqua, le risorse energetiche e la produzione alimentare, interconnessi tra loro, devono essere usufruiti in modo ecologicamente sostenibile a livello globale utilizzando soluzioni che abbraccino una prospettiva intersettoriale. A causa di un aumento della popolazione globale, di una rapida urbanizzazione e di una crescita economica la domanda di questi tre aspetti è in progressivo aumento.

L'agricoltura (compresa l'irrigazione, l'allevamento e l'acquacoltura) è di gran lunga il maggiore consumatore idrico. Una delle misure adottate per ridurre lo sfruttamento eccessivo delle risorse di acqua dolce consiste nel riutilizzo delle acque reflue trattate a scopi irrigui (water reuse safety plan); soluzione che comporta però un aumento dei costi di trattamento a causa di un maggior consumo energetico. Infatti, per migliorare la qualità dell'acqua allo scarico sarà necessario ossidare più sostanza organica ed avere altri step di trattamento oltre a quelli presenti negli impianti convenzionali. Al contempo, il riutilizzo dell'acqua può supportare la riduzione dell'uso di fertilizzanti, migliorare lo stato nutrizionale delle colture e ridurre il consumo energetico legato all'estrazione delle acque sotterranee.

Gli impatti e i benefici legati al riutilizzo dell'acqua sono complessi e interconnessi per cui risulta necessario conoscere in modo profondo il legame tra disponibilità di acqua, emissione di carbonio, consumo energetico e produttività delle colture alimentari al fine di sviluppare soluzioni sostenibili. Molto spesso viene svolto uno studio a livello globale utilizzando dati su larga scala in modo da guidare politiche globali, internazionali e nazionali; difficilmente è possibile svolgere un'analisi locale.

Attualmente in Italia i requisiti sul riutilizzo dell'acqua sono definiti dal regolamento n.185/2003 che stabilisce i limiti alle concentrazioni di numerosi contaminanti chimici e microbici che devono essere rispettati per tutti gli usi previsti per l'acqua di recupero compreso l'uso agricolo, urbano e industriale non potabile.

([https:// www.digital-water.city](https://www.digital-water.city))

Capitolo 3: Materiali e Metodi

Il programma utilizzato per studiare il funzionamento del sistema di drenaggio urbano e in particolare analizzare l'impatto ambientale che gli scolmatori hanno sui corpi idrici recettori è lo SWMM (Storm Water Management Model), sviluppato dal Water Supply and Water Resources Division dell'Environmental Protection Agency (US-EPA), che consente di effettuare un'analisi dinamica afflussi-deflussi sia per il singolo evento che per un evento continuo, cioè nel caso in cui si voglia considerare un periodo di tempo più lungo. Esso opera su un insieme di sottobacini idrografici che ricevono le precipitazioni, dai quali poi si genera deflusso idrico e carichi inquinanti, trasportati attraverso un sistema di condotte, dispositivi di stoccaggio, pompe e regolatori.

Nel caso specifico si sono esaminati da un punto di vista quantitativo e qualitativo gli scolmatori di fognatura mista situati a Cupra Marittima, in provincia di Ascoli Piceno, gestiti dalla CIIP spa che ha fornito i dati utilizzati nel presente studio. La rete fognaria analizzata è prevalentemente di tipo combinata ad eccezione delle zone di nuova costruzione in cui è separata, con la rete nera che poi si allaccia al collettore principale misto.

Per prima cosa si è costruito il modello idraulico sulla base delle caratteristiche del bacino e della rete di drenaggio urbano per poi inserire, in seguito a campionamenti effettuati in sito, le caratteristiche chimico-fisiche delle acque di fognatura presenti in rete.

In questo modo, a seguito di una calibrazione del modello, si sono potute studiare le portate che transitano in rete in regime secco e umido e si sono potute effettuare diverse simulazioni in termini di deflusso qualitativo.

I diversi scenari di simulazione analizzati hanno permesso di valutare sia l'adeguatezza della rete in diverse condizioni di precipitazione sia l'impatto ambientale sui corpi idrici ricettori dovuto al funzionamento degli scaricatori di piena.

3.1 Agglomerato di Cupra Marittima metodologia di determinazione degli scolmatori critici

Sulle reti fognarie afferenti all'impianto di depurazione "TAFFETANI" (DEPUR00079), ubicato in via Taffetani nel comune di Cupra Marittima (AP), sono presenti 6 scarichi di emergenza e 13 scaricatori di piena di cui 9 sono scolmatori su sollevamenti mentre i restanti sono di linea.

Tramite le informazioni ricavabili dalle schede fornite dalla CIIP è possibile confrontare i rapporti di diluizione, calcolati secondo l'art. 43 comma 5 NTA del PTA, dei diversi sfioratori individuando così quelli critici.

Nella tabella seguente si riportano i valori dei rapporti di diluizione degli scolmatori oggetto di studio, distinguendo tra quelli presenti lungo la condotta proveniente da sud (prima parte della tabella) e quelli situati lungo la rete proveniente da ovest (seconda parte) rispetto all'impianto di depurazione.

<i>SCOLMATORE ID MANUFATTO</i>	<i>DENOMINAZIONE</i>	<i>ID SOLFO COLLEGATO</i>	<i>RAPPORTO DILUIZIONE</i>
VASCA00047	HOTEL OASI - VIALE ROMITA	SOLFO00019	4,61
VASCA00048	CASE ULISSI - VIALE ROMITA	SOLFO00020	4,42
VASCA00058	HOTEL CRISTAL SECONDO	SOLFO00164	7
VASCA00049	HOTEL CRISTAL PRIMO - VIALE ROMITA	SOLFO00021	9,04
VASCA00050	CASE POPOLARI CUPRA - VIALE ROMITA	SOLFO00022	6,7
VASCA00051	PISTA DI PATTINAGGIO - VIALE NAZZARIO SAURO	SOLFO00023	33,28
VASCA00331	SFIORATORE FOSSO DELLA FONTE	-----	316,55
VASCA00054	EX PESA - VIA RUZZI	SOLFO00026	42,71
VASCA00057	FOSSO MENOCCHIA	SOLFO00029	11,6
VASCA00388	SAN PIETRO	-----	7,04
VASCA00335	SFIORATORE PIANE SANTI	-----	15,35
VASCA00417	SOLLEVAMENTO VILLA SANTI	SOLFO00167	330
VASCA00336	SFIORATORE SAN PIETRO VILLA SANTI	-----	7,04

Tabella 5: Rapporto di diluizione degli scaricatori di piena

Si osserva che tutti i rapporti di diluizione sono superiori al valore minimo previsto dal d.p.c.m 4 marzo 1996 - "Disposizioni in materia di risorse idriche", secondo il quale questo rapporto tra la portata di punta in tempo di pioggia e la portata media in tempo secco non deve essere inferiore a 3 per gli scolmatori delle reti fognarie miste esistenti. Ovviamente all'aumentare del rapporto di diluizione, ovvero più i flussi scolmati sono diluiti, minore sarà l'impatto ambientale sul corpo idrico ricettore.

Secondo quanto riportato nell'AUA (Autorizzazione Unica Ambientale), si considerano critici gli scaricatori di piena aventi un rapporto di diluizione inferiore a 10 e nel caso specifico 7 scolmatori rientrano in tale categoria, come evidenziato nella tabella soprastante. La media dei rapporti di diluizione di questi sfioratori è pari a 6,55.

3.1.1 Modello idraulico

Lo SWMM elabora il sistema di drenaggio urbano come una serie di flussi di acqua e di sostanze all'interno dei diversi comparti ambientali:

- **Atmosfera**, genera precipitazioni che vengono introdotte nel modello mediante i *Rain Gage*;
- **Terreno superficiale**, il quale riceve le precipitazioni che in parte ritornano all'atmosfera mediante un processo di evapotraspirazione, una frazione si infiltra nel sottosuolo e la restante aliquota costituisce il deflusso superficiale che viene raccolto nel sistema di collettamento. Quindi il terreno superficiale ripartisce le precipitazioni che ricadono su di esso in tre diversi compartimenti ossia atmosfera, sottosuolo e rete di collettamento. Viene rappresentato nello SWMM mediante uno o più sottobacini;
- **Sottosuolo**, riceve le acque di infiltrazione che in parte vengono trasferite alla rete di drenaggio;
- **Rete di collettamento**, data dall'insieme di elementi di trasporto e unità di stoccaggio nel quale vengono convogliate le acque provenienti dal deflusso superficiale, sotterraneo e dagli scarichi urbani. Nello SWMM è rappresentata mediante *Nodes e Links*.

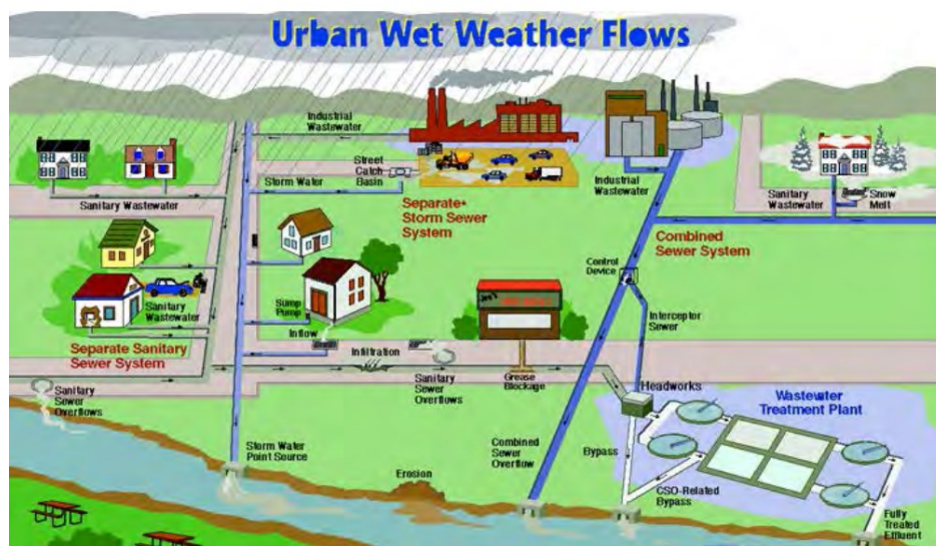


Figura 4: Elementi presenti in un tipico sistema di drenaggio urbano

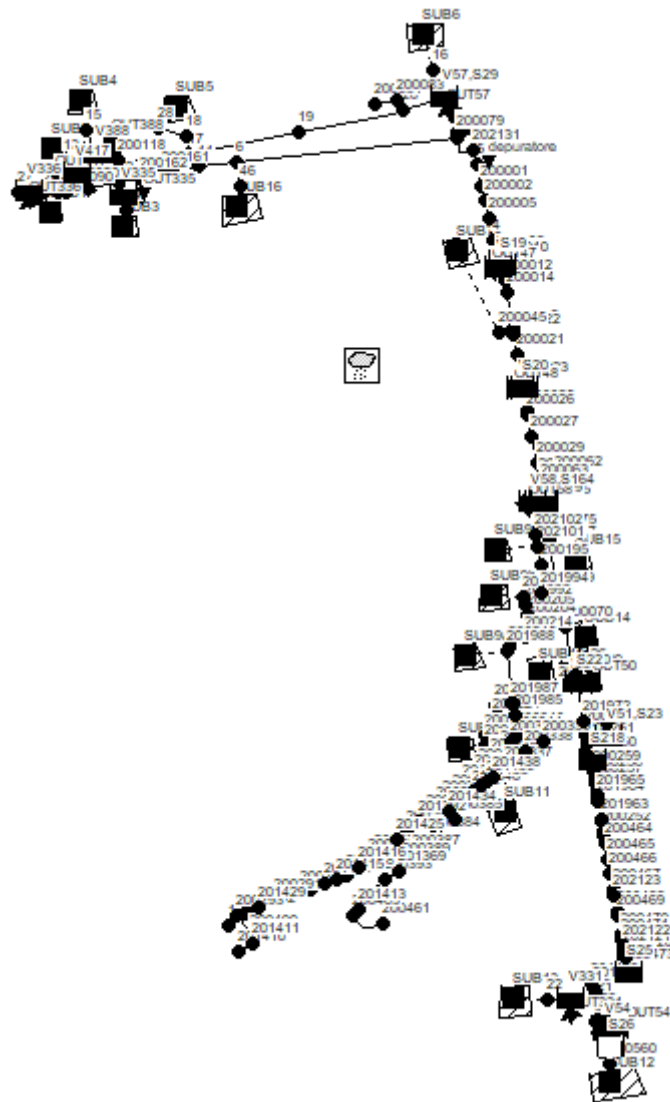


Figura 6: Schematizzazione della rete fognaria nello SWMM

3.1.1.1 Definizione dei sottobacini

I sottobacini sono delle aree aventi il compito di raccogliere l'afflusso meteorico per poi trasformarlo in deflusso da convogliare in determinati pozzetti.

Per poterli identificare, si è innanzitutto individuato il limite del bacino idrografico e a tale scopo, si sono scaricate dal sito della Regione Marche i file in formato DWG delle Carte Tecniche Regionali (CTR) in scala 1:10000 relative al quadro d'unione del Comune di Cupra Marittima e delle zone limitrofe, in cui sono riportate informazioni relative all'altimetria, idrografia (acque correnti, canali, opere idrauliche e costa), vegetazione, viabilità, edifici e costruzioni.

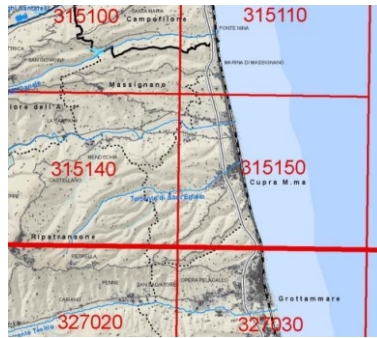


Figura 7: Quadro d'unione del Comune di Cupra Marittima e zone limitrofe

Successivamente le carte CTR scaricate si sono unite in un unico file DWG, si è sovrapposta l'area servita dal depuratore Taffetani fornita dalla CIIP spa così da poter tracciare manualmente i limiti del bacino, rappresentati in rosso nella figura seguente.

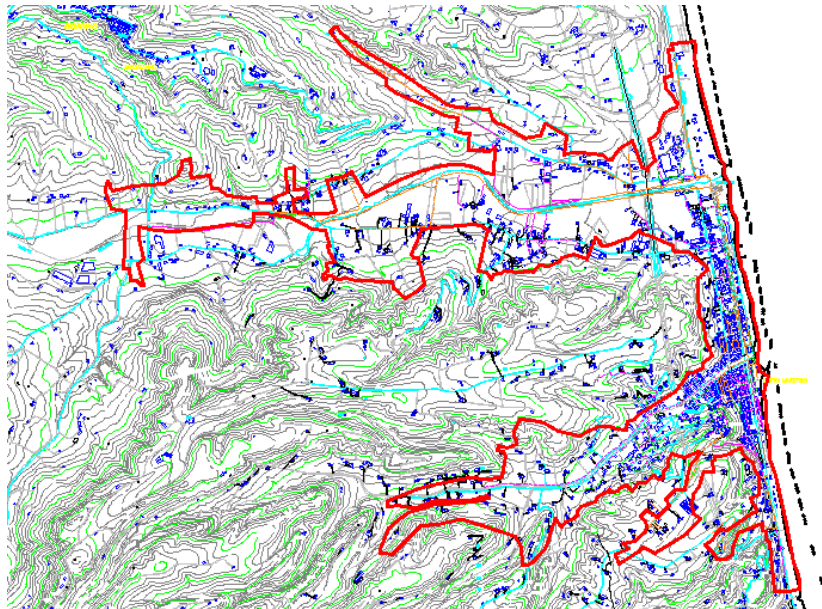


Figura 8: Individuazione dei limiti del bacino idrografico

A questo punto si sono potuti definire i sottobacini osservando l'andamento altimetrico del terreno così da individuare la direzione di deflusso delle acque, considerando solamente le zone servite da reti fognarie miste poiché nelle aree di nuova costruzione le precipitazioni vengono raccolte e scaricate direttamente nel corpo idrico superficiale senza essere inviate all'impianto di depurazione. In questo modo si sono individuati 13 sottobacini, riportati nelle figure seguenti distinte, per una maggiore comprensione dell'immagine, per la rete proveniente da ovest e quella da sud rispetto alla posizione del depuratore.

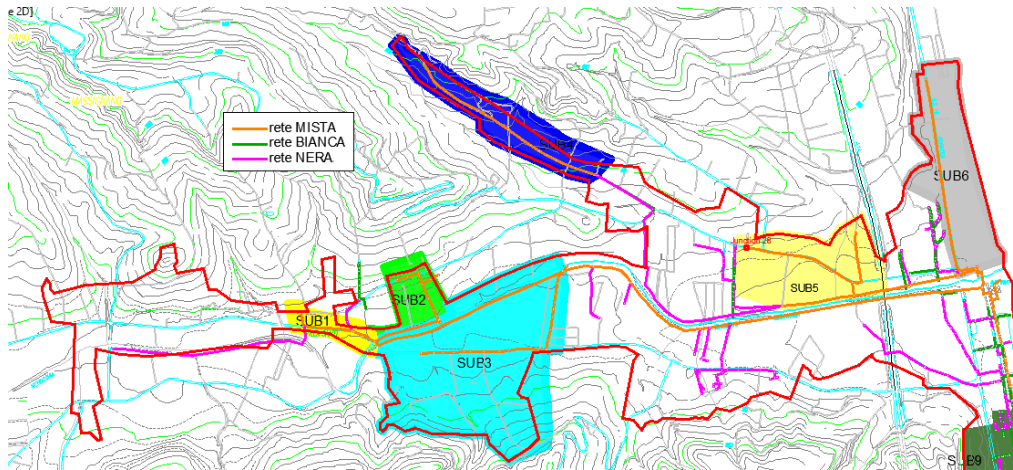


Figura 9: Individuazione sottobacini – zona ovest

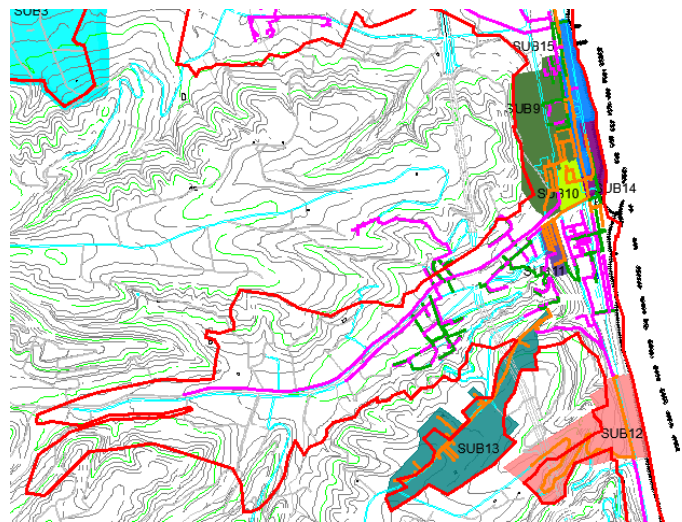


Figura 10: Individuazione sottobacini – zona sud

Tutto questo non sarebbe stato possibile senza la conoscenza dell'intera rete fognaria e quindi degli elementi che la compongono.

Per ogni sottobacino si sono poi individuate le aree impermeabili comprensive di edifici e strade.

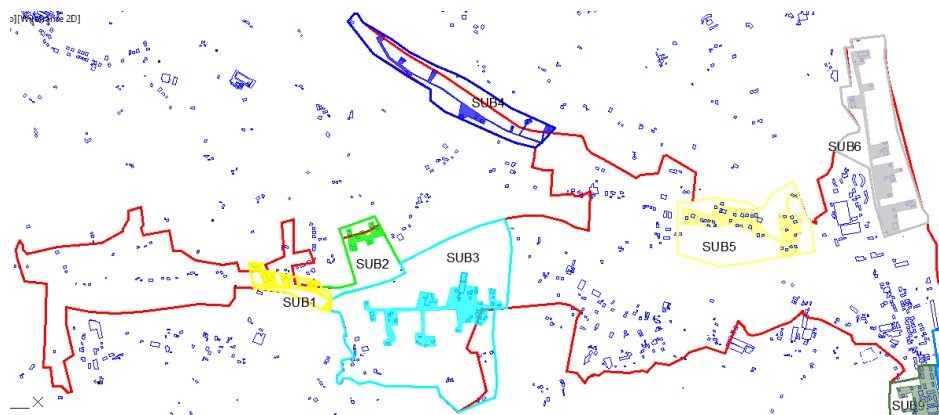


Figura 11: Individuazione aree impermeabili – zona ovest

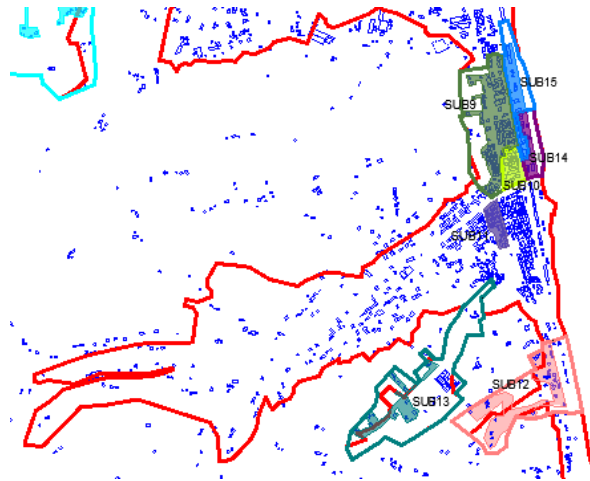


Figura 12: Individuazione aree impermeabili – zona sud

Ad eccezione del valore delle aree (totali, urbanizzate e dei tetti) e della lunghezza dei sottobacini che si sono ricavate tramite il file DWG, le altre caratteristiche derivano da calcolo. In particolare:

- la larghezza (width) dei singoli sottobacini, perpendicolare alla direzione di deflusso, si è ottenuta facendo il rapporto tra l'area totale e la lunghezza;
- la pendenza si è ricavata dividendo la differenza di quota lungo la direzione di deflusso (definita con le curve di livello) e la lunghezza del sottobacino;
- la % di impermeabilità, fondamentale per elaborare l'effettiva quantità di pioggia che cade sul sottobacino, si è ricavata moltiplicando per 1.5 il rapporto tra l'area dei tetti e l'area urbanizzata, riportato poi in termini percentuali.

Oltre all'area urbanizzata indicata in [ha], alla larghezza in [m], alla pendenza percentuale e alla percentuale di superfici impermeabili, per la costruzione di ciascun *Subcatchment*, lo SWMM richiede anche la definizione dell'evento meteorico da assegnare ad ogni sottobacino (*Rain Gage*) e l'*Outlet* ovvero il pozzetto nel quale viene convogliato l'afflusso meteorico. Infatti ogni *Subcatchment* scarica tutto il volume di pioggia raccolto all'interno di un elemento puntuale chiamato *Junction* che rappresenta un pozzetto della rete fognaria.

I restanti parametri richiesti sono stati assegnati di default.

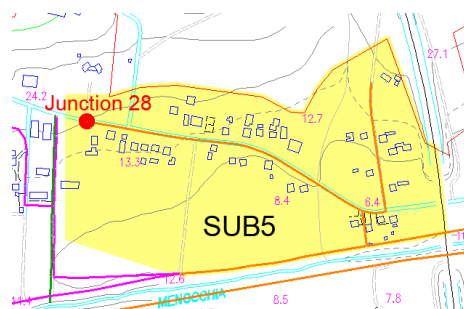


Figura 13: Esempio di pozzetto in cui il sottobacino convoglia l'afflusso meteorico

Subcatchment SUB5	
Property	Value
Name	SUB5
X-Coordinate	2178.136
Y-Coordinate	9940.652
Description	
Tag	
Rain Gage	R1
Outlet	28
Area	7.63
Width	638.54
% Slope	2.6
% Imperv	18.09
N-Imperv	0.01
N-Perv	0.1
Dstore-Imperv	0.05
Dstore-Perv	0.05
%Zero-Imperv	25
Subarea Routing	OUTLET
Percent Routed	100
Infiltration Data	CURVE_NUMBER
Groundwater	NO
Snow Pack	
LID Controls	0
Land Uses	0
Initial Buildup	NONE
Curb Length	0

User-assigned name of subcatchment

Figura 14: Schermata di definizione dei *Subcatchments* nello SWMM

3.1.1.2 Definizione degli eventi di pioggia

Gli eventi meteorici sono assegnati attraverso i *Rain Gage* che contengono tutte le impostazioni relative alle 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), l'intervallo di registrazione dei dati (ad esempio ogni 15 minuti) e la fonte dati chiamata *Time Series*.

Rain Gage R1	
Property	Value
Name	R1
X-Coordinate	4307.958
Y-Coordinate	6955.017
Description	
Tag	
Rain Format	VOLUME
Time Interval	0:15
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	ANNO TIPO_Pedaso
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	IN
Name of rainfall time series (double-click to edit time series)	

Rain Gage R1	
Property	Value
Name	R1
X-Coordinate	4307.958
Y-Coordinate	6955.017
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:15
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	Pedaso_TR1y_TC1h
DATA FILE:	
- File Name	*
- Station ID	*
- Rain Units	IN
Name of rainfall time series (double-click to edit time series)	

Figura 15: Schermata di definizione del *Rain Gage* nello SWMM

Attraverso la finestra di comando del *Time Series*, i valori di precipitazione espressi in [mm] vengono inseriti manualmente, ad intervalli di tempo regolari, mediante la compilazione di 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.

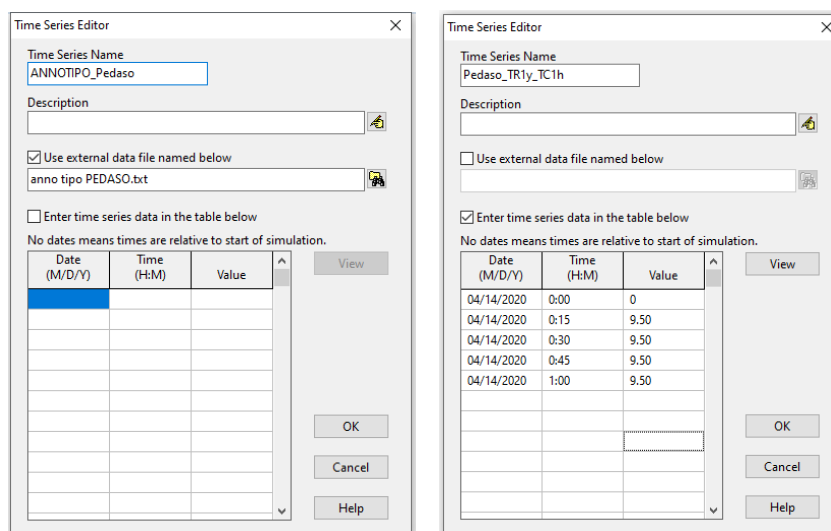


Figura 16: Schermata di definizione dei *Time Series* nello SWMM

I valori di precipitazione inseriti nel modello derivano dall'elaborazione delle piogge.

A tale scopo, per prima cosa sono state individuate le stazioni pluviometriche più adatte per la raccolta e l'elaborazione dei dati in base alla vicinanza al baricentro del bacino idrografico determinato precedentemente.

Il comune di Cupra Marittima non è dotato di nessun pluviografo né di dati storici riguardanti le precipitazioni, motivo per il quale si sono cercate altre stazioni nelle zone limitrofe. In particolare sono state selezionate le stazioni di Pedaso in provincia di Fermo e quella di Grottammare in provincia di Ascoli Piceno posizionate, rispetto al baricentro del bacino, ad una distanza rispettivamente di circa 7 km e 6.3 km.

Per entrambe le stazioni si è costruito l'anno tipo; mentre la determinazione della curva di possibilità pluviometrica è stata possibile solamente per la stazione di Pedaso poiché Grottammare non è dotato di una serie storica di dati ovvero per questa stazione non sono presenti almeno 30-35 anni di misurazioni, necessarie per eseguire l'elaborazione.

3.1.1.2.1 Costruzione delle curve segnalatrici di possibilità pluviometrica mediante l'applicazione del metodo dei casi critici e l'elaborazione statistica secondo Gumbel

Per poter determinare il valore di altezza di pioggia associato a un determinato tempo di ritorno è stato necessario analizzare gli eventi meteorici storici del territorio, ricavabili dal sito della Regione Marche. Nel caso specifico, per la stazione di Pedaso, che è dotata di un pluviografo attivo dal 1922, le altezze di precipitazione sono state estratte da Annali cartacei.

Gli Annali Idrologici, raccolta di dati pubblicati con cadenza annuale, sono composti da una Parte Prima divisa in due sezioni (A, B) relative rispettivamente alla Termometria e Pluviometria e una Parte Seconda costituita da tre sezioni (A, B, C) associate rispettivamente all'Afflusso meteorico, all'Idrometria e alle Portate e Bilanci idrologici.

Per la seguente trattazione è di interesse la Parte Prima, Sezione B, Tab. III che riporta i dati relativi ai valori più elevati delle precipitazioni registrate nell'anno, espresse in [mm], per 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive appartenenti o no allo stesso giorno, per tutte le stazioni dotate di pluviografo.

Nella tabella seguente si riporta uno stralcio della raccolta dati delle precipitazioni di massima intensità registrate ai pluviografi nei diversi anni di osservazione (1933-1997) per la stazione di Pedaso, utilizzati nella trattazione.

Anno	1h	3h	6h	12h	24h
1933	15.40	20.20	32.80	55.60	62.80
1934	25.40	33.00	52.00	64.00	65.60
1935	32.20	32.80	49.00	55.60	55.80
1936	15.00	22.00	42.00	61.60	73.40
.
.
.
.
1994	16.60	19.60	22.20	36.20	65.20
1995	22.00	34.20	34.20	40.80	51.20
1996	26.40	37.40	42.40	44.60	57.40
1997	18.60	36.80	55.20	64.20	70.20

Tabella 6: Precipitazioni di massima intensità 1h, 3h, 6h, 12h, 24h – Stazione di Pedaso

L'obiettivo di questa elaborazione consiste nell'andare a ricavare la curva di possibilità pluviometrica ovvero costruire la legge esponenziale $h = a t^n$, per un determinato tempo di ritorno (che misura la rarità dell'evento), dove:

- h rappresenta l'altezza di pioggia, espressa in [mm];
- a è un parametro funzionale del tempo di ritorno;
- t indica la durata della pioggia considerata, espressa in [ore];

- n è un parametro sempre minore di 1 in quanto all'aumentare del tempo l'intensità di pioggia, data dal rapporto tra l'altezza di pioggia e la durata, diminuisce.

I parametri "a" e "n" sono caratteristici della stazione considerata.

In primo luogo è stata determinata la curva segnalatrice di possibilità pluviometrica dell'ultimo caso critico dopo aver ordinato in modo decrescente i valori di pioggia di Tabella 6 e aver considerato l'ultima riga della matrice così ottenuta, corrispondente al caso critico di interesse. Rappresentando nel piano (h, t) gli elementi dell'ultima riga della matrice si ottiene una spezzata che può essere involupata dalla curva avente equazione $h = a t^n$. I coefficienti "a" e "n" necessari per calcolare il valore dell'altezza di pioggia associata ad una certa durata si sono ricavati direttamente dalla curva ottenuta.

I casi critici non permettono però di valutare la ricorrenza media del verificarsi di un evento e non consentono di allargare il campo delle previsioni oltre il periodo di osservazione; per cui si è svolta anche l'elaborazione statistica di Gumbel per tempi di ritorno pari a 5 e 10 anni.

Secondo tale metodo alle precipitazioni massime di data durata, intese come eventi estremi che costituiscono una serie di elementi tra loro indipendenti, si può applicare la seguente descrizione statistica:

$$X(T_R) = \bar{X} + F \times S_X \quad \text{Equazione I}$$

dove

- $X(T_R)$ rappresenta il valore dell'evento che viene eguagliato o superato mediamente ogni T_R
- \bar{X} (o μ_x) è il valore medio degli eventi considerati
- S_x (o σ_x) è lo scarto quadratico medio della variabile in esame
- F rappresenta il fattore di frequenza

Sostituendo nell'Equazione I, la seguente espressione che la distribuzione di Gumbel assegna a F , si ottiene la relazione finale (Equazione IV), utilizzata per calcolare, per ogni durata "t", le altezze di precipitazione che ricorrono, mediamente, ogni T_R considerato. Dai risultati ottenuti è stato possibile costruire, per entrambi i T_R , le curve di possibilità pluviometriche corrispondenti.

$$F = \frac{Y(T_R) - \bar{Y}_N}{S_N} \quad \text{Equazione II}$$

$$Y(T_R) = -\ln\left(-\ln\frac{T_R - 1}{T_R}\right) \quad \text{Equazione III}$$

- $Y(T_R)$ variabile ridotta
- Y_N (o μ_y) media della variabile ridotta
- S_N (o σ_y) scarto quadratico medio della variabile ridotta

$$X(T_R) = \bar{X} - \frac{S_X}{S_N} \bar{Y}_N + \frac{S_X}{S_N} Y(T_R) \quad \text{Equazione IV}$$

Sia la media che lo scarto quadratico medio della variabile ridotta sono tabulati in funzione del numero di osservazioni N, nel caso specifico pari a 62.

		media ridotta \bar{Y}_N									
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	0.4952	0.4996	0.5035	0.5070	0.5100	0.5128	0.5154	0.5177	0.5198	0.5217	
20	0.5236	0.5252	0.5268	0.5282	0.5296	0.5309	0.5321	0.5332	0.5343	0.5353	
30	0.5362	0.5371	0.5380	0.5388	0.5396	0.5403	0.5411	0.5417	0.5424	0.5430	
40	0.5436	0.5442	0.5448	0.5453	0.5458	0.5463	0.5468	0.5472	0.5477	0.5481	
50	0.5485	0.5489	0.5493	0.5497	0.5501	0.5504	0.5508	0.5511	0.5515	0.5518	
60	0.5521	0.5524	0.5527	0.5530	0.5532	0.5535	0.5538	0.5540	0.5543	0.5545	
		deviazione standard ridotta S_N									
N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
10	1.0010	1.0148	1.0270	1.0378	1.0476	1.0564	1.0644	1.0717	1.0785	1.0847	
20	1.0904	1.0958	1.1008	1.1055	1.1098	1.1140	1.1178	1.1215	1.1250	1.1283	
30	1.1314	1.1344	1.1372	1.1399	1.1425	1.1449	1.1473	1.1496	1.1518	1.1538	
40	1.1559	1.1578	1.1597	1.1614	1.1632	1.1649	1.1665	1.1680	1.1696	1.1710	
50	1.1724	1.1738	1.1752	1.1765	1.1777	1.1789	1.1801	1.1813	1.1824	1.1835	
60	1.1846	1.1856	1.1866	1.1876	1.1886	1.1895	1.1904	1.1913	1.1922	1.1931	

Tabella 7: Valori dei parametri Y_N e S_N secondo Gumbel

Poiché, la legge rappresentativa delle piogge scritta in forma logaritmica $\log h = \log a + n \log t$ permette di ottenere l'equazione di una retta di coefficiente angolare "n" e intercetta all'asse delle ordinate "loga", i valori delle precipitazioni sono state portate nel piano logaritmico dal quale si sono ricavati i coefficienti "a" e "n" necessari per calcolare "h" a diversi tempi "t" attraverso l'applicazione della relazione $h = a t^n$.

Infine, dato che, l'intensità media ragguagliata di pioggia (media sull'estensione della superficie) si riduce all'aumentare dell'area del bacino considerato, i coefficienti "a" e "n" sono stati corretti mediante l'applicazione delle relazioni di Puppini, che per superfici inferiori a 1300 ha, presentano la seguente forma:

$$a' = a \left[1 - 0.052 \frac{S}{100} + 0.002 \left(\frac{S}{100} \right)^2 \right] \quad \text{Equazione V}$$

$$n' = n + 0.0175 \frac{S}{100} \quad \text{Equazione VI}$$

Dall'applicazione di queste equazioni, si sono ottenuti i seguenti valori di "h" corretti.

L'obiettivo finale di questa elaborazione consiste nel determinare le portate massime, per cui si rende necessario considerare durate di precipitazione dell'ordine del tempo di corrivazione, il quale rappresenta l'intervallo di tempo necessario affinché nella sezione di chiusura (in tal caso depuratore) giungano insieme i contributi di tutte le parti che formano il bacino.

A tale scopo si è misurata la distanza tra il punto più lontano della rete fognaria mista e l'impianto di depurazione pari a 4.57 km e si è considerato che la velocità di flusso all'interno dei collettori sia pari a 1 m/s: dal rapporto di queste due grandezze è risultato un tempo di corrivazione pari a 1,3 h per cui ne deriva che dei valori di altezza di precipitazione ricavati, quelli di interesse, inseriti nello SWMM, sono quelli calcolati con un tempo "t" pari a 1h.

3.1.1.2 Precipitazioni in continuo dell'Anno Tipico

Per avere uno scenario di pioggia costituito da dati in continuo si è costruito il cosiddetto Anno Tipo, utilizzando i valori di precipitazione, espressi in [mm], misurati per tutti i giorni dell'anno considerato ad un intervallo di tempo regolare pari a 15 minuti, estratti dal portale SIRMIP online della Protezione Civile della Regione Marche.

Questa elaborazione è stata effettuata per la stazione di Pedaso che dispone di una serie di dati di pioggia in continuo dal 1998 al 2007 e per la stazione di Grottammare avente dati dal 2006 al 2019.

Nella tabella seguente si riporta, per una maggiore comprensione, uno stralcio di valori ricavabili dal portale SIRMIP online.

Codice sensore	Data: Anno	Mese	Giorno	Ora	Minuto	Precipitazione [mm]	Neve [0/1]	Codice stazione
2097	1998	1	1	0	15	0	0	2261
2097	1998	1	1	0	30	0	0	2261
2097	1998	1	1	0	45	0	0	2261
2097	1998	1	1	1	0	0	0	2261
2097	1998	1	1	1	15	0	0	2261
2097	1998	1	1	1	30	0	0	2261
2097	1998	1	1	1	45	0	0	2261
2097	1998	1	1	2	0	0	0	2261
2097	1998	1	1	2	15	0	0	2261
2097	1998	1	1	2	30	0	0	2261
2097	1998	1	1	2	45	0	0	2261
2097	1998	1	1	3	0	0	0	2261
2097	1998	1	1	3	15	0	0	2261
2097	1998	1	1	3	30	0	0	2261
2097	1998	1	1	3	45	0	0	2261
2097	1998	1	1	4	0	0	0	2261

Tabella 8: Stralcio dei dati di precipitazione misurati ogni 15 minuti ricavabili dal portale SIRMIP online per la stazione di Pedaso, anno 1998

Una volta estratti tutti i dati, si sono raggruppati per ogni mese i valori di precipitazione di tutti gli anni oggetto di studio, andando a scartare quelli che non hanno un numero di dati per almeno 1/3 dei giorni del mese considerato. Per chiarezza si riporta un piccolo stralcio di tabella ottenuta per il mese di Gennaio, analoga a quella degli altri mesi.

Mese	Giorno	Ora	Minuto	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
1	1	0	15	0	0	0	0	0	0.6	0.2	0	0	0
1	1	0	30	0	0	0	0	0	0.8	0.6	0	0	0
1	1	0	45	0	0	0	0	0	0.6	0.6	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0.8	0.4	0	0	0
1	1	1	15	0	0	0	0	0	0.6	0	0	0	0
1	1	1	30	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
1	1	1	45	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0
1	1	2	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0
1	1	2	15	0	0	0	0	0	0.2	0.2	0	0	0
1	1	2	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	2	45	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 9: Esempio di dati raggruppati per il mese di Gennaio – stazione di Pedaso

Per determinare i mm di pioggia di ogni mese costituenti l’Anno Tipo, si sono calcolate, in primo luogo, le medie di ogni riga della tabella soprastante, per poi sottrarre al valore medio ricavato, il dato puntuale relativo sempre allo stesso giorno, ora e minuto per ogni anno. Sommando i risultati delle differenze tra media e valore puntuale è stato possibile valutare l’anno caratterizzato dal minor scarto rispetto alla media identificando in tal modo il mese tipo, più vicino all’andamento medio. Questo procedimento si è svolto per tutti i mesi.

Successivamente, al fine di inserire l’Anno Tipo nello SWMM direttamente caricandolo come file esterno, è stato trasformato in un determinato file di testo. Queste operazioni si sono svolte anche considerando separatamente i mesi estivi (Giugno – Settembre) e quelli invernali (Ottobre – Maggio).

Infine, i valori di precipitazione sono stati corretti attraverso l’applicazione della formula di Moisello e Papiri (1986):

$$r = 1 - e^{-2.472 \cdot S^{-0.242} \cdot \theta^{0.6 - e^{-0.643 \cdot S^{0.235}}}}$$

Equazione VII

in cui l’area S è espressa in [km²] e la durata σ in [ore].

Definite le durate degli eventi meteorici, considerando come unici quelli in cui la distanza tra i due eventi successivi risulta inferiore a 1.5 h, si sono calcolati per ogni evento i fattori di riduzione “r”, i

quali moltiplicati per i corrispondenti mm di precipitazione hanno permesso di ricavare l'Anno Tipo Ridotto.

Questi passaggi si sono svolti anche per la stazione di Grottammare.

3.1.1.3 Definizione dei pozzetti

I pozzetti presenti lungo la rete fognaria analizzata, sono stati definiti nel modello come elementi puntuali (*Junction*), ai quali non è possibile assegnare un volume di invaso. In particolare, le informazioni richieste nella finestra di comando riguardano:

- *Inflows* che permette di convogliare nel pozzetto uno specifico flusso.
- *Invert Elevation* espressa in [m] che rappresenta l'altitudine del fondo del pozzetto;
- *Max depth* definita in [m] che indica la profondità del pozzetto.

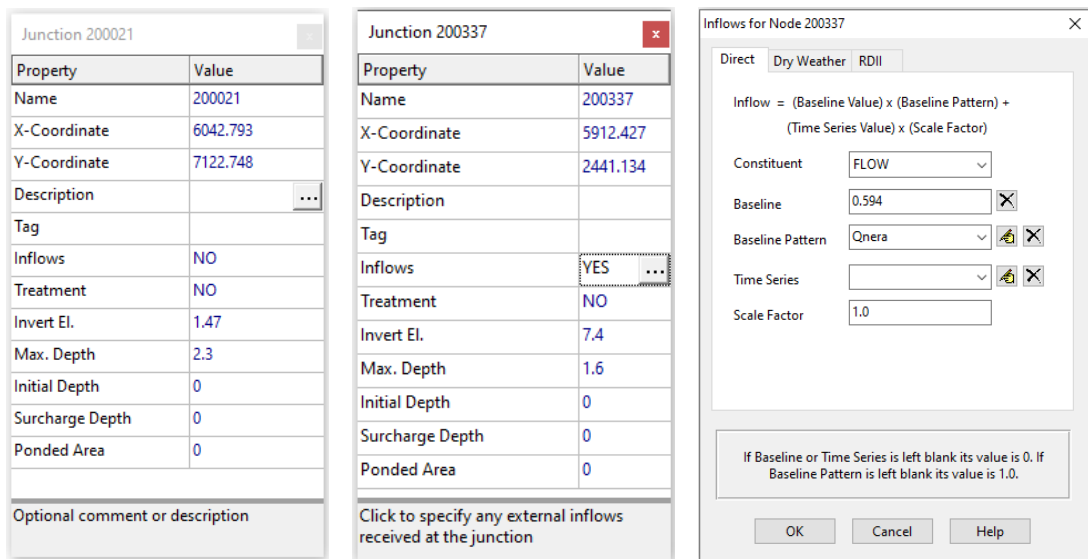


Figura 17: Schermata di definizione dei *Junction* nello SWMM

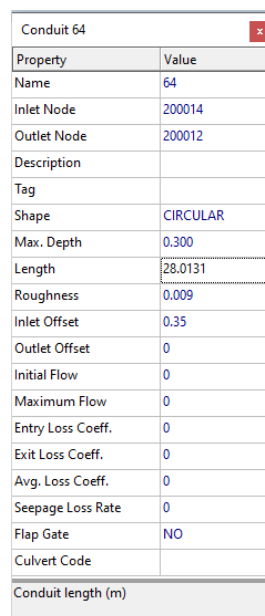
Tutte le informazioni geometriche sono state ricavate dalle schede di ricognizione dei pozzetti fognari fornite dalla CIIP spa in cui vengono descritte le caratteristiche generali, quelle del chiusino, del pozzetto, delle condotte in ingresso e in uscita ed è indicata la posizione dello specifico pozzetto in planimetria. Purtroppo però, in queste schede non sono descritti tutti i pozzetti presenti in rete per cui per quelli delle serie 201 e 202 la profondità è stata assunta come valore medio di quella dei pozzetti noti collocati subito a monte e a valle dello stesso e per differenza, con la quota altimetrica

determinata attraverso le curve di livello, si è ricavata l'*Invert Elevation*. Infatti per lo SWMM l'altitudine è data dalla somma del *Max Depth* e dell'*Invert Elevation*.

Inoltre, per alcuni pozzetti è risultato necessario anche nominarli, oltre a definirne le caratteristiche, poiché non sono state fornite alcune informazioni a riguardo.

3.1.1.4 Definizione delle condotte

Dopo aver creato tutti i pozzetti nel modello, essi sono stati collegati tramite l'inserimento di condotte (*Conduit*) che consentono il trasferimento dell'acqua da un punto ad un altro della rete.



Property	Value
Name	64
Inlet Node	200014
Outlet Node	200012
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	0.300
Length	28.0131
Roughness	0.009
Inlet Offset	0.35
Outlet Offset	0
Initial Flow	0
Maximum Flow	0
Entry Loss Coeff.	0
Exit Loss Coeff.	0
Avg. Loss Coeff.	0
Seepage Loss Rate	0
Flap Gate	NO
Culvert Code	
Conduit length (m)	

Figura 18: Schermata di definizione *Conduit* nello SWMM

Per la definizione delle condotte, come si può vedere dalla Figura 18, deve essere scelta la forma della sezione trasversale per la quale vanno impostati i parametri geometrici; nel caso specifico si ha a che fare con condotte per lo più di forma circolare, solo una piccola quantità è di forma rettangolare.

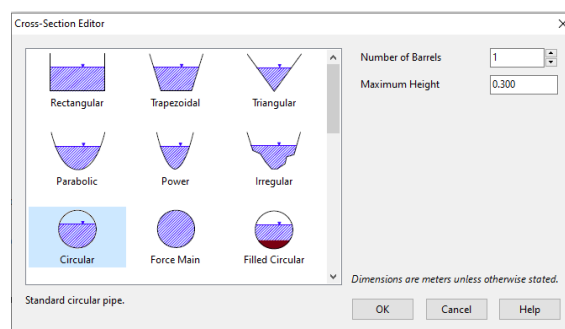


Figura 19: Editor della sezione trasversale della condotta

Le caratteristiche in termini dimensionali, di materiale utilizzato e di estensione della condotta sono state ricavate mediante l'utilizzo del programma QGIS.

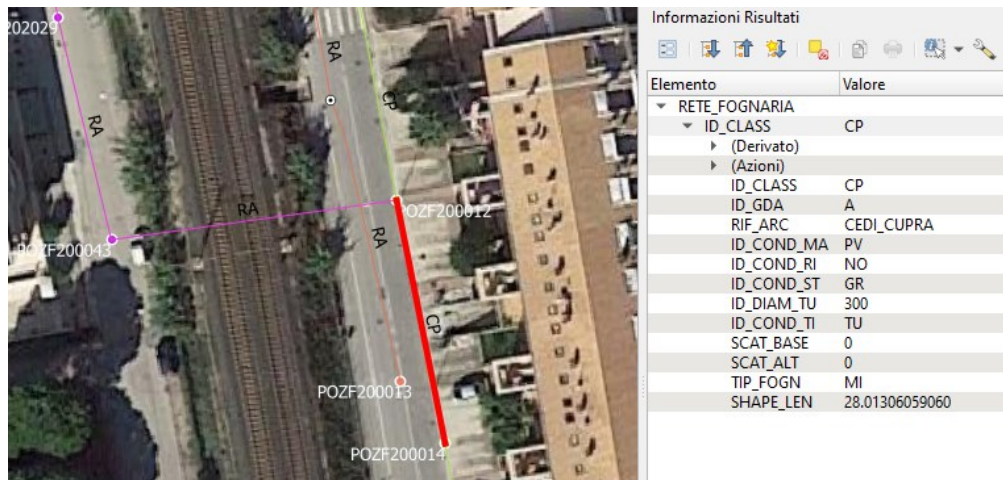


Figura 20: Esempio schermata informazioni QGIS

In base al materiale con il quale sono realizzate le condotte si sono definiti i coefficienti di scabrezza (*Roughness*) ovvero i coefficienti di Manning espressi in $[s/m^{1/3}]$, i quali risultano pari a:

- PVC: 0.009
- CLS: 0.013
- Polietilene AD: 0.009
- Gres: 0.015
- Acciaio: 0.012
- Ghisa sferoidale: 0.013
- C8 (PPL SN8): 0.009
- CC (PPL SN16): 0.009
- CD (Corrugato doppia parete interno liscio): 0.009

Inoltre, per la definizione delle condotte è necessario avere anche informazioni in termini di *Inlet Offset* e *Outlet Offset* che rappresentano rispettivamente l'altezza rispetto al fondo del pozzetto di valle e quello di monte; informazioni ricavate dalle schede di ricognizione dei pozzetti fognari fornite dalla CIIP spa.

La pendenza delle condotte non viene richiesta dallo SWMM in quando viene calcolata automaticamente in base all'*Invert Elevation* dei pozzetti a monte e a valle della tubazione.

3.1.1.5 Definizione degli scolmatori

Le informazioni di tutti i 13 scolmatori di piena presenti lungo la rete fognaria si sono ricavate da schede fornite dalla CIIP spa in cui vengono descritti tali manufatti. In particolare per ogni sfioratore viene indicato il codice della vasca e dello scarico in ambiente, la tipologia di scolmatore (su sollevamento o di linea), la sua localizzazione (coordinate Gauss-Boaga) e la natura dei reflui. Inoltre vengono forniti anche dati gestionali e di progetto; ovvero ci sono indicazioni a riguardo delle utenze idriche domestiche allacciate alla pubblica fognatura a monte dello scolmatore, degli abitanti equivalenti derivanti da scarichi industriali e totali a monte della vasca, della dotazione idrica pro capite [250 l/ab/d], del coefficiente di afflusso in rete, del coefficiente di infiltrazione in rete e del rapporto di diluizione utilizzato per poter identificare inizialmente gli scolmatori più critici. Noti gli AE totali a monte di ogni scolmatore, per differenza si sono ricavati i Δ AE ovvero il numero di AE presenti tra un manufatto e l'altro; informazione utile per la localizzazione dei campionamenti.

Grazie alle indicazioni derivanti dalla pianta e sezione di ogni manufatto, fornite sempre dal gestore, è stato possibile riprodurre gli scolmatori nello SWMM in analogia alla realtà. A seconda della tipologia di scolmatore, su sollevamento o di linea, essi si sono schematizzati in maniera differente nel modello.

<i>SCOLMATORE ID MANUFATTO</i>	<i>TIPOLOGIA SCOLMATORE</i>
VASCA00047	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00048	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00058	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00049	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00050	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00051	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00054	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00057	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00417	SCOLMATORE SU SOLLEVAMENTO
VASCA00331	SCOLMATORE DI LINEA
VASCA00388	SCOLMATORE DI LINEA
VASCA00335	SCOLMATORE DI LINEA
VASCA00336	SCOLMATORE DI LINEA

Tabella 10: Tipologie di scolmatori presenti lungo la rete fognaria

Per una maggiore comprensione del lavoro svolto, di seguito si riporta un esempio di sfioratore e relativa schematizzazione nello SWMM per entrambe le tipologie di scolmatori presenti.

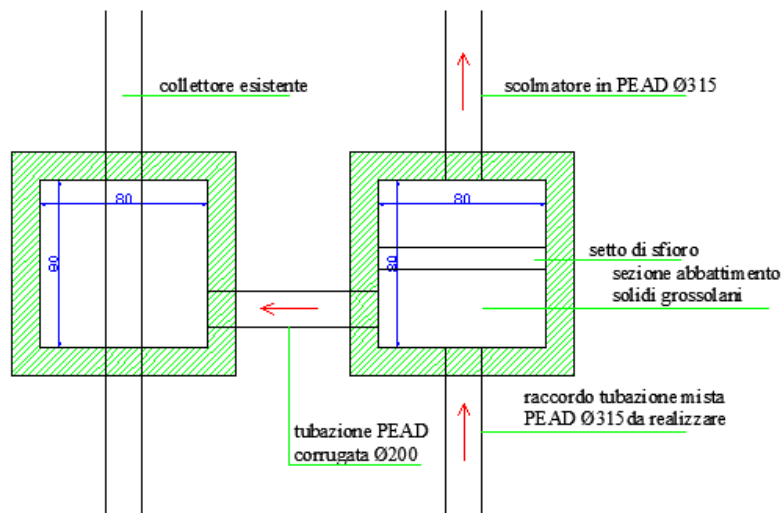


Figura 21: Pianta VASCA00335 – Scolmatore di linea

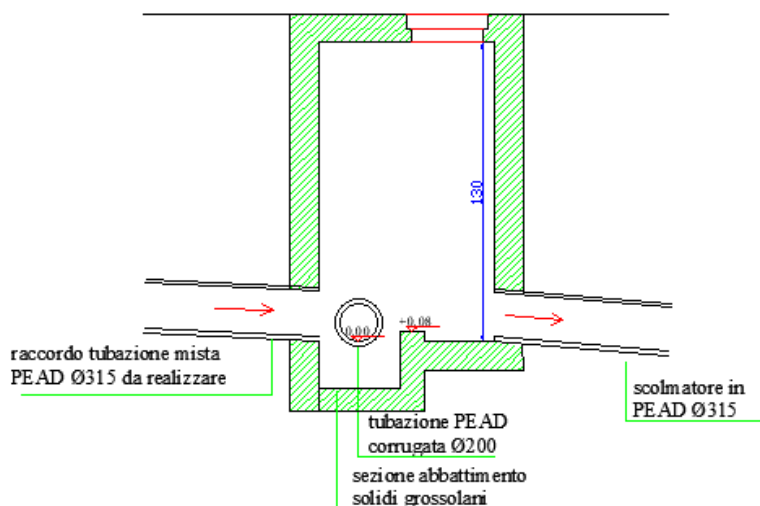


Figura 22: Sezione VASCA00335 – Scolmatore di linea

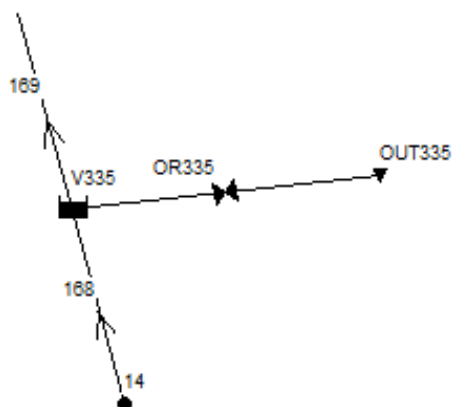


Figura 23: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore di linea – VASCA00335

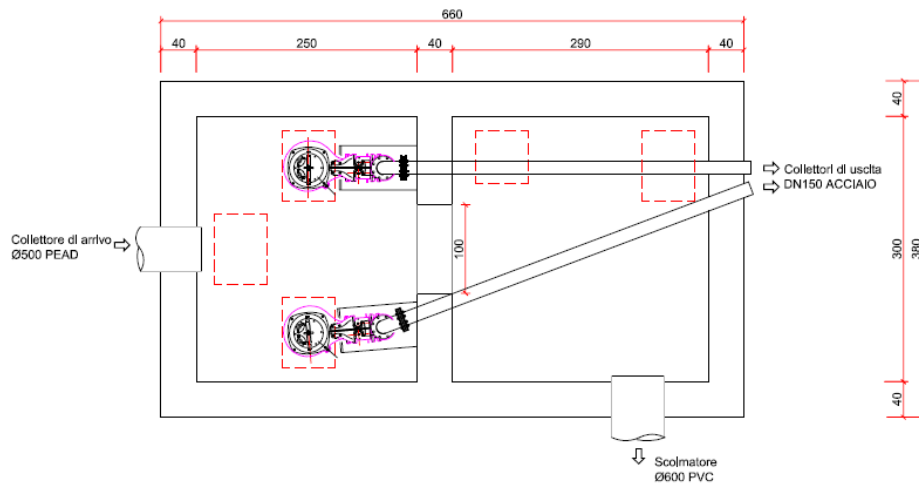


Figura 24: Pianta VASCA00048 – Scolmatore su sollevamento

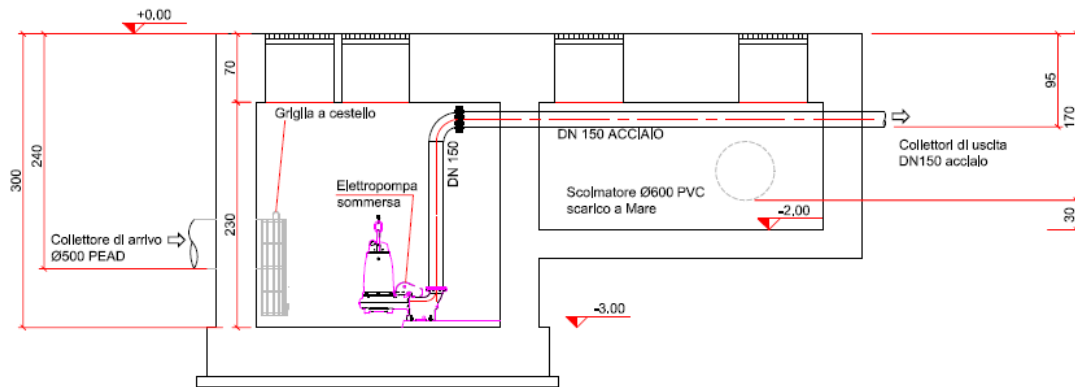


Figura 25: Sezione trasversale VASCA00048 – Scolmatore su sollevamento

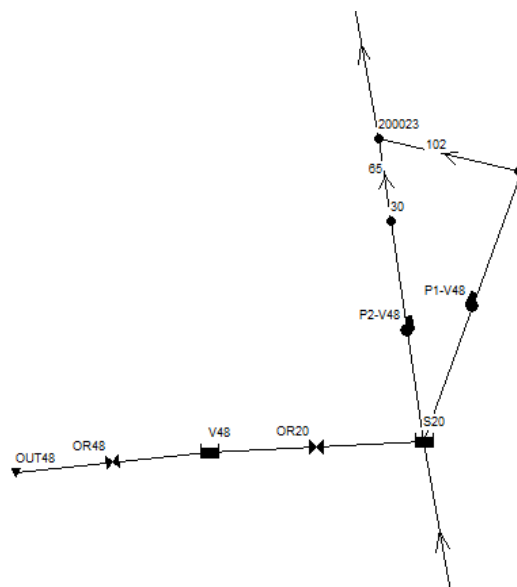


Figura 26: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore su sollevamento con vasche separate – VASCA00048

In entrambe le schematizzazioni (Figure 23 e 26) il volume degli sfioratori è rappresentato mediante lo *Storage Unit* che, tramite l'*Orifice*, scolma la portata in eccesso in uno specifico punto identificato con l'*Outfall*. In aggiunta, per gli scolmatori su sollevamento, è rappresentata un'ulteriore vasca connessa allo scolmatore con un secondo *Orifice* e collegata alle pompe che risiedono in tale vasca.

In alcuni casi le due vasche (scolmatore e sollevamento) coincidono, ovvero le pompe si trovano nello stesso ambiente in cui sono presenti le tubazioni di scolmo, come ad esempio per la vasca 00058, e in tal caso lo schema utilizzato è il seguente.

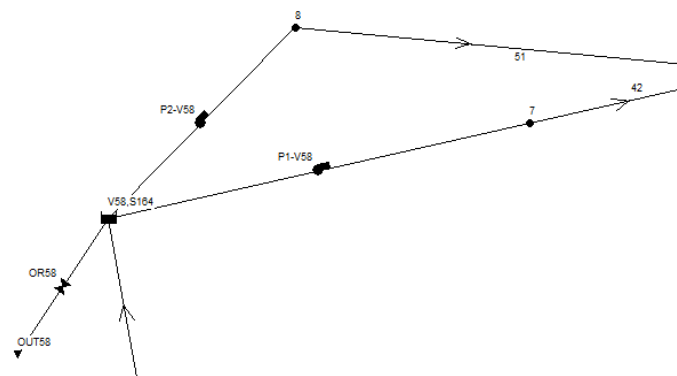


Figura 27: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore su sollevamento con vasca unica – VASCA00058

Per la definizione dello *Storage Unit*, facendo parte della categoria dei *Nodes* ovvero essendo un elemento puntuale, così come è stato fatto per i pozzetti anche in questo caso si sono inseriti i valori di *Max Depth* (profondità interna vasca dal p.c.) e *Invert Elevation*.

Property	Value
Name	V48
X-Coordinate	6062.304
Y-Coordinate	6734.876
Description	...
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	2
Max. Depth	2
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0
Evap. Factor	0
Seepage Loss	NO
Storage Curve	TABULAR
Functional Curve	
Coefficient	1000
Exponent	0
Constant	0
Tabular Curve	
Curve Name	STOV48
Optional comment or description	

Figura 28: Schermata di definizione dello *Storage Unit* nello SWMM

La capacità di stoccaggio delle vasche ovvero il loro volume si è definito attraverso lo *Storage Curve* che prevede l'assegnazione di un *Tabular Curve*, opzione utilizzata nel caso specifico, oppure di un *Functional Curve* che richiede la definizione di un coefficiente, di un esponente e di una costante. A tale scopo, si sono definite le caratteristiche geometriche dello scolmatore tramite la creazione del *Curve Storage*, uno per ogni vasca, che consente, mediante la compilazione di una tabella, di indicare il valore della superficie lungo tutta la sua altezza. Per verificare che lo SWMM traduca in modo corretto i valori inseriti, è possibile visualizzare la geometria della vasca mediante il comando *View*.

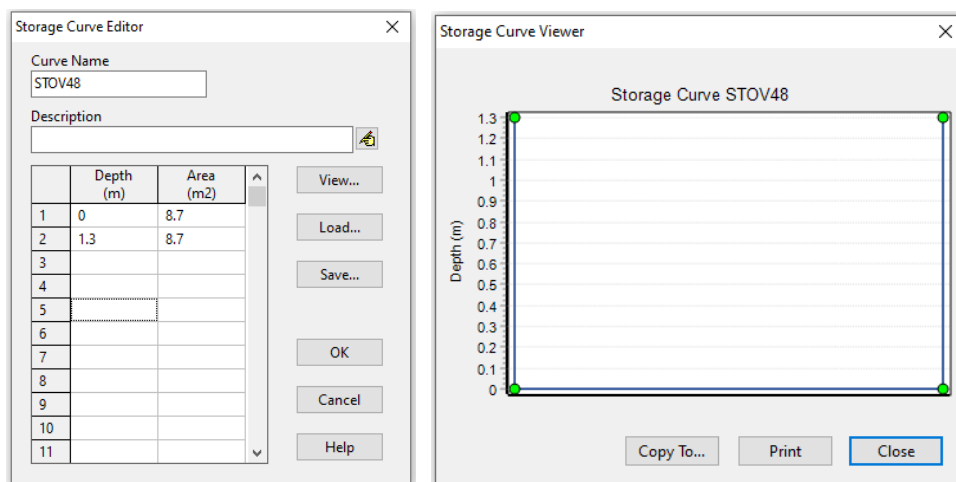


Figura 29: Schermata di definizione dello *Storage Curve* nello SWMM

I medesimi passaggi si sono eseguiti anche per la definizione delle vasche di sollevamento, quando presenti.

L'*Orifice*, che svolge il compito di scolmare la portata in eccesso, viene definito nella finestra di comando dello SWMM assegnando tipologia e forma, ovvero si deve indicare la posizione dello scolmo che può essere laterale, come per tutte le vasche oggetto di studio, o sul fondo della vasca, e la sezione che può essere circolare o rettangolare. Quasi tutti gli sfioratori oggetto di studio hanno tubazioni circolari, per i quali viene indicato solo il diametro. Inoltre è richiesta l'indicazione dell'*Inlet Offset* che rappresenta l'altezza della tubazione di sfioro rispetto al fondo vasca; all'aumentare di questa distanza diminuisce la frequenza di scolmo.

Orifice OR48	
Property	Value
Name	OR48
Inlet Node	V48
Outlet Node	OUT48
Description	...
Tag	
Type	SIDE
Shape	CIRCULAR
Height	0.6
Width	0
Inlet Offset	0.3
Discharge Coeff.	0.65
Flap Gate	NO
Time to Open/Close	0
Optional comment or description	

Figura 30: Schermata di definizione dell'*Orifice* nello SWMM

Per la simulazione degli sfioratori, in realtà lo SWMM mette a disposizione un altro elemento denominato *Weir* che risulta più adatto a simulare scolmatori che si estendono in lunghezza, come ad esempio quelli a stramazzo laterale; questo elemento non è mai stato utilizzato nel presente studio.

Un altro elemento utilizzato per la schematizzazione degli scolmatori di piena è l'*Outfall*, il quale, tramite la sua finestra di comando, viene definito solamente impostando l'*Invert Elevation* in modo tale che si trovi ad una quota inferiore rispetto alla vasca corrispondente. Non è necessario definire tutte le altre caratteristiche in quanto questa unità serve unicamente al modello per convogliare l'acqua scolmata dall'*Orifice*.

Outfall OUT48	
Property	Value
Name	OUT48
X-Coordinate	6018.987
Y-Coordinate	6730.364
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO ...
Invert El.	0
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE
Fixed Outfall	
Fixed Stage	0
Tidal Outfall	
Curve Name	*
Time Series Outfall	
Series Name	*
Click to specify any pollutant removal supplied at the outfall	

Figura 31: Schermata di definizione dell'*Outfall* nello SWMM

Oltre a questi elementi, nel caso di scolmatori su sollevamenti, si sono inserite anche le pompe il cui funzionamento è stato descritto mediante la creazione di *Pump Curve*, una per ogni tipologia di pompa. Queste curve di funzionamento, riportate nel modello mediante la compilazione della tabella nella finestra di comando del *Pump Curve*, sono state fornite dalla CIIP spa. Per verificare che lo SWMM traduca in modo corretto i valori inseriti, è possibile visualizzare il grafico H-Q mediante il comando *View*.

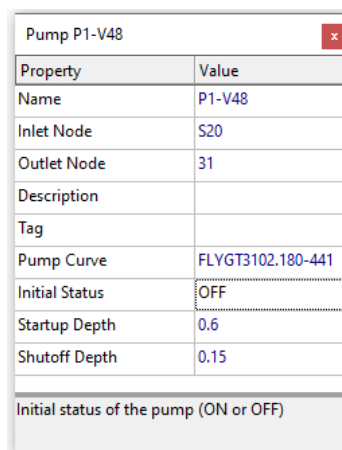


Figura 32: Schermata di definizione delle pompe nello SWMM

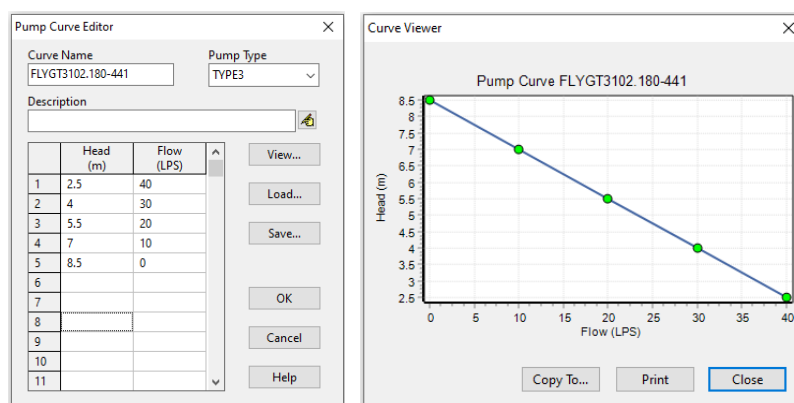


Figura 33: Schermata di definizione del *Pump Curve* nello SWMM

Per alcune pompe è stato possibile verificare anche la portata effettivamente sollevata grazie all'elaborazione dei livelli presenti in vasca, forniti dalla CIIP spa. Infatti, moltiplicando la differenza dei livelli per la superficie della vasca si è ricavato il volume sollevato [m³] e dal rapporto tra i volumi sollevati cumulati e i corrispondenti tempi cumulati si è ricavata la portata effettivamente sollevata. Da questa elaborazione è riscontrato che la portata sollevata reale risulta inferiore a quella deducibile dalle curve di funzionamento fornite, per cui ne segue che non sono rappresentative delle condizioni operative reali a causa dell'invecchiamento delle pompe. Per sopperire a tale problema si è inserito un coefficiente *Entry Loss Coefficient*, stabilito in base alla portata reale sollevata dalla pompa nelle condotte immediatamente a valle.

3.1.2 Modello qualitativo

Dai risultati delle analisi effettuate in laboratorio di campioni prelevati in sito è possibile definire le caratteristiche delle acque reflue che, inserite nel modello, consentono al software di riprodurre, oltre al deflusso delle acque, anche il carico inquinante. Quindi, dopo aver creato il modello idraulico attraverso la definizione di tutti gli elementi che costituiscono la rete fognaria oggetto di studio, si è definito il modello qualitativo inserendo nello SWMM i valori delle concentrazioni ottenute, al fine di effettuare studi e considerazioni quali-quantitative.

Per prima cosa, si sono creati nel modello diversi macroinquinanti attraverso il comando *Pollutant Editor*, in cui, per ogni sostanza, si è definita l'unità di misura (mg/l per TKN, COD, BOD₅ e TSS; Count/l per i Coli) e si è assegnata la *Rain Concentration* associata all'evento meteorico, ricavata da letteratura.

Property	Value
Name	TKN
Units	MG/L
Rain Concen.	0.52
GW Concen.	0.0
I&I Concen.	0.0
DWF Concen.	0.0
Init. Concen.	0.0
Decay Coeff.	0.0
Snow Only	NO
Co-Pollutant	*
Co-Fraction	0.0

User-assigned name of the pollutant.

OK Cancel Help

Figura 34: Schermata di definizione del *Pollutant* nello SWMM

Gli inquinanti di interesse per le simulazioni, e quindi inseriti nello SWMM, sono i seguenti:

- TSS (Solidi Sospesi Totali);
- TKN (Total Kjeldahl Nitrogen);
- COD (Chemical Oxygen Demand);
- BOD₅ (Biochemical Oxygen Demand);
- Escherichia Coli.

3.1.2.1 Determinazione ed introduzione dei flussi degli inquinanti

Come già anticipato al paragrafo precedente, al fine di determinare i flussi di inquinanti da inserire nel modello, si sono effettuate delle campagne di campionamento in sito. I campioni prelevati sono stati poi analizzati in laboratorio attraverso l'applicazione delle metodiche standard.

Dopo aver creato i diversi inquinanti e aver completato le prove ottenendo i risultati desiderati, si sono inseriti, in determinati pozzetti, i valori delle concentrazioni attraverso la funzione *Inflow*, così da simulare un flusso di sostanze entranti nello specifico nodo.

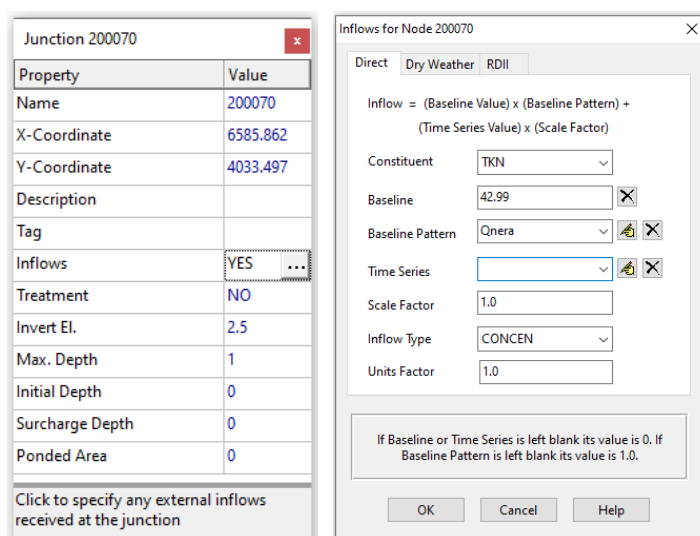


Figura 35: Schermata di inserimento del flusso di inquinante nel nodo, nello SWMM

La modalità di inserimento degli inquinanti scelta nel presente studio è quella diretta (*Direct*) che, come si può vedere in Figura 36, si basa sulla seguente equazione:

$$Inflow = (Baseline Value) \cdot (Baseline Pattern) + (Time Series Value) \cdot (Scale Factor)$$

in cui il *Baseline Value* rappresenta la concentrazione, alla quale può essere applicato il *Baseline Pattern* che definisce dei fattori moltiplicativi orari, giornalieri o mensili tenendo conto dell'andamento della Seasonal. Lo *Scale Factor* svolge una funzione analoga a quella del *Baseline Pattern* ovvero modifica i valori del *Time Series*.

L'*Inflow Type*, ossia il tipo di dato inserito, è il valore di concentrazione espresso in mg/l o Count/l che, moltiplicandolo per la portata immessa nel medesimo nodo riportata in LPS (litri/secondo), consente di ottenere il carico di massa in mg/s e Count/s.

Ne segue che l'*Units Factor* è pari 1, poiché le unità di misura sono confrontabili.

3.1.2.2 Determinazione dei flussi di dilavamento degli inquinanti

Particolare attenzione deve essere posta anche ai contaminanti presenti nelle acque di dilavamento che possono derivare da rifiuti solidi, deiezioni animali, detriti vegetali, ma anche inquinanti depositati sulle superfici impermeabili dovute al traffico motorizzato (idrocarburi, piombo, rame, cromo, nichel, etc.) che hanno elevata tossicità.

A tal proposito, lo SWMM consente anche di simulare i flussi di dilavamento delle sostanze accumulate sulla superficie dei diversi sottobacini, i quali dipendono dagli usi del suolo, attraverso le funzioni *Buildup* e *Washoff* e a tale scopo, si è definito un *Land Use* da assegnare a ciascun Subcatchment in funzione della percentuale di superficie impermeabile.

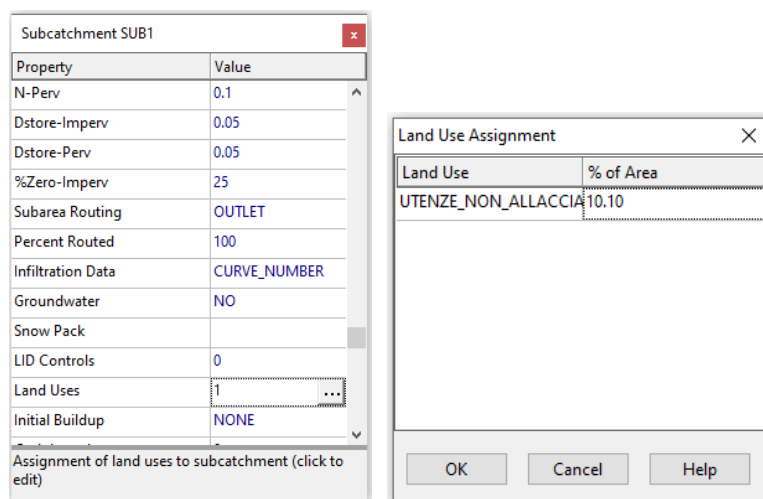


Figura 36: Schermata di assegnazione del *Land Use* nei *Subcatchment*, nello SWMM

Per la definizione del *Land Use*, innanzitutto si è scelta una delle funzioni di *Buildup* tra le quattro opzioni a disposizione:

- *Power Function (POW)* secondo la quale l'accumulo è proporzionale al tempo elevato ad una potenza, fino ad ottenere un valore massimo;
- *Exponential Function (EXP)* per cui l'accumulo è descritto da una curva di crescita esponenziale che si avvicina asintoticamente ad un limite massimo,
- *Saturation Function (SAT)* in cui l'accumulo è definito mediante una velocità lineare che diminuisce costantemente fino al raggiungimento della saturazione;
- *External Time Series (EXT)* che definisce la velocità di accumulo giornaliero come funzione del tempo.

La funzione esponenziale, utilizzata in nel presente studio, è descritta dalla seguente equazione:

$$b = B_{max}(1 - e^{-K_B t})$$

Equazione VIII

dove

- B_{max} rappresenta il buildup limite ovvero l'accumulo massimo ed è espresso come [massa/area];
- K_B è la costante di velocità, espressa in [giorni⁻¹].

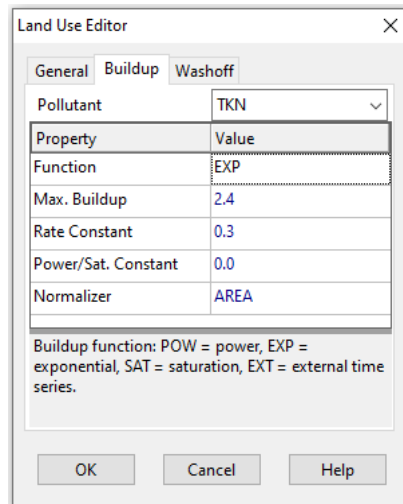


Figura 37: Schermata di definizione del *Buildup* nello SWMM

Così come per il *Buidup*, anche per il *Washoff* si è scelta una, tra le seguenti funzioni disponibili:

- *Exponential Washoff (EXP)* per cui il carico di dilavamento è direttamente proporzionale al deflusso idrico elevato a potenza e alla quantità di sostanza accumulata (buildup);
- *Rating Curve Washoff (RC)* secondo il quale la velocità di dilavamento è data dal prodotto del deflusso elevato ad un esponente per un altro coefficiente;
- *Event Mean Concentration (EMC)* per cui il dilavamento comporta una riduzione delle sostanze accumulate fino al loro esaurimento.

La funzione esponenziale, scelta anche in questo caso, è descritta dall'equazione:

$$W = K_w q^{N_w} m_B$$

Equazione IX

dove

- K_w rappresenta il coefficiente di washoff
- q indica la velocità di deflusso idrico [mm/h]
- N_w rappresenta l'esponente di washoff
- m_B è il buildup

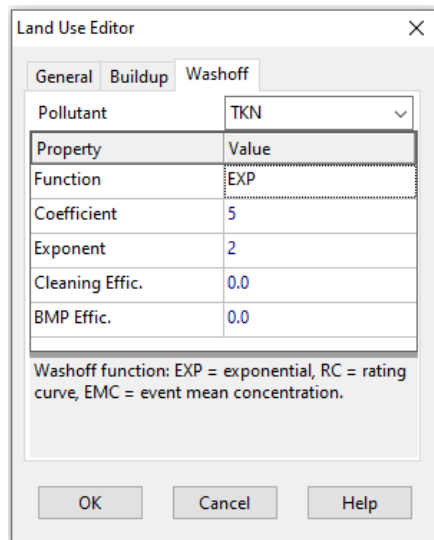


Figura 38: Schermata di definizione del *Washoff* nello SWMM

Dopo aver definito *Buidup* e *Washoff*, ossia il *Land Use*, si sono assegnate queste caratteristiche a tutti i sottobacini, differenziando le superfici coinvolte in base all'estensione delle aree impermeabili, specifiche di ogni sottobacino.

3.1.3 Campionamenti

I campionamenti in sito si sono resi necessari al fine di poter effettuare, dopo aver inserito nello SWMM i risultati delle analisi, valutazioni qualitative dei flussi che transitano in rete e calibrare correttamente il modello costruito. La scelta delle vasche in cui effettuare i prelievi si è basata sulla variazione numerica degli AE allacciati lungo la rete fognaria e da tali considerazioni si sono effettuati i campionamenti nei seguenti punti:

- PUNTO 1: Campione medio 24 ore in ingresso al depuratore Taffetani
- PUNTO 2: Campione istantaneo in ingresso al depuratore Taffetani
- PUNTO 3: Campione medio 24 ore in uscita dal depuratore Taffetani
- PUNTO 4: Campione istantaneo a monte della vasca di sollevamento VASCA00057 (FOSSO MENOCCHIA) che raccoglie i flussi provenienti dalla condotta posta a ovest rispetto all'impianto di depurazione. Nello specifico questo campionamento si è eseguito in ingresso impianto, in un punto, prima che il flusso proveniente da ovest si mescoli con quelli proveniente da sud;

- PUNTO 5: Campione istantaneo a monte della vasca di sollevamento VASCA00058 (HOTEL CRISTAL SECONDO), che raccoglie il flusso proveniente dalla zona interna a sud del depuratore di un numero elevato di AE pari a circa 2000;
- PUNTO 6: Campione istantaneo a monte della vasca di sollevamento VASCA00049 (HOTEL CRISTAL PRIMO), che raccoglie un numero cospicuo di AE pari a 3059 proveniente dalla rete parallela alla costa posta a sud dell'impianto di depurazione.

I flussi sollevati dalla VASCA00058 e dalla VASCA00049 si sono prelevati nel medesimo punto immediatamente a valle delle stesse, semplicemente azionando in modo alternato le pompe.

Per maggiore chiarezza, si riporta nelle figure seguenti, uno schema della rete con indicazione degli AE e ΔE presenti lungo la rete e la posizione dei punti campionati.

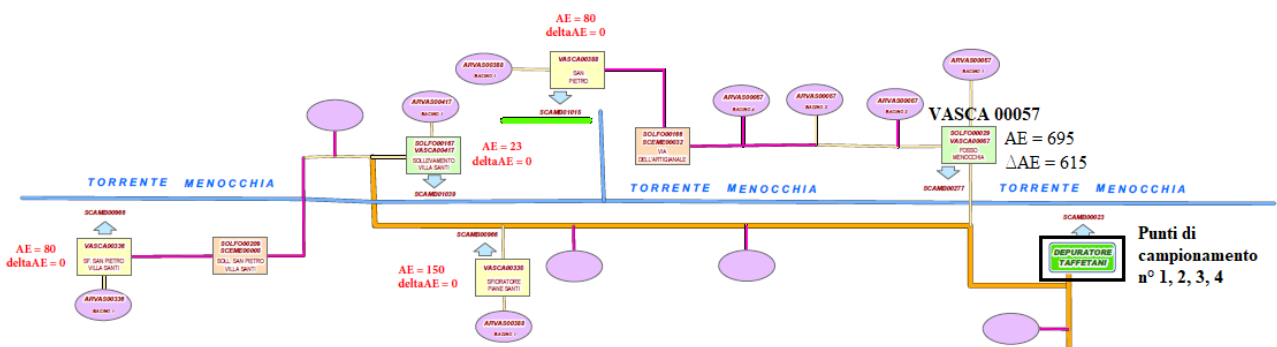


Figura 39: Individuazione dei punti di campionamento n° 1, 2, 3, 4

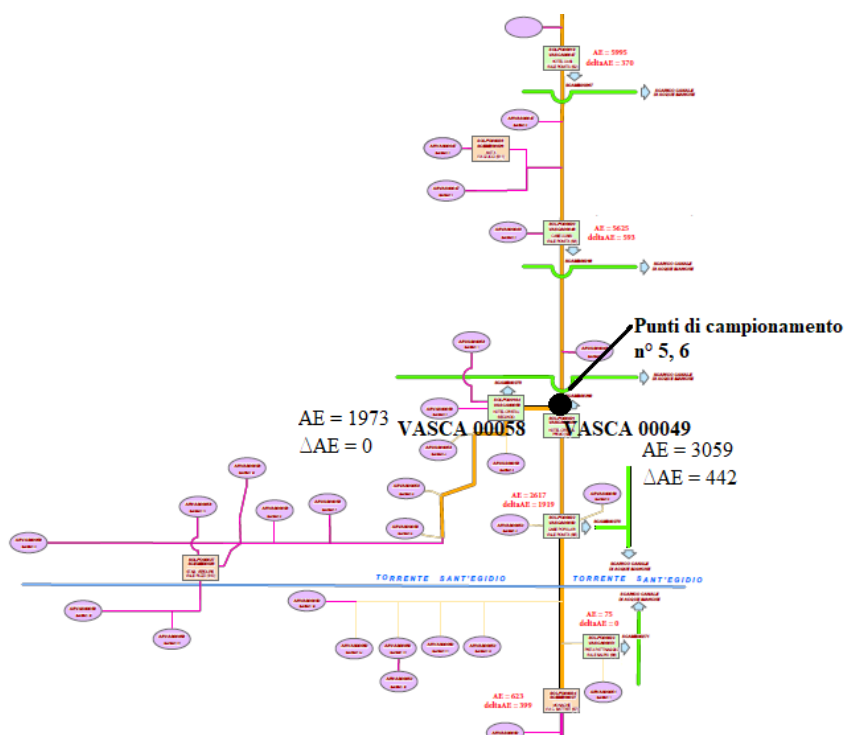


Figura 40: Individuazione dei punti di campionamento n° 5, 6

I campioni prelevati, trasportati e conservati secondo quanto previsto dalle metodiche standard (APHA; 2005 e Istituto di Ricerca Superiore sulle Acque), sono stati analizzati in laboratorio UNIVPM. In particolare si sono analizzati i seguenti parametri:

- pH;
- Alcalinità totale;
- TSS;
- MLSS;
- MLVSS;
- BOD₅;
- COD;
- N-NH₄;
- TKN;
- Anioni e Cationi;
- Escherichia Coli.

il cui dettaglio delle prove eseguite è riportato nell'Appendice.

3.1.4 Calibrazione e validazione del modello

Dopo aver costruito il modello da un punto di vista idraulico e qualitativo, prima di effettuare diverse simulazioni per capire il funzionamento degli scolmatori, si è reso necessario verificare la bontà dei dati inseriti al fine di avere un sistema quanto più simile a quello reale e quindi ottenere dei risultati in output sufficientemente accurati.

La validazione del modello si è svolta confrontando i valori delle concentrazioni e dei carichi di massa in ingresso impianto, simulati e osservati.

Per prima cosa, si sono quindi determinate le concentrazioni estrapolando i valori dei diversi inquinanti in output dal modello, che si è fatto girare per un giorno senza il contributo di pioggia, e si sono mediati i valori ottenuti dalle analisi dei due campioni prelevati così da ottenere un valore medio per le diverse sostanze.

Successivamente, essendo il carico di massa il prodotto delle concentrazioni per la portata, si sono analizzate le portate in ingresso impianto in modo da ottenere un valore di portata specifica espresso in [l/AE/d], escluso il contributo di diluizione, utilizzato per calcolare i kg/d osservati dei diversi

inquinanti. A tale scopo, si è calcolato per i mesi di Maggio e Giugno degli anni 2017, 2018 e 2019 il valore medio della percentuale di diluizione sul totale che ha consentito di definire il valore di portata in ingresso impianto privo di diluizione. In seguito, si è calcolata la media delle portate giornaliere in ingresso impianto dei due giorni di campionamento, che, moltiplicata per le concentrazioni medie ha permesso di ricavare il carico di massa del BOD₅, del COD e del TKN. Dividendo i valori ottenuti per i rispettivi fattori di carico unitario si sono determinati gli AE, i quali rapportati al valore di portata privo di diluizione, hanno consentito di ricavare le corrispondenti portate sversate. Dai risultati ottenuti, si è deciso di utilizzare il valore su base TKN pari a 176 l/AE/d.

Il carico di massa simulato è stato estrapolato direttamente dal modello; lo SWMM infatti restituisce i kg totali ed essendo la simulazione di un giorno, essi corrispondono ai kg/d.

Una volta determinati tutti i contributi, dal confronto dei valori simulati con quelli osservati, si è riscontrato che il modello risulta accettabile, come si evidenzia dalla tabella seguente.

$$PBIAS = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{sim,i} - Q_{obs,i}) \times 100}{\sum_{i=1}^N (Q_{obs,i})}$$

Table 4. General performance ratings for recommended statistics for a monthly time step.

Performance Rating	RSR	NSE	PBIAS (%)		
			Streamflow	Sediment	N, P
Very good	0.00 ≤ RSR ≤ 0.50	0.75 < NSE ≤ 1.00	PBIAS < ±10	PBIAS < ±15	PBIAS < ±25
Good	0.50 < RSR ≤ 0.60	0.65 < NSE ≤ 0.75	±10 ≤ PBIAS < ±15	±15 ≤ PBIAS < ±30	±25 ≤ PBIAS < ±40
Satisfactory	0.60 < RSR ≤ 0.70	0.50 < NSE ≤ 0.65	±15 ≤ PBIAS < ±25	±30 ≤ PBIAS < ±55	±40 ≤ PBIAS < ±70
Unsatisfactory	RSR > 0.70	NSE ≤ 0.50	PBIAS ≥ ±25	PBIAS ≥ ±55	PBIAS ≥ ±70

Tabella 11: Percentuali di accettabilità del modello

(“Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations”, D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith)

3.1.5 Simulazioni e determinazione degli impatti

Nel modello si sono definiti i possibili scenari che si possono verificare per il caso oggetto di studio così da valutare, sulla base dei risultati estrapolati dallo SWMM, gli impatti ambientali in termini qualitativi e quantitativi che si verificano nel corpo idrico ricettore.

In particolare, gli scenari di simulazione considerati sono i seguenti:

- SIMULAZIONE 1: riferita a un tempo di ritorno di 1 anno e tempo di corrivazione di 1 ora;
- SIMULAZIONE 2: considera tempo di ritorno di 5 anni e tempo di corrivazione di 1 ora;
- SIMULAZIONE 3: considera tempo di ritorno di 10 anni e tempo di corrivazione di 1 ora;
- SIMULAZIONE 4.1: riferita all'anno tipo ridotto, da gennaio a dicembre, senza considerare le utenze non allacciate
- SIMULAZIONE 4.2: riferita all'anno tipo ridotto, relativo ai soli mesi invernali (gennaio – maggio; settembre – dicembre), senza considerare le utenze non allacciate;
- SIMULAZIONE 4.3: riferita all'anno tipo ridotto, relativo ai soli mesi estivi (giugno – agosto), senza considerare le utenze non allacciate;
- SIMULAZIONE 4.4: riferita all'anno tipo ridotto, da gennaio a dicembre, considerando le utenze non allacciate;
- SIMULAZIONE 4.5: riferita all'anno tipo ridotto, relativo ai soli mesi invernali (gennaio – maggio; settembre – dicembre), considerando le utenze non allacciate;
- SIMULAZIONE 4.6: riferita all'anno tipo ridotto, relativo ai soli mesi estivi (giugno – agosto), considerando le utenze non allacciate.

Prima di effettuare le diverse simulazioni, come impostazioni di base si è deciso di stabilire come schema di infiltrazione il *Curve Number* e come *Routing Model* il *Dynamic Wave*.

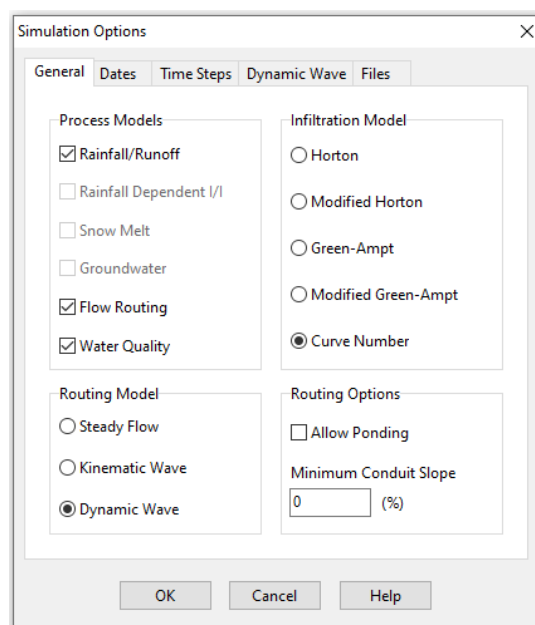


Figura 41: Schermata di definizione delle impostazioni generali prima di avviare l'analisi

Al variare della simulazione considerata, si sono poi impostati diversi intervalli di giorni in cui far girare il modello, in accordo con il periodo temporale in cui si sono introdotti i valori delle

precipitazioni nel *Time Series*. Per tutte le simulazioni si è impostato lo *Start Analysis on* in maniera coincidente con lo *Start Reporting on*.

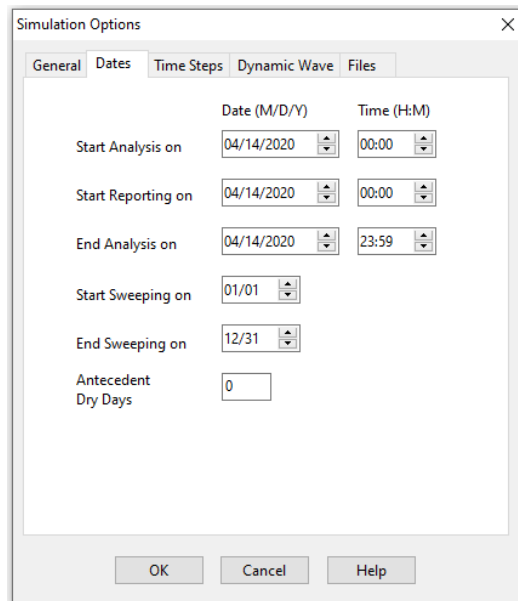


Figura 42: Schermata di definizione *Dates*

Infine, si sono impostati i *Time Steps*, ovvero vengono stabiliti i tempi in cui ogni quanto vengono forniti i risultati.

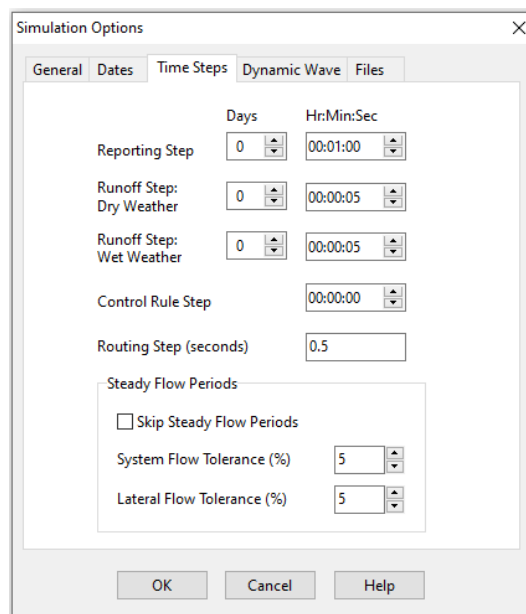


Figura 43: Schermata di definizione del *Time Steps*

I risultati di questi diversi scenari di simulazione sono riportati nel Capitolo 4.

3.2 Impianto di Peschiera: schematizzazione del bacino e simulazioni semplificate degli afflussi in fognatura

L'impianto di depurazione di Peschiera Borromeo, situato in provincia di Milano, rientra tra i principali campi di applicazione del progetto DWC per cui, a sostegno di ciò, nel presente elaborato di tesi, si è calcolata la portata afferente all'impianto attraverso l'applicazione del metodo cinematico. Tale aspetto supporta l'importante connessione tra l'infrastruttura fognaria e le caratteristiche quantitative e qualitative dei reflui affluenti all'impianto, soprattutto, qualora vengano trattati ai fini del riutilizzo.

Il metodo cinematico fa parte dei modelli idrologici che consentono il passaggio afflussi-deflussi e quindi, conoscendo le precipitazioni e le caratteristiche del bacino, permette di calcolare la portata di massima piena. Esso presuppone un comportamento lineare del bacino e ipotizza che l'intensità di pioggia sia costante su tutto il bacino stesso. Il parametro fondamentale è il tempo di corrivazione in corrispondenza del quale si verifica la portata massima nella sezione di chiusura, in tal caso rappresentata dall'impianto di depurazione.

Secondo tale metodo la portata "Q" in ingresso impianto si calcola mediante la seguente relazione:

$$Q = \frac{S_{TOT} \cdot \bar{\phi} \cdot h}{t_c} \quad \text{Equazione X}$$

dove

- S_{TOT} rappresenta la superficie totale del bacino espressa in [ha];
- $\bar{\phi}$ è il coefficiente di deflusso medio;
- h è l'altezza di precipitazione in [mm];
- t_c indica il tempo di corrivazione espresso in [ore].

A tale scopo, per prima cosa, si è individuato il bacino idrografico in base alle informazioni, fornite dal gestore, riguardanti i comuni serviti dall'impianto (Brugherio, Carugate, Cassina de' Pecchi, Cernusco sul Naviglio, Cologno Monzese, Peschiera Borromeo, Pioltello, Segrate, Vimodrone, quartieri Est di Milano). Pertanto, in virtù anche del fatto che il territorio servito è piuttosto pianeggiante, si è adottata tale semplificazione facendo corrispondere l'area del bacino con i limiti comunali. Tramite Autocad si è ricavata la superficie totale del bacino, da inserire nella formula per il calcolo della portata.

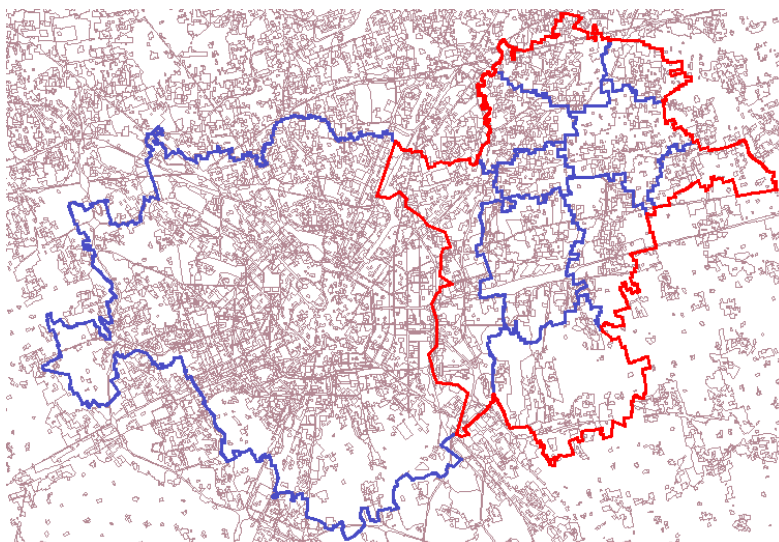


Figura 44: Individuazione del bacino idrografico – Impianto di Peschiera Borromeo

Tramite il QGIS si sono poi individuate le aree impermeabili, la cui somma è risultata pari a circa 7000 ha. Per differenza tra la superficie totale e quella impermeabile, si è ricavata l'estensione della zona permeabile.

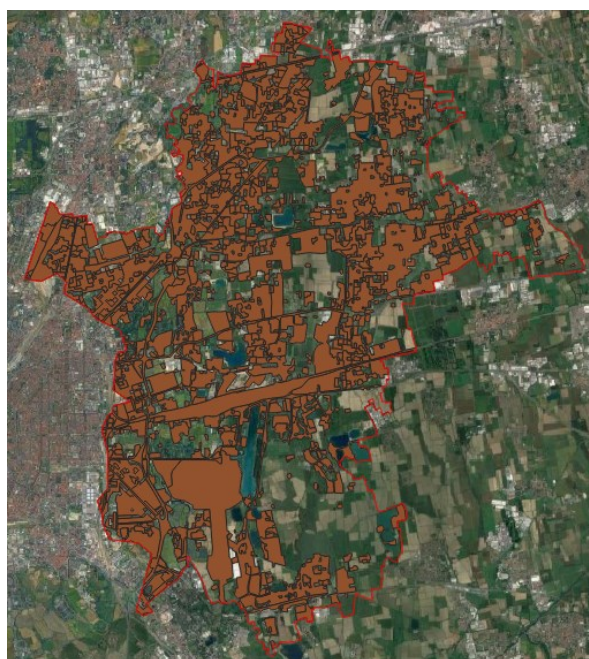


Figura 45: Individuazione aree impermeabili – bacino idrografico Peschiera

Questo passaggio si è reso necessario al fine di poter calcolare il coefficiente di deflusso medio. Infatti, Φ assume valori intorno a 0.1-0.3 nel caso di terreno completamente permeabile e 0.8-0.9 nel caso di superfici completamente impermeabili. Nel caso specifico si è considerato un coefficiente di deflusso pari a 0.2 per le aree permeabili e 0.8 per quelle impermeabili.

Tramite l'applicazione dell'equazione seguente si è calcolato il coefficiente di deflusso medio, necessario per il calcolo della portata.

$$\bar{\phi} = \frac{\sum \phi_i S_i}{S_{TOT}}$$

Equazione XI

dove Φ_i indica il coefficiente di deflusso associato alla superficie i-esima "S_i".

Successivamente, si è individuata nel QGIS la posizione dell'impianto di depurazione al fine di misurare la distanza tra il punto più lontano del bacino e il depuratore stesso. Facendo il rapporto tra questa distanza e la velocità di flusso in rete, assunta pari a 1 m/s, si è calcolato il tempo di corrivazione.

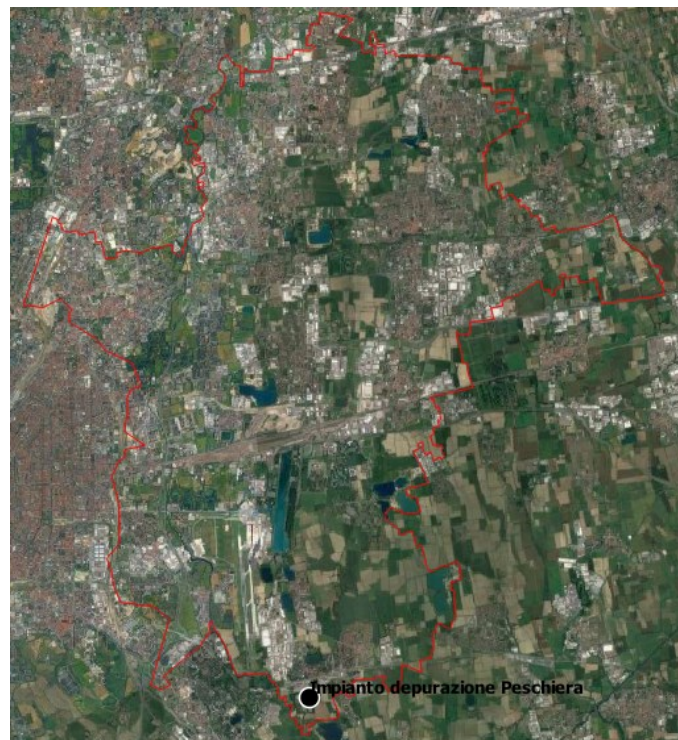


Figura 46: Posizione impianto di depurazione di Peschiera Borromeo

Infine, con lo scopo di determinare l'altezza di precipitazione "h" si sono misurate nel QGIS le distanze tra il baricentro del bacino e le diverse stazioni pluviometriche presenti in zona, individuando così quelle di Rodano v.Turati e di Milano Lambrate come quelle più vicine, rispettivamente posizionate ad una distanza pari a circa 4.7 km e 3.7 km, e aventi un numero abbastanza elevato di misurazioni.



Figura 47: Posizione stazioni pluviometriche rispetto al baricentro del bacino

Per queste stazioni, si sono poi scaricati i dati delle precipitazioni orarie e giornaliere dal sito della Regione Lombardia per tutti gli anni di misurazione. In particolare per la stazione di Rodano sono disponibili i valori delle altezze di pioggia per 22 anni (da gennaio 1999 a giugno 2020), mentre per la stazione di Milano Lambrate sono scaricabili 20 anni di misurazioni (da fine giugno 2001 a giugno 2020). Questi valori di precipitazione si sono poi elaborati, individuando innanzitutto le piogge di massima intensità per 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive per poi applicare il metodo dei casi critici e svolgere l'elaborazione statistica di Gumbel al fine di determinare l'altezza di precipitazione associata all'ultimo caso critico e ai tempi di ritorno di 5 e 10 anni. I passaggi eseguiti sono i medesimi descritti nel capitolo 3.1.1.2.1 relativi alla stazione di Pedaso.

In tal caso, essendo la superficie del bacino inferiore a 600 km², i coefficienti “a” e “n” si sono corretti applicando le seguenti relazioni di Puppini:

$$a' = a \left[1 - 0.084 \frac{S}{100} + 0.007 \left(\frac{S}{100} \right)^2 \right] \quad \text{Equazione XII}$$

$$n' = n + 0.014 \frac{S}{100} \quad \text{Equazione XIII}$$

Considerando il tempo “t” in giorni, utilizzando a’ e n’, si sono ottenuti, per T_R pari a 1, 5 e 10 anni, i valori delle altezze di precipitazioni corretti: $h = a' t^{n'}$.

Calcolate le diverse altezze di pioggia associate alle varie simulazioni, delle i-sime stazioni considerate, si è applicato il metodo delle distanze inverse al fine di calcolare il valore dell'altezza ragguagliata ossia relativa all'intero bacino. Per cui, note le distanze tra le i-sime stazioni e il baricentro del bacino, per prima cosa si sono calcolati i pesi w_i di entrambe le stazioni applicando le seguenti equazioni, specifiche per Rodano v.Turati e Milano Lambrate:

$$w_{Rodano} = \frac{\frac{1}{d_R^2}}{\frac{1}{d_R^2} + \frac{1}{d_M^2}} \quad \text{Equazione XIV}$$

$$w_{Milano\ Lambrate} = \frac{\frac{1}{d_M^2}}{\frac{1}{d_R^2} + \frac{1}{d_M^2}} \quad \text{Equazione XV}$$

dove

- d_R rappresenta la distanza tra il baricentro del bacino e la stazione di Rodano;
- d_M rappresenta la distanza tra il baricentro del bacino e la stazione di Milano Lambrate.

L'altezza di pioggia ragguagliata, associata alle diverse simulazioni e quindi ai differenti tempi di ritorno, si è calcolata come segue:

$$\overline{h_{TRi}} = w_{Rodano} \cdot h_{TRi,Rodano} + w_{Milano} \cdot h_{TRi,Milano\ L.} \quad \text{Equazione XVI}$$

Quindi da questa elaborazione si ricavano tre valori di altezze di pioggia, associate a tempi di ritorno di 1 anno, 5 anni e 10 anni; ai quali corrispondono determinati valori di portata in ingresso impianto, rappresentativi degli eventi più gravosi.

Poiché l'obiettivo è quello di avere delle misure in tempo reale delle portate in ingresso impianto, si è svolta anche un'elaborazione delle altezze di precipitazione online di diverse stazioni pluviometriche presenti nel bacino oggetto di studio così che, al variare del giorno considerato, è possibile avere la portata di run off associata. Di seguito si riportano le stazioni considerate con i relativi pesi, calcolati come indicato nelle equazioni XIV e XV.

	Distanza baricentro – stazione pluviometrica [m]	w_i
Rodano v. Turati	4680.135	0.2805
Milano Lambrate	3722.164	0.4435
Milano v. Juvara	7009.287	0.1251
Cinisello Balsamo	9261.865	0.0716
Milano Rossellini	8804.775	0.0793

Tabella 12: Stazioni pluviometriche e relativi pesi



Figura 48: Posizione stazioni pluviometriche rispetto al baricentro del bacino

La portata di run off si calcola mediante l'applicazione del metodo cinematico, considerando come altezza di pioggia quella media pesata dei diversi valori di "h" medi, del giorno di interesse, associati alle stazioni utilizzate.

In particolare, si è scelto come giorno di pioggia il 21.10.2019 in quanto per questa data, la CAP ha fornito i valori delle portate in ingresso a tre delle otto vasche di laminazione presenti lungo la rete fognaria.

Ne segue dunque che la portata in ingresso impianto in tempo di pioggia è data dalla differenza tra quella di run off e quella laminata, calcolata come somma dei contributi medi della portata

registrata in ingresso a ciascuna vasca per il giorno di interesse. Per le vasche che non dispongono di dati relativi alla giornata considerata, si sono presi in considerazione i valori di portata registrati in giorni con caratteristiche simili, in termini di pioggia, al 21.10.2019.

Si evidenzia che, per la vasca di Brughiero, non sono state fornite informazioni riguardo del quantitativo laminato, per cui, per tener conto anche di tale contributo, si è scelto di assegnare a questo manufatto, a vantaggio di sicurezza, il valore minimo delle portate registrate nelle altre vasche.

Successivamente, si è eseguita una validazione idraulica al fine di verificare che non ci sia troppa differenza tra la portata totale in ingresso impianto misurata e quella calcolata, ottenuta sommando alla portata in ingresso impianto in tempo di pioggia (Q_{run off} – Q laminazione) quella in tempo secco. Quest'ultimo contributo si ricava dalle tabelle di marcia, fornite dalla CAP, di entrambe le linee (L1, L2) che costituiscono l'impianto di depurazione, facendo la somma dei valori medi registrati in tempo secco per il mese di ottobre.

Dalle tabelle marcia, si è ricavato anche il valore della portata totale misurata in ingresso impianto in tempo di pioggia eseguendo la somma dei due contributi relativi al 22.10.2019 in modo da considerare il tempo di corrivazione.

Da questo confronto risulta uno scarto del 18%, ritenuto accettabile anche in virtù del fatto che sicuramente il contributo laminato reale dalla vasca di Brughiero è maggiore rispetto a quello ipotizzato.

Una volta verificato idraulicamente il modello, si sono calcolati i carichi di massa in ingresso impianto in tempo di pioggia per i macroinquinanti principali, considerando come concentrazioni i valori minimi e massimi associati alla pioggia totale indicati in letteratura.

CON PAPIRI		
Inquinante	TOTAL RAIN	UM
COD	91	mg/l
TKN	1.42	mg/l
BOD5	36	mg/l
TSS	131	mg/l
E. Coli	17500	UFC/l

Tabella 13: Valori di concentrazione massima di pioggia ricavati da letteratura

SENZA PAPIRI		
Inquinante	TOTAL RAIN	UM
COD	56.29	mg/l
TKN	0.70	mg/l
BOD5	9.86	mg/l
TSS	64.18	mg/l
E. Coli	17500	UFC/l

Tabella 14: Valori di concentrazione minima di pioggia ricavati da letteratura

Moltiplicando queste concentrazioni per il valore di portata in ingresso impianto in tempo di pioggia ($Q_{run\ off} - Q_{laminazione}$) si sono ottenuti i kg/d, associati ai diversi inquinanti, in condizioni minime e massime.

La stessa cosa si è svolta anche in tempo secco, considerando come concentrazioni la media dei valori registrati nel mese di ottobre (pioggia no) così da determinare i kg/d in ingresso impianto, in tale condizione. Si evidenzia che, poiché non sono stati forniti i valori relativi agli E.Coli si sono utilizzati quelli indicati da letteratura (*Report to Congress on Implementation and Enforcement of the Combined Sewer Overflow Control Policy; EPA*). Inoltre, per la linea L2 si è esclusa una serie di dati in quanto presentava valori anomali.

Infine, sommando i kg/d ottenuti in tempo secco per entrambe le linee dei vari inquinanti con quelli ricavati in tempo di pioggia, distinti in condizioni minime e massime, si sono ottenuti i carichi di massa totali in ingresso impianto relativi alla giornata considerata.

Per completezza, si è svolta anche una calibrazione qualitativa mediante il confronto tra i carichi di massa misurati, ricavati dalle tabelle di marcia per il giorno 22.10.2019 (sommando i contributi L1 e L2) e calcolati, come indicato sopra; da cui si evince la necessità di calibrare il modello.

Capitolo 4: Risultati e discussione

4.1 Modello idraulico- Agglomerato Cupra Marittima

In questo paragrafo, si riportano tutte le caratteristiche degli elementi formanti il modello idraulico, descritto nel capitolo 3.1.1, costituito da *Subcatchment*, *Rain Gage*, *Junction*, *Conduit*, *Storage Unit*, *Orifice* e *Outfall*.

Per quanto riguarda i *Subcatchment*, nella tabella sottostante si può vedere che il sottobacino 9 è stato suddiviso in quattro parti di uguale area in maniera tale da suddividere l'immissione dell'afflusso meteorico nei quattro pozzetti associati ed evitare così problemi di allagamento, non corrispondenti alla realtà. Pertanto, diversamente da quanto precedentemente indicato nel paragrafo 3.1.1.1, i sottobacini introdotti nel modello risultano pari a 16.

Subcatchment	Area tot. [ha]	Area urbanizzata [ha]	Area tetti [ha]
SUB1	4.90	2.23	0.32
SUB2	9.25	1.28	0.18
SUB3	65.64	7.83	1.15
SUB4	18.45	2.17	0.16
SUB5	24.37	7.63	0.92
SUB6	26.44	7.00	0.74
SUB9	4.83	2.85	0.66
SUB9a	4.83	2.85	0.66
SUB9b	4.83	2.85	0.66
SUB9c	4.83	2.85	0.66
SUB10	2.66	2.66	0.72
SUB11	2.23	2.23	0.73
SUB12	21.71	8.92	0.60
SUB13	26.61	4.02	0.31
SUB14	3.60	1.92	0.24
SUB15	6.43	3.98	0.82

Tabella 15: Aree sottobacini

Le caratteristiche associate ad ogni sottobacino, immesse nel modello, sono riassunte nella tabella seguente in cui si può notare che le pendenze risultano piuttosto basse poiché la zona oggetto di studio è perlopiù pianeggiante con piccole zone collinari allontanandosi dalla costa.

Subcatchment	Outlet	Area urbanizzata [ha]	Width [m]	% Slope	% Impervious
SUB1	202088	2.23	96.13	1.96	21.49
SUB2	13	1.28	260.69	8.46	21.68
SUB3	14	7.83	739.67	10.14	22.07
SUB4	15	2.17	147.17	4.79	10.69
SUB5	28	7.63	638.54	2.62	18.09
SUB6	16	7.00	620.77	4.70	21.13
SUB9	200226	2.85	627.42	14.94	46.33
SUB9a	201988	2.85	627.42	14.94	46.33
SUB9b	201993	2.85	627.42	14.94	46.33
SUB9c	202101	2.85	627.42	14.94	46.33
SUB10	25	2.66	199.39	1.50	53.83
SUB11	200337	2.23	82.74	7.43	65.47
SUB12	200560	8.92	274.27	13.90	10.13
SUB13	22	4.02	209.17	5.50	11.49
SUB14	26	1.92	289.16	3.05	24.92
SUB15	200074	3.98	541.93	0.51	41.03

Tabella 16: Caratteristiche dei sottobacini inserite nello SWMM

Relativamente all'elaborazione della pioggia, i cui risultati si sono inseriti nel modello attraverso la creazione dei *Time Series*, di seguito si riportano i grafici e le tabelle ottenute dall'applicazione del metodo dei casi critici e dell'elaborazione statistica di Gumbel (per $T_R = 5$ e 10 anni), realizzata per la stazione di Pedaso.

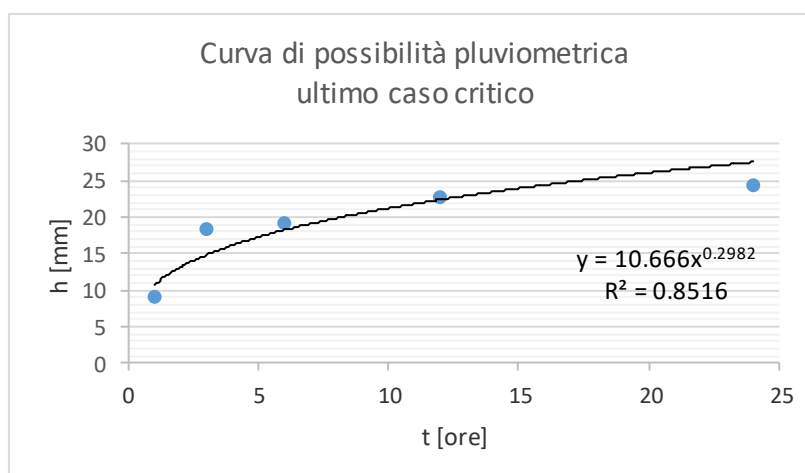


Grafico 2: Curva di possibilità pluviometrica – ultimo caso critico

tc [ore]	1
a	10.666
n	0.2982
h [mm]	10.666

Tabella 17: Altezza di precipitazione – ultimo caso critico

	1h	3h	6h	12h	24h
Media μ_x	25.10	35.41	44.84	55.61	69.25
Sqm σ_x	10.6571	15.8879	23.6969	32.0022	38.5155
N dati	62	62	62	62	62
$Y_N (\mu_y)$	0.5527	0.5527	0.5527	0.5527	0.5527
$S_N (\sigma_y)$	1.1866	1.1866	1.1866	1.1866	1.1866

Tabella 18: Valori di media e scarto quadratico medio della variabile in esame e di quella ridotta

$Y(T_R=5 \text{ anni})$	1.4999
$Y(T_R=10 \text{ anni})$	2.2504

Tabella 19: Valori delle variabili ridotte corrispondenti a tempi di ritorno di 5 e 10 anni

t [ore]	1	3	6	12	24
h [mm]	33.6041	48.0927	63.7555	81.1532	99.9978

Tabella 20: Altezze di precipitazione, per ogni durata “t”, che ricorrono mediamente ogni $T_R = 5$ anni

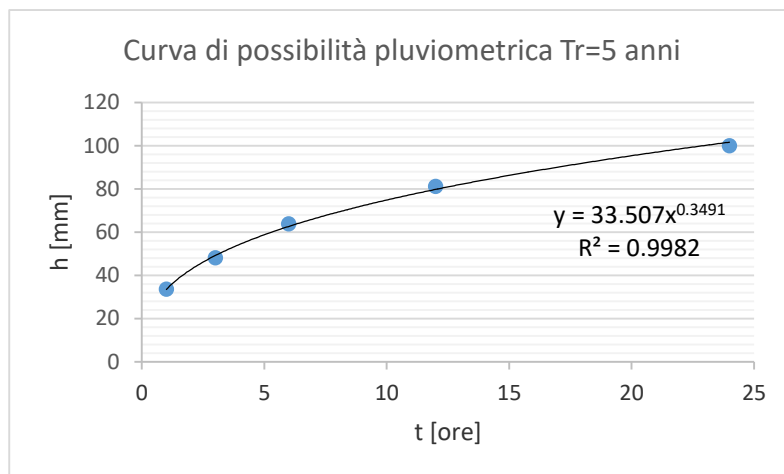


Grafico 3: Curva di possibilità pluviometrica – $T_R = 5$ anni

t [ore]	1	3	6	12	24
h [mm]	40.3439	58.1405	78.7418	101.3920	124.3556

Tabella 21: Altezze di precipitazione, per ogni durata “t”, che ricorrono mediamente ogni $T_R = 10$ anni

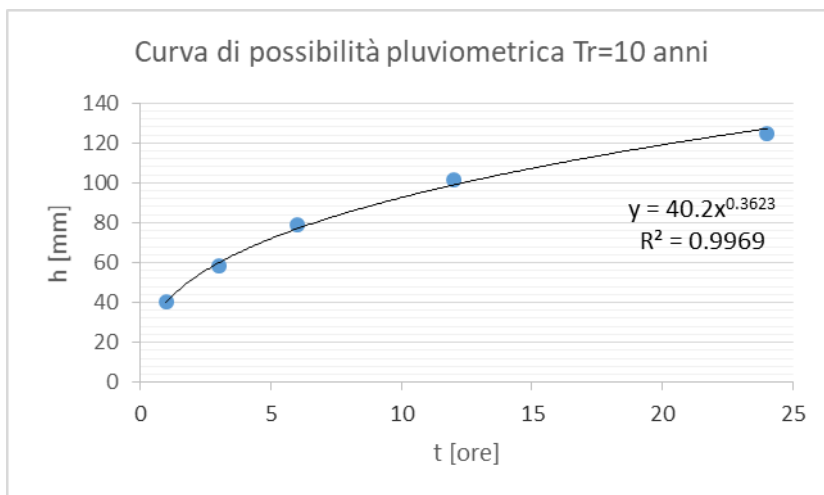


Grafico 4: Curva di possibilità pluviometrica – $T_R = 10$ anni

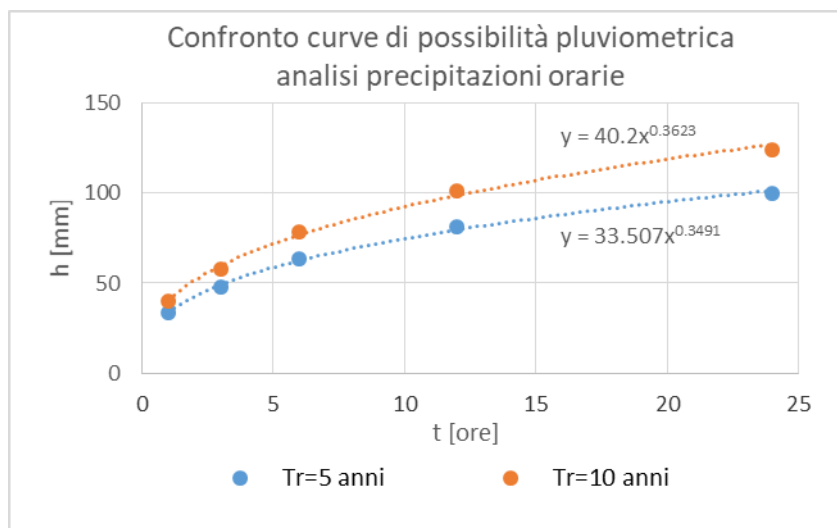
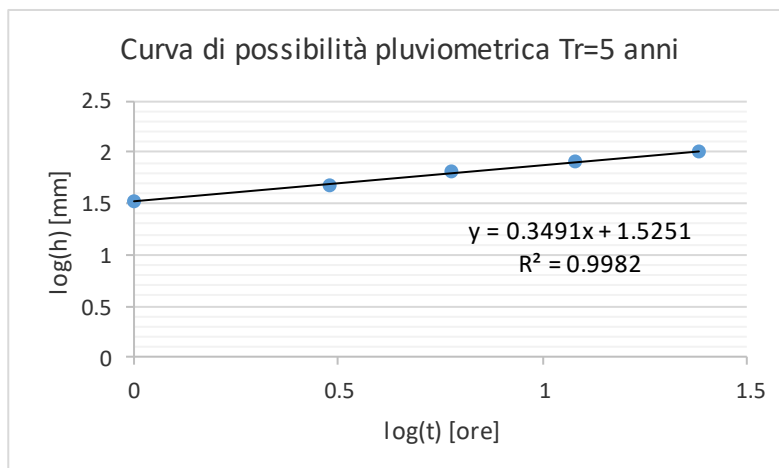


Grafico 5: Confronto curve di possibilità pluviometrica - $T_R = 5$ anni, 10 anni

log(t) [ore]	0	0.4771	0.7782	1.0792	1.3802
log(h) [mm]	1.5264	1.6821	1.8045	1.9093	2

Tabella 22: Valori di log(t) e log(h) relativi a $T_R = 5$ anni



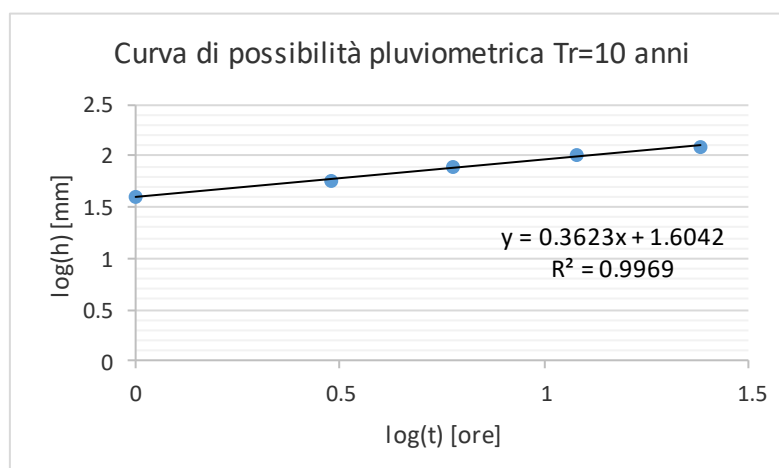
a	33.5043
n	0.3491

t [ore]	h [mm]
1	33.504
3	49.166
6	62.626
12	79.770
24	101.609

Grafico 6: Curva di possibilità pluviometrica nel piano logaritmico - $T_R = 5$ anni

log(t) [ore]	0	0.4771	0.7782	1.0792	1.3802
log(h) [mm]	1.6058	1.7645	1.8962	2.0060	2.0947

Tabella 23: Valori di log(t) e log(h) relativi a $T_R = 10$ anni



a	40.1976
n	0.3623

t [ore]	h [mm]
1	40.198
3	59.850
6	76.935
12	98.898
24	127.131

Grafico 7: Curva di possibilità pluviometrica nel piano logaritmico - $T_R = 10$ anni

I valori corretti delle altezze di precipitazione, inseriti nello SWMM, ottenuti mediante l'applicazione della relazione di Puppini sono i seguenti:

S [ha] =	231.58
a' =	29.8290
n' =	0.3896

t [ore]	h [mm]
1	29.829
3	45.765
6	59.955
12	78.545
24	102.898

Tabella 24: Altezze di precipitazioni corrette, relative a $T_R = 5$ anni

S [ha] =	231.58	t [ore]	h [mm]
a' =	35.7881	1	35.788
n' =	0.4028	3	55.710
		6	73.654
		12	97.378
		24	128.743

Tabella 25: Altezze di precipitazioni corrette, relative a $T_R = 10$ anni

S [ha] =	231.58
a' =	9.4960
n' =	0.3387
h [mm] ($t_c=1$ ora)	9.4960

Tabella 26: Altezza di precipitazione corretta, relativa all'ultimo caso critico

A livello di precipitazioni si sono anche determinati gli Anni Tipo, a partire dalle informazioni riportate negli annali idrologici, di cui si riporta uno stralcio e i cui valori si sono poi corretti mediante l'applicazione della relazione di Moisello e Papiri (1986).

Data e ora	Precipitazione [mm]											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1 0 0		0	0.2	0	0	0		0	0		0	0
1 0 15	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0 30	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 0 45	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1 0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1 15	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1 30	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 1 45	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1 2 0	0	0	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabella 27: Stralcio di Anno Tipo ottenuto per Pedaso, senza correzione

giorno	durata	<i>r</i>
01/01/2006	1.75	0.89
01/02/2006	1.5	0.88
01/02/2006	0.25	0.81
01/02/2006	2.5	0.90
01/03/2006	5	0.92
01/(03-04)/2006	9	0.94
01/04/2006	1.5	0.88
01/15/2006	4	0.91
01/22/2006	2.75	0.90

Tabella 28: Stralcio di fattori di correzione ottenuti per Pedaso

DATA	ORA	mm	<i>coefficienti riduzione</i>	piogge ridotte
01/01/2006	20:30	0.6	0.89	0.53
01/01/2006	20:45	0.6	0.89	0.53
01/01/2006	21:00	0.4	0.89	0.36
01/01/2006	21:15	0	0.89	0.00
01/01/2006	21:30	0.2	0.89	0.18
01/01/2006	21:45	0	0.89	0.00
01/01/2006	22:00	0.2	0.89	0.18
01/01/2006	22:15	0.2	0.89	0.18
01/01/2006	22:30	0		0.00
01/01/2006	22:45	0		0.00
01/01/2006	23:00	0		0.00
01/01/2006	23:15	0		0.00
01/01/2006	23:30	0		0.00
01/01/2006	23:45	0		0.00
01/02/2006	00:00	0.2	0.88	0.18
01/02/2006	00:15	0	0.88	0.00
01/02/2006	00:30	0.2	0.88	0.18
01/02/2006	00:45	0	0.88	0.00
01/02/2006	01:00	0.2	0.88	0.18
01/02/2006	01:15	0	0.88	0.00
01/02/2006	01:30	0.2	0.88	0.18
01/02/2006	01:45	0		0.00

Tabella 29: Stralcio di applicazione dei fattori di correzione e quindi determinazione dell'Anno Tipo Ridotto

01/01/2006	00:15	0.00
01/01/2006	00:30	0.00
01/01/2006	00:45	0.00
01/01/2006	01:00	0.00
01/01/2006	01:15	0.00
01/01/2006	01:30	0.00
01/01/2006	01:45	0.00
01/01/2006	02:00	0.00
01/01/2006	02:15	0.00
01/01/2006	02:30	0.00
01/01/2006	02:45	0.00
01/01/2006	03:00	0.00
01/01/2006	03:15	0.00
01/01/2006	03:30	0.00
01/01/2006	03:45	0.00
01/01/2006	04:00	0.00
01/01/2006	04:15	0.00

Tabella 30: Stralcio del file di testo dell'Anno Tipo Ridotto, introdotto nello SWMM

Successivamente si riportano le caratteristiche dei pozzetti e delle condotte inserite nel modello.

Junction	Invert elevation [m]	Max Depth [m]	Junction	Invert elevation [m]	Max Depth [m]
27	40	1.3	200469	3.3	0.7
202088	30.7	1.3	200470	3.3	0.7
202087	29.7	1.3	200471	3.4	0.6
202090	28.7	1.3	202122	3.32	0.68
202086	27.7	1.3	202121	3.33	0.67
45	19.7	2.3	202120	3.34	0.66
13	40.7	1.3	200473	3.35	0.65
12	18.9	1.3	200472	3.2	0.8
14	27.2	1.3	40	0.6	3.1
200162	18.7	1.3	41	0.6	3.1
200161	18.2	1.8	201423	4.5	0.9
11	16	1.8	201424	4.7	0.9
6	11	2	201422	4.9	0.9
46	13	2	21	5	0.9
200078	3.78	2.22	22	69	1
200079	4.5	1.5	23	5.1	0.9
16	4.5	1.5	38	1.6	3.4
20	-0.7	4.2	39	1.6	3.4
200083	-0.7	4.2	200560	5	1
200081	-0.1	3.6	200461	35.55	1.45
19	3.7	1.3	200463	30.3	0.7
17	4.7	1.3	201413	28.9	1.1
18	5.7	1.3	200393	16.5	1.5
28	18.7	1.3	201369	15.8	1.7
200118	10.7	1.3	200389	15.1	1.9
29	11	1.3	200387	13.95	2.05
15	101.7	1.3	200384	13.5	1.5
202131	2.78	2.22	200385	12.5	1.5
5	1.5	2	201434	10.4	1.6
200001	1.65	1.85	200340	9.3	1.7
200002	1.7	1.8	201435	8.3	1.7
200005	1.8	1.7	201436	8.2	1.7
4	1.85	1.65	201438	8.1	1.6
3	1.9	1.6	200337	7.4	1.6
200008	1.95	1.55	200338	5.7	1.3
200009	2.1	1.4	200339	4.6	1.4
200010	2	1.5	201410	28	1
42	0.7	2.8	201411	27.5	1
200012	1.2	2.3	201363	27.3	1
200014	0.9	2.6	200400	26.95	1.05
200017	1	2.5	200292	23.8	1.2
200018	1	2.5	201429	23.72	1.28
200045	1.53	1.97	2	24.8	1.2
200022	1.2	2.5	1	25.8	1.2
200021	1.47	2.3	200291	23.65	1.35
200023	1.75	1.75	200289	23.6	1.4
30	1	3	200288	23.15	1.35
31	1	3	200290	23	1
200025	1.05	2.45	200287	21.85	1.15
200026	1.1	2.4	201414	20.85	1.15
200027	1.4	2.1	201415	19.85	1.15

200029	1.5	2	201368	19.3	1.2
200061	1.7	1.8	201416	18.9	1.2
200062	2.25	1.25	200286	18.8	1.2
200063	1.75	1.75	200285	18.6	1.4
200064	1.95	1.55	201425	16.6	1.4
9	-0.22	3.22	200284	15.65	1.35
10	-0.22	3.22	201392	14.4	1.6
200065	2.25	1.25	200283	12.1	1.9
200075	2.3	1.2	200282	11	2
200074	2.4	1.1	200281	10	2
200070	2.5	1	200280	9.7	2
200229	3.1	0.4	200279	9.5	1.8
32	2.3	2.7	200278	9.3	1.51
33	2.3	2.7	200277	9.1	1.15
26	2.5	1.5	200276	9	1
25	3	1	200275	8.95	1.05
201972	2.9	1.1	200312	8.9	1.1
200262	3	1	200311	8.75	1.25
200261	3.15	0.85	200310	8.7	1.3
34	1.75	2.25	201985	5.7	1.3
35	1.75	2.25	201986	4.7	1.3
24	2.5	1	201987	5.3	1.2
200260	3.4	0.6	200222	6.38	1.62
36	0.3	3.7	200223	6.5	1.8
37	0.3	3.7	200224	6.6	1.9
200259	2.2	1.8	200225	7.7	1.3
200258	2.3	1.7	200226	8.08	0.92
200257	2.35	1.65	201988	3.8	1.7
200256	2.58	1.42	200215	2.78	2.22
201965	2.6	1.4	200214	3	1.5
200254	2.63	1.37	200204	3.1	0.9
201964	2.65	1.35	200205	3	1
201963	2.7	1.3	201992	2.9	1
200253	2.75	1.25	201993	2.8	1
200252	2.9	1.1	201994	2.7	1
200251	3.2	0.8	200198	2.51	1
200250	3.2	0.8	200199	2.5	1
200464	3.35	0.65	200195	2.5	1
200465	3.3	0.7	202101	2.33	1
200466	3.3	0.7	202102	2.3	0
200467	3.3	0.7	7	1.25	2.25
202123	3.27	0.73	8	1.25	2.25
200468	3.4	0.6			

Tabella 31: Caratteristiche dei pozzetti inserite nello SWMM

Si nota che l'*Invert Elevation* diminuisce passando dalla zona collinare più interna fino ad arrivare lungo la costa in cui la quota altimetrica è di poco al di sopra al livello del mare.

Conduit	Length [m]	Max Depth [m]	Conduit	Length [m]	Max Depth [m]
185	230	0.400	111	10.6802	0.350
177	1096.8573	0.300	110	39.8049	0.350
176	252.0307	0.250	109	8.284	0.350
174	9.1722	0.315	108	44.2349	0.350
175	121.1078	0.315	107	16.3877	0.350
161	350.4011	0.080	106	15.2071	0.350
173	376.6048	0.250	105	13.1066	0.350
172	1061.9292	0.400	104	13.4163	0.350
169	3.8253	0.200	103	33.4042	0.350
168	1081.3229	0.150	186	1.11	0.300
170	117.4859	0.400	154	5.25	0.080
171	42.258	0.400	155	5.25	0.080
166	228.8357	0.400	128	98.2347	0.250
165	463.481	0.400	129	19.164	0.250
162	57.66	0.315	130	25.5961	0.250
76	1482.7519	0.400	131	139.0816	0.250
77	4.1804	0.400	181	419.5453	0.250
158	111.9896	0.100	180	50.8448	0.250
159	111.9896	0.100	132	148.7439	0.250
178	1099.7977	0.150	152	13.15	0.080
141	101.345	0.200	153	13.15	0.080
192	29.1812	0.200	133	292.3116	0.200
191	53.451	0.200	85	79.7175	0.200
142	250.6615	0.200	86	14.9808	0.250
143	300.8391	0.200	87	97.7925	0.250
179	70.1184	0.315	88	37.6132	0.200
188	586.755	0.315	89	20.4232	0.250
144	375.2916	0.200	90	27.1641	0.200
189	252.8823	0.200	91	64.5256	0.200
164	1572.198	0.315	92	69.4028	0.200
163	1088.1479	0.400	93	23.4234	B=0.350, H=0.350
75	66.9373	0.400	94	72.4884	0.200
74	39.6768	0.400	95	23.4727	0.200
187	34.2529	0.800	96	19.2723	0.200
73	50.2736	0.800	97	21.1392	0.300
72	36.3861	0.800	98	34.2905	0.300
71	41.1344	0.800	99	59.4906	0.300
70	56.4983	0.800	100	49.024	0.300
69	27.2765	0.800	101	107.8921	0.300
68	11.6625	0.800	80	37.7274	0.250
67	9.9038	0.400	81	6.6008	0.200
66	8.2212	0.400	82	13.8923	0.200
156	7.6954	0.200	83	72.2038	0.200
145	37.4302	0.300	84	27.5979	0.225
64	28.0131	0.300	78	38.5926	0.250
63	84.0316	0.300	79	42.6379	0.250
194	4.002	0.300	1	42.8817	0.225
193	30.446	0.300	2	20.4751	0.225
62	14.9079	0.300	3	10.7006	0.225
61	49.7351	0.300	4	34.3201	0.225
60	67.8299	0.300	5	26.2536	0.225

65	7.4006	0.200	6	33.1174	0.225
102	7.503	0.200	7	34.8979	0.225
148	56.8796	0.400	8	23.9279	0.225
57	7.2359	0.400	9	31.7556	0.225
56	59.6596	0.400	10	30.6124	0.250
55	62.9202	0.400	11	20.7761	0.225
54	37.4923	0.400	12	62.5037	0.225
195	39.0726	0.180	13	27.1022	0.225
53	11.2772	0.400	14	37.6964	0.225
52	39.6031	0.400	15	29.273	0.250
58	4.1055	0.160	16	28.2775	0.250
59	4.1069	0.160	17	18.5749	0.250
157	8.8393	0.300	18	27.9864	0.250
50	71.398	0.300	19	30.0786	0.250
49	18.3946	0.400	20	39.1395	0.250
48	205.6467	0.300	21	17.288	0.250
47	119.7039	0.300	22	37.0304	0.250
140	2.5323	0.100	23	33.7388	0.250
146	2.5469	0.100	24	29.9429	0.250
183	161.5764	0.500	25	14.178	0.250
184	96.7636	0.200	26	12.3581	0.250
46	107.6929	0.600	27	40.1197	0.250
45	22.4113	0.300	28	29.6088	0.250
44	30.4365	B=0.300, H=0.300	134	23.6161	0.300
43	36.8936	0.300	135	44.0364	0.300
147	50.4431	0.100	136	33.2637	0.300
149	50.5632	0.100	137	12.0803	0.300
182	104.8501	0.200	138	29.4327	0.300
150	3.5	0.200	139	5.3581	0.300
151	3.5	0.110	29	124.3192	0.300
127	29.5583	0.110	30	14.0419	0.300
126	13.6562	0.350	31	43.401	0.300
125	11.8703	0.350	32	42.2999	0.300
124	20.1062	0.350	33	17.8186	0.400
123	11.2173	0.350	34	23.221	0.400
122	5.4545	0.350	35	21.5615	0.400
121	7.9859	0.350	36	43.6342	0.400
120	45.474	0.350	37	6.8718	0.400
119	3.5581	0.350	38	4.3954	0.400
118	22.1452	0.350	39	66.0508	0.400
117	12.8233	0.350	40	42.8249	0.400
116	5.4722	0.350	41	30.3083	0.400
115	10.0837	0.350	160	78.0331	0.400
114	41.2365	0.350	42	30.7161	0.063
113	33.5913	0.350	51	30.5741	0.063
112	40.217	0.350			

Tabella 32: Caratteristiche delle condotte inserite nello SWMM

Si evidenzia che il diametro delle condotte aumenta verso valle poiché la rete deve trasportare delle portate d'acqua sempre maggiori e inoltre, la lunghezza delle tubazioni risulta molto variabile.

In merito agli scolmatori, nelle successive tabelle, vengono riportati i dati inseriti nel modello per lo Storage Unit e l'Orifice; per tutti gli Outfall è stato impostato un *Invert Elevation* pari a 0 m.

Storage Unit	Invert Elevation [m]	Max Depth [m]	Area [m ²]
V336	36.29	1.71	1.05
V417	19.7	2.3	9.2
V335	19.4	1.6	0.28
V388	42.5	1.5	1
V57,S29	-0.5	4.5	7.536
V47	1.7	1.8	8.7
S19	0.7	2.8	5.7
V48	2	2	8.7
S20	1	3	7.5
V49	0.44	2.56	9.28
S21	-0.22	3.22	6.08
V58,S164	1.25	2.25	8.01
V50	1.75	2.25	8
S22	1.3	2.7	7.36
V51,S23	1.75	2.25	6
S218	0.5	3.2	6.25
S25	0.6	3.1	5.46
V331	64.85	1.15	2.28
V54	1.6	3.4	1.4884
S26	1.6	3.4	1.49

Tabella 33: Caratteristiche *Storage Unit* inserite nello SWMM

Orifice	Height [m]	Width [m]	Inlet Offset [m]
OR336	0.8	0	0.64
OR417	0.2	0	0.73
OR335	0.315	0	0.24
OR388	0.4	0	0.03
OR57	0.3	0	2.47
OR47	0.6	0	0.5
OR19	1.2	1	1.2
OR48	0.6	0	0.3
OR20	1.3	1	1
OR49	0.6	0	0.36
OR21	1.87	1	0.75
OR58	0.4	0	0.95
OR50	0.4	0	1.25
OR22	2.05	3.2	0.45
OR51	0.2	0	0.85
OR331	0.15	1.2	0.76
OR54	0.12	0	2.48
OR26	0.4	0	0.2

Tabella 34: Caratteristiche *Orifice* inserite nello SWMM

La correttezza di questi dati idraulici si è verificata lanciando una simulazione qualsiasi, infatti nel caso in cui ci siano problematiche come ad esempio pendenze delle condotte negative, non corrispondenti alla realtà, lo SWMM interrompe la simulazione indicando le tipologie di errori.

A tal proposito, in alcuni casi i dati relativi ai pozzetti (*Invert Elevation, Max Depth*) e alle condotte (*Inlet Offset, Outlet Offset*) si sono dovuti aggiustare in modo tale da risolvere le problematiche idrauliche.

4.2 Modello qualitativo- Agglomerato Cupra Marittima

Per la definizione del modello qualitativo, come prima cosa, si sono inseriti nello SWMM i valori delle concentrazioni associate alle precipitazioni, differenziando l'evento totale da quello di prima pioggia, di cui di seguito si riportano i valori. Le acque di prima pioggia vengono definite, secondo le Linee Guida Arpa (2005), come quelle *“identificate nei primi 5 mm di acqua meteorica di dilavamento uniformemente distribuita su tutta la superficie di drenaggio. Per il calcolo delle relative portate si assume che tale valore si verifichi in un periodo di tempo di 15 minuti.”*

Si evidenzia che per i nutrienti è stato utilizzato NH₄, in quanto erano a disposizione più dati in letteratura.

CON PAPIRI			
Inquinante	1 FLUSH	TOTAL RAIN	UM
COD	161	91	mg/l
NH ₄	0.8	0.52	mg/l
BOD ₅	351	36	mg/l
TSS	404	131	mg/l
E. Coli	62514	17500	UFC/l

Tabella 35: Valori di concentrazione massima di pioggia ricavati da letteratura

SENZA PAPIRI			
Inquinante	1 FLUSH	TOTAL RAIN	UM
COD	112.98	56.29	mg/l
NH ₄	0.80	0.52	mg/l
BOD ₅	20.89	9.86	mg/l
TSS	70.96	64.18	mg/l
E. Coli	52665.59	17500.00	UFC/l

Tabella 36: Valori di concentrazione minima di pioggia ricavati da letteratura

I campionamenti per la valutazione delle concentrazioni dei diversi inquinanti si sono svolti il giorno 27.05.2020 e 18.06.2020 di cui si riportano di seguito i risultati delle analisi eseguite in laboratorio. Si nota una differenza dei valori nelle due giornate; in particolare quelli del 27.05.2020 risultano più bassi a causa della precipitazione avvenuta la notte prima.

I valori inseriti nello SWMM sono quelli medi delle due giornate di analisi.

Campione	Data campione	Orario campione	pH	Alcalinità	BOD5	COD	TKN	N-NH4	N-NO2	N-NO3
				[mg CaCO3/l]	[mg/l]	[mg O2/l]	[mg N-NH4/l]	[mg /l]	[mg/l]	[mg/l]
Ingresso istantaneo	27/05/2020	09:30	7.56	478.38	68.00	93.62	32.59	32.24	0.00	0.06
Ingresso medio	27/05/2020	09:30	7.35	359.63	68.00	148.94	28.88	21.38	1.10	1.50
	18/06/2020	08:45	7.30	371.71	135.00	184.95	27.07	15.21	0.00	0.08
Uscita medio	27/05/2020	09:30	7.65	228.13	0.00	0.00	2.39	0.00	0.00	18.54
	18/06/2020	08:45	7.48	246.33		17.20	0.00	0.00	0.00	0.76
V49	27/05/2020	09:30	7.35	399.78	123.00	140.43	43.43	39.05	0.00	0.00
	18/06/2020	09:30	7.32	522.69	192.00	378.49	46.82	21.60	0.00	0.00
V57	27/05/2020	09:30	7.42	557.99	15.00	0.00	24.69	19.62	0.88	4.93
	18/06/2020	08:45	7.18	386.85	85.00	38.71	29.15	14.47	0.90	0.18
V58	27/05/2020	09:30	7.39	496.24	193.00	259.57	81.58	46.82	0.00	0.00
	18/06/2020	09:30	7.36	467.32	210.00	344.09	66.73	39.86	0.00	0.00

Tabella 37: Valori analisi campioni

Campione	Data campione	Orario campione	TSS	P-PO4	Cl	SO4	Na	K	Mg	Ca	E.Coli
			[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]
Ingresso istantaneo	27/05/2020	09:30	34.00	3.72	925.70	219.26	499.37	35.95	94.82	115.72	3700000
Ingresso medio	27/05/2020	09:30	102.00	2.03	159.98	108.44	109.32	11.46	34.56	129.59	3500000
	18/06/2020	08:45	76.00	2.76	180.94	123.33	108.13	22.03	38.06	130.13	
Uscita medio	27/05/2020	09:30	0.00	0.00	141.63	90.37	79.84	12.95	30.58	125.01	<10
	18/06/2020	08:45	0.00	0.90	91.33	102.23	56.83	13.70	28.26	116.76	
V49	27/05/2020	09:30	86.00	4.90	89.60	61.36	72.88	9.69	23.98	108.96	6100000
	18/06/2020	09:30	180.00	4.73	72.26	46.05	70.48	9.89	24.57	107.08	
V57	27/05/2020	09:30	12.00	1.95	175.29	215.03	108.06	9.11	58.40	221.17	600000
	18/06/2020	08:45	126.00	2.77	158.21	189.39	104.16	10.61	53.82	202.43	
V58	27/05/2020	09:30	110.00	9.95	90.11	53.01	84.44	16.20	22.39	91.63	7600000
	18/06/2020	09:30	148.00	9.42	77.19	49.11	75.11	13.86	23.18	95.35	

Tabella 38: Valori analisi campioni

	BOD5	COD	TKN	TSS	E.COLI
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[UFC/l]
ING IST	68.00	93.62	32.59	34.00	3.70E+07
V49	157.50	259.46	45.13	133.00	6.10E+07
V57	50.00	19.35	26.92	69.00	6.00E+06
V58	201.50	301.83	74.16	129.00	7.60E+07
ING MED	101.50	166.94	27.98	89.00	3.50E+07

Tabella 39: Valori medi dei risultati delle analisi dei due campionamenti, inseriti nel modello

Questi valori di concentrazione sono stati poi associati ai pozzetti di riferimento, come riportato in tabella. Il valore della portata sversata assegnata ad ogni *Junction* si è definita moltiplicando la

portata sversata da ogni abitante equivalente al giorno (per il calcolo si rimanda al paragrafo successivo), per il numero di AE assegnati, riproporzionati rispetto al rapporto tra gli AE base TKN e base progetto.

	AE TOT	Δ AE	AE da assegnare	AE da assegnare (riproporzionati)	Junction	Q sversata [l/d]	Q sversata [l/s]
DEPURATORE	6943						
VASCA00047	5995	370	370	210	200045	36935	0.427
VASCA00048	5625	593	593	336	200062	59196	0.685
VASCA00058	1973	0	160	91	201429	15972	0.185
			295	167	201392	29449	0.341
			383	217	201986	38183	0.442
			368	208	201988	36686	0.425
			384	218	201993	38333	0.444
			384	218	202101	38333	0.444
VASCA00049	3059	442	147	83	200070	14674	0.170
			147	83	200074	14674	0.170
			147	83	200075	14674	0.170
VASCA00050	2617	1919	398	226	200337	39731	0.460
			398	226	201438	39731	0.460
			398	226	201436	39731	0.460
			353	200	201435	35238	0.408
			75	43	200384	7487	0.087
			258	146	200389	25755	0.298
			40	23	200461	3993	0.046
VASCA00051	75	0	75	43	24	7487	0.087
SOLFO00024	623	399	399	226	200260	39830	0.461
VASCA00331	111	0	111	63	22	11081	0.128
VASCA00054	113	0	113	64	200560	11280	0.131
VASCA00057	695	615	195	111	28	19466	0.225
			127	72	16	12678	0.147
			185	105	200081	18468	0.214
			108	61	29	10781	0.125
VASCA00388	80	0	80	45	15	7986	0.092
VASCA00335	150	0	150	85	14	14974	0.173
VASCA00417	23	0	23	13	13	2296	0.027
VASCA00336	80	0	80	45	27	7986	0.092

Tabella 40: Valori di portata sversata inserita nei vari pozzetti costituenti la rete

Junction	TKN [mg/l]	COD [mg/l]	BOD5 [mg/l]	TSS [mg/l]	E.COLI [#l]
200045	59.64	280.65	179.50	131.00	68500000
200062	59.64	280.65	179.50	131.00	68500000
201429	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000
201392	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000

201986	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000
201988	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000
201993	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000
202101	74.16	301.83	201.50	129.00	76000000
200070	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200074	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200075	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200337	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
201438	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
201436	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
201435	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200384	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200389	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200461	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
24	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200260	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
22	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
200560	45.13	259.46	157.50	133.00	61000000
28	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
16	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
200081	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
29	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
15	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
14	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
13	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000
27	26.92	19.35	50.00	69.00	6000000

Tabella 41: Valori delle concentrazioni assegnate ai pozzetti

Si precisa che i valori delle concentrazioni assegnati ai pozzetti posizionati lungo la rete tra il depuratore e le vasche V49 e V58 sono la media delle concentrazioni ottenute dalle analisi dei campioni prelevati nelle suddette vasche.

Inoltre, si sono valutati gli impatti causati dalle utenze non allacciate alla pubblica fognatura, le quali disperdono i propri reflui direttamente nel terreno o a valle di piccoli impianti di trattamento come ad esempio le vasche imhoff e le fosse settiche. Per cui, a tale scopo, si è innanzitutto individuato il numero di utenze non allacciate per ogni sottobacino, così da determinare l'area di sversamento associata.

Secondo quanto riportato nelle *Linee Guida per il trattamento di acque reflue domestiche ed assimilate in aree non servite da pubblica fognatura* a cura dell'ARPAT, si è considerata una lunghezza di drenaggio pari a 5m/AE e una larghezza di 10m per cui, considerando che ogni utenza equivale a 2.5 AE (indicazione CIIP spa), risulta un'area di drenaggio per singola utenza pari a 125 m²/utenza.

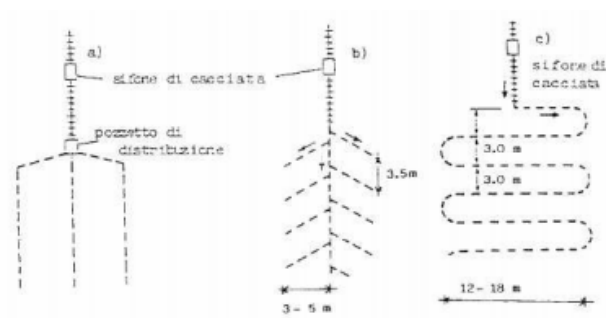


Figura 49: Disposizione delle condotte di sub-irrigazione

NATURA TERRENO	TEMPO PERCOLAZIONE (min)	LUNGHEZZA CONDOTTA (metri / AE)
Sabbia sottile, materiale leggero di riporto	< 2	2
Sabbia grossa e pietrisco	5	3
Sabbia sottile con argilla	10	5
Argilla con poca sabbia	30-60	10
Argilla compatta	> 60	non adatta

Tabella 42: Lunghezze unitarie delle condotte di sub-irrigazione

Successivamente, moltiplicando l'area di drenaggio per singola utenza (125 m²/utenza) per il numero di utenze non allacciate presenti in ogni sottobacino, si sono ricavate le corrispondenti aree di sversamento, riportate poi in percentuale rispetto alla superficie totale del bacino. Si tratta dunque delle percentuali di aree dei sottobacini interessate dai fenomeni di *Buildup* e *Washoff*.

SUB	Area totale [m ²]	N utenza non allacciate	AREA SVERSAMENTO [m ²]	%
SUB1	22276.8493	18	2250	10.10%
SUB2	12795.6237	0	0	0.00%
SUB3	78283.5641	12	1500	1.92%
SUB4	21745.4656	8	1000	4.60%
SUB5	76294.4905	20	2500	3.28%
SUB6	70035.4541	0	0	0.00%
SUB9	113885.8898	2	250	0.22%
SUB10	26600.9222	0	0	0.00%
SUB11	22262.3968	4	500	2.25%
SUB12	89168.5995	27	3375	3.78%
SUB13	40173.48	50	6250	15.56%
SUB14	19188.5345	0	0	0.00%
SUB15	39759.3631	1	125	0.31%
totale	632470.63	142	17750.00	2.81%

Tabella 43: Numero di utenze non allacciate per singolo sottobacino e corrispondente area di sversamento

Entrando nello specifico della determinazione dei vari parametri da inserire nello SWMM per la definizione del *Buildup*, poiché i fattori di carico unitario rappresentano la quantità di sostanza che

viene scaricata giornalmente da ogni AE, moltiplicandoli per 2.5 si ottiene la massa di inquinante relativa ad ogni utenza che, rapportata alla superficie di drenaggio (125 m²/utenza) permette di calcolare Bmax, da inserire nel modello. Il parametro K_B deriva da letteratura (Min Cheng Tu, 2018).

FATTORI CARICO UNITARIO	[kg/AE]	Bmax [kg/utenza ; UFC/utenza]
COD	0.12	0.300
Ntot	0.012	0.030
TSS	0.07	0.175
BOD5	0.06	0.150
ESCHERICHIA COLI		458333333

Tabella 44: Calcolo della massa di inquinante associata ad ogni utenza

INQUINANTI	BUILDUP	
	Bmax [kg/ha; UFC/ha]	K _B [1/giorni]
COD	24	0.3
TKN	2.4	0.3
TSS	14	0.3
BOD5	12	0.3
ESCHERICHIA COLI	3666666667	0.3

Tabella 45: Valori di Bmax e K_B associati ai diversi inquinanti, da inserire per il *Buildup*

Per quanto riguarda invece il *Washoff*, i parametri Nw e Kw si sono ricavati dal manuale SWMM (relativo al modello qualitativo), i quali derivano dalla teoria di trasporto dei sedimenti.

INQUINANTI	WASHOFF	
	Nw	Kw
COD	2	5
TKN	2	5
TSS	2	5
BOD5	2	5
ESCHERICHIA COLI	2	5

Tabella 46: Valori di Nw e Kw per il *Washoff*

4.3 Calibrazione quali-quantitativa del modello

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori delle concentrazioni e dei carichi di massa in ingresso impianto, simulati e osservati, utilizzati al fine di validare il modello realizzato.

CONCENTRAZIONI	TKN	COD	TSS	E.COLI
	[mg/l]	[mg/l]	[mg/l]	[/#L]
Output modello	42	166	100	40769279.36
Ingresso medio	28	167	89	3.50E+07
% validazione	49.79	-0.29	12.08	16.48

Tabella 47: Valori delle concentrazioni simulate e osservate, in ingresso impianto

Per la determinazione del carico di massa osservato, si è resa necessaria una fase preliminare di valutazione della portata sversata specifica, risultata pari a 176 l/AE/d.

Ingresso impianto	Q [m3/d]
<i>27/05/2020</i>	1460
<i>18/06/2020</i>	1918
media	1689

Tabella 48: Valori delle portate in ingresso impianto nei due giorni di campionamento

%impatto diluito/tot	Q senza diluizione [m3/d]
59	692

Tabella 49: Portata in ingresso impianto media giornaliera, senza diluizione

LBOD5 (kg/d)	171	AE BOD5	2857	[l/AE/d] base BOD5	242
LCOD (kg/d)	282	AE COD	2350	[l/AE/d] base COD	295
LTKN (kg/d)	47	AE TKN	3938	[l/AE/d] base Ntot	176

Tabella 50: Valori delle portate sversate base BOD5, COD, Ntot

SCOLMATORI	AE	Qs*AE [l/d]	LTKN	LCOD	LTSS
V57	538	94688	3	2	5
V58	1119	196944	15	59	40
V49	1735	305360	14	79	48
V47	546	96096	6	27	17
DEPURATORE	3938	693088	19	116	70

Tabella 51: Calcolo dei carichi di massa osservati

CARICHI DI MASSA	TKN	COD	TSS
	[kg/d]	[kg/d]	[kg/d]
Output modello	29	131	65
Ingresso medio	19	116	62
% validazione	48.57	12.90	5.45

Tabella 52: Valori dei carichi di massa simulati e osservati, in ingresso impianto

Dalle tabelle soprastanti si evince che la differenza tra i valori simulati e quelli osservati è accettabile, ad eccezione del TKN, per cui il modello può essere ritenuto valido al fine di simulare l'impatto ambientale.

4.4 Risultati degli scenari di simulazione

Di seguito si riportano i risultati relativi allo Scenario 0 massimo, al fine di evidenziare gli scolmatori più critici. Le stesse elaborazioni si sono svolte anche per lo Scenario 0 minimo, utilizzato poi per ricavare l'impatto in ambiente medio dovuto all'effluente impianto, al carico scolmato e a quello proveniente dalle utenze non allacciate in rete.

4.4.1 Scenario di SIMULAZIONE 1

EVENTO: $T_R = 1$ anno; $t_c = 1$ ora

DURATA: 24h

BUILDUP: NO

PRIMA PIOGGIA: NO

Outfall	Tempo scarico	Flusso medio	Flusso max	Vtot	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10 ⁶ l	%
OUT47	10.2	38.53	40.82	0.132	18.1
OUT48	0.87	7.75	16.6	0.002	0.3
OUT49	0	0	0	0	0.0
OUT58	11.39	106.27	125.74	0.4	58.6
OUT57	8.95	17.29	24.68	0.052	7.1
OUT388	9.06	0.42	0.61	0.001	0.1
OUT335	14.49	2.66	4.14	0.013	1.8
OUT417	0	0	0	0	0.0
OUT336	0	0	0	0	0.0
OUT54	0	0	0	0	0.0
OUT331	0	0	0	0	0.0
OUT51	0	0	0	0	0.0
OUT50	9.9	30.93	69.93	0.102	14.0
depuratore	96.94	29.02	108.89	1.371	

Tabella 53: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 1)

La percentuale sullo scolmato si è ottenuta dividendo il volume sfiorato dalla singola vasca rispetto al volume totale espulso da tutti gli sfioratori presenti.

Analogamente, anche per i carichi di massa dei diversi inquinanti scolmati dalle vasche si è calcolata la percentuale rispetto al totale facendo il rapporto tra i kg/d sfiorati dal singolo scolmatore e la somma dei kg/d espulsi da tutti gli Outfall.

Outfall	TKN	TKN	COD	COD	BOD5	BOD5	TSS	TSS	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli
	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	logN	CFU/d	%
OUT47	0.41	0.27	13.11	0.19	5.60	0.19	17.13	0.18	11.65	4.43E+11	0.34
OUT48	0.00	0.00	0.21	0.00	0.09	0.00	0.29	0.00	9.57	3.74E+09	0.00
OUT49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT58	0.83	0.55	40.58	0.58	16.73	0.58	55.90	0.59	11.80	6.34E+11	0.49
OUT57	0.06	0.04	4.61	0.07	1.87	0.06	6.68	0.07	9.86	7.29E+09	0.01
OUT388	0.00	0.00	0.12	0.00	0.05	0.00	0.17	0.00	8.16	1.44E+08	0.00
OUT335	0.01	0.01	1.21	0.02	0.48	0.02	1.75	0.02	8.81	6.44E+08	0.00
OUT417	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT54	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT50	0.20	0.13	9.84	0.14	4.07	0.14	13.39	0.14	11.30	1.99E+11	0.15
depuratore	33.31		216.54		124.32		166.96		13.57	3.75E+13	

Tabella 54: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 1)

Storage Unit	Qmn	Qmax	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	40.04	3
OUT48	11.4583	80.02	7
OUT49	6.2313	86.05	14
OUT58	4.0191	15.43	4
OUT57	1.4157	24.36	17
OUT388	0.1630	5.65	35
OUT335	0.3056	41.56	136
OUT417	0.0469	NA	NA
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	14.98	65
OUT331	0.2261	12.32	54
OUT51	0.0660	0.12	2
OUT50	5.3309	32.05	6

Tabella 55: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 1)

4.4.2 Scenario di SIMULAZIONE 2

EVENTO: $T_R = 5$ anni; $t_c = 1$ ora

DURATA: 24h

BUILDUP: NO

PRIMA PIOGGIA: NO

Outfall	Tempo scarico	Flusso medio	Flusso max	Vtot	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10 ⁶ l	%
OUT47	12.32	38.46	40.94	0.167	8.8
OUT48	7.98	20.85	22.14	0.057	3.0
OUT49	9.26	57.8	62.16	0.181	9.6
OUT58	12.7	112.05	127.63	0.5	25.6
OUT57	12.75	19.07	25.47	0.086	4.5
OUT388	13.5	2.82	4.17	0.013	0.7
OUT335	17.14	8.97	15.98	0.053	2.8
OUT417	10	13.26	21.54	0.045	2.4
OUT336	0	0	0	0	0.0
OUT54	9.64	16.24	18.96	0.053	2.8
OUT331	0	0	0	0	0.0
OUT51	0	0	0	0	0.0
OUT50	14.56	151.63	276.46	0.754	39.8
depuratore	97.38	43.71	219.48	1.997	

Tabella 56: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 2)

Outfall	TKN	TKN	COD	COD	BOD5	BOD5	TSS	TSS	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli
	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	logN	CFU/d	%
OUT47	0.34	0.17	15.99	0.09	6.62	0.09	21.81	0.09	11.48	3.04E+11	0.24
OUT48	0.06	0.03	5.27	0.03	2.12	0.03	7.45	0.03	10.54	3.43E+10	0.03
OUT49	0.13	0.06	16.63	0.09	6.63	0.09	23.75	0.10	10.73	5.35E+10	0.04
OUT58	0.56	0.28	45.04	0.26	18.16	0.26	63.55	0.26	11.52	3.29E+11	0.26
OUT57	0.06	0.03	7.79	0.04	3.11	0.04	11.25	0.05	9.76	5.77E+09	0.00
OUT388	0.01	0.00	1.18	0.01	0.47	0.01	1.71	0.01	8.80	6.28E+08	0.00
OUT335	0.03	0.01	4.78	0.03	1.89	0.03	6.88	0.03	9.17	1.47E+09	0.00
OUT417	0.03	0.01	4.10	0.02	1.63	0.02	5.91	0.02	9.05	1.11E+09	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT54	0.03	0.02	4.86	0.03	1.93	0.03	6.97	0.03	9.85	7.14E+09	0.01
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT50	0.77	0.38	69.92	0.40	28.13	0.40	98.61	0.40	11.73	5.33E+11	0.42
depuratore	33.80		270.55		145.92		243.39		13.58	3.78E+13	

Tabella 57: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 2)

Storage Unit	Qmn	Qmax	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	40.06	3
OUT48	11.4583	80.01	7
OUT49	6.2313	86.1	14
OUT58	4.0191	15.39	4
OUT57	1.4157	24.36	17

OUT388	0.1630	15.56	95
OUT335	0.3056	126.45	414
OUT417	0.0469	2.16	46
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	15.66	68
OUT331	0.2261	39.1	173
OUT51	0.0660	0.11	2
OUT50	5.3309	32.21	6

Tabella 58: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 2)

4.4.3 Scenario di SIMULAZIONE 3

EVENTO: $T_R = 10$ anni; $t_c = 1$ ora

DURATA: 24h

BUILDUP: NO

PRIMA PIOGGIA: NO

Outfall	Tempo scarico	Flusso medio	Flusso max	Vtot	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10^6 l	%
OUT47	12.08	38.42	40.81	0.17	0.08
OUT48	7.80	20.87	22.15	0.06	0.03
OUT49	9.29	59.11	63.43	0.20	0.09
OUT58	12.39	110.88	127.70	0.49	0.23
OUT57	12.78	19.23	25.47	0.09	0.04
OUT388	13.51	3.49	5.23	0.02	0.01
OUT335	17.26	9.94	23.11	0.06	0.03
OUT417	10.60	16.42	26.68	0.06	0.03
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT54	9.42	16.31	19.09	0.06	0.03
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT50	14.49	175.34	305.88	0.91	0.43
depuratore	97.57	45.46	230.05	2.12	

Tabella 59: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 3)

Outfall	TKN	TKN	COD	COD	BOD5	BOD5	TSS	TSS	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli
	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	kg/d	%	logN	CFU/d	%
OUT47	0.32	0.16	16.32	0.08	6.72	0.09	22.42	0.08	11.44	2.72E+11	0.24
OUT48	0.05	0.03	5.39	0.03	2.16	0.03	7.65	0.03	10.45	2.81E+10	0.02
OUT49	0.12	0.06	17.84	0.09	7.08	0.09	25.58	0.09	10.47	2.98E+10	0.03
OUT58	0.53	0.26	45.39	0.23	18.26	0.23	64.21	0.23	11.47	2.92E+11	0.26

OUT57	0.07	0.03	8.28	0.04	3.31	0.04	11.95	0.04	9.75	5.61E+09	0.00
OUT388	0.01	0.01	1.53	0.01	0.61	0.01	2.21	0.01	8.86	7.28E+08	0.00
OUT335	0.03	0.02	5.58	0.03	2.21	0.03	8.04	0.03	9.21	1.64E+09	0.00
OUT417	0.03	0.02	5.65	0.03	2.24	0.03	8.13	0.03	9.16	1.45E+09	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT54	0.03	0.02	5.01	0.03	1.99	0.03	7.18	0.03	9.81	6.46E+09	0.01
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00
OUT50	0.82	0.41	84.02	0.43	33.66	0.43	119.10	0.43	11.69	4.86E+11	0.43
depuratore	34.83		284.12		152.43		259.18		13.59	3.88E+13	

Tabella 60: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 3)

Storage Unit	Qmn	Qmax	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	40.03	3
OUT48	11.4583	85.38	7
OUT49	6.2313	86.05	14
OUT58	4.0191	15.39	4
OUT57	1.4157	24.36	17
OUT388	0.1630	18.55	114
OUT335	0.3056	129.65	424
OUT417	0.0469	2.18	47
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	15.7	68
OUT331	0.2261	47.39	210
OUT51	0.0660	0.12	2
OUT50	5.3309	32.4	6

Tabella 61: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 3)

4.4.4 Scenario di SIMULAZIONE 4.1

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: 1 anno

BUILDUP: NO

Outfall	Tempo scarico	Flusso medio	Flusso max	Vtot	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10 ⁶ l	%
OUT47	2.33	31.2	41.63	8.16	26.33
OUT48	0.15	15.63	22.14	0.235	0.76
OUT49	0.09	37.04	63.63	0.305	0.98
OUT58	4.35	31.17	127.48	15.055	48.58

OUT57	0.99	15.6	25.47	1.563	5.04
OUT388	0.71	0.59	4.48	0.041	0.13
OUT335	4.58	1.04	14.93	0.504	1.63
OUT417	1.02	2.83	22.8	0.286	0.92
OUT336	0	0	0	0	0.00
OUT54	0.31	7.44	18.8	0.224	0.72
OUT331	0	0	0	0	0.00
OUT51	0	0	0	0	0.00
OUT50	1.25	37.13	274.17	4.616	14.90
depuratore	99.98	14.63	197.52	329.312	

Tabella 62: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 4.1)

Nelle tabelle seguenti relative ai risultati qualitativi, per tutti i carichi di massa dei diversi inquinanti, oltre al calcolo della percentuale sul carico scolmato totale eseguito come per gli scenari precedenti, si è anche calcolata la percentuale di carico di massa sfiorato da ogni singola vasca rispetto a tutto quello che viene scaricato in ambiente dato dalla somma di tre contributi: il carico totale scolmato da tutti gli *Outfall*, quello in uscita dall'impianto di depurazione e quello proveniente dalle utenze non allacciate in rete. Questo rapporto percentuale è indicato in tabella con l'asterisco.

Inoltre, in Tabella 61 viene riportato anche il numero di scarichi che si sono verificati per ciascuna vasca durante l'anno.

Outfall	TKN	TKN	TKN*	COD	COD	COD*	BOD5	BOD5	BOD5*
	kg/d	%	%	kg/d	%	%	kg/d	%	%
OUT47	63.88	0.44	0.01	924.76	0.29	0.04	436.71	0.31	0.05
OUT48	0.45	0.00	0.00	22.30	0.01	0.00	9.22	0.01	0.00
OUT49	0.38	0.00	0.00	28.49	0.01	0.00	11.55	0.01	0.00
OUT58	62.34	0.43	0.01	1525.95	0.48	0.07	662.99	0.47	0.08
OUT57	1.75	0.01	0.00	139.68	0.04	0.01	56.75	0.04	0.01
OUT388	0.03	0.00	0.00	3.69	0.00	0.00	1.48	0.00	0.00
OUT335	0.39	0.00	0.00	45.46	0.01	0.00	18.19	0.01	0.00
OUT417	0.69	0.00	0.00	24.53	0.01	0.00	10.57	0.01	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT54	0.16	0.00	0.00	20.60	0.01	0.00	8.20	0.01	0.00
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT50	13.58	0.09	0.00	446.69	0.14	0.02	190.57	0.14	0.02
depuratore	13036.03			64752.53			40902.75		

Tabella 63: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.1)

Outfall	TSS	TSS	TSS*	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli	E. Coli*	N° scarichi
	kg/d	%	%	logN	CFU/d	%	%	#
OUT47	1033.49	0.26	0.12	13.88	7.52E+13	0.51	0.51	123
OUT48	30.42	0.01	0.00	11.63	4.31E+11	0.00	0.00	8
OUT49	39.82	0.01	0.00	11.49	3.09E+11	0.00	0.00	6
OUT58	1970.54	0.49	0.22	13.75	5.65E+13	0.38	0.38	119
OUT57	202.53	0.05	0.02	11.38	2.39E+11	0.00	0.00	18
OUT388	5.34	0.00	0.00	9.55	3.52E+09	0.00	0.00	13
OUT335	65.64	0.02	0.01	10.59	3.86E+10	0.00	0.00	104
OUT417	36.15	0.01	0.00	11.10	1.27E+11	0.00	0.00	19
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT54	29.40	0.01	0.00	10.82	6.62E+10	0.00	0.00	7
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT50	582.29	0.15	0.07	13.19	1.55E+13	0.10	0.10	19
depuratore	38043.31			16.16	1.44E+16			

Tabella 64: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.1)

I contributi del carico di massa dei diversi inquinanti in uscita dall'impianto e proveniente dalle utenze non allacciate in rete sono riassunti nelle seguenti tabelle.

INQUINANTE	CARICO USCITA IMPIANTO			
	ANNO TIPO	INVERNO	ESTATE	UM
TKN	8201	6134	2067	kg
COD	16807	12571	4236	kg
BOD5	6166	4612	1554	kg
TSS	4284	3204	1080	kg
E. Coli	1.7E+11	1.3E+11	4.4E+10	UFC

Tabella 65: kg e UFC relativi all'effluente impianto

INQUINANTE	CARICO BUILDUP			
	ANNO TIPO	INVERNO	ESTATE	UM
TKN	98	67	28	kg
COD	984	672	283	kg
BOD5	492	336	141	kg
TSS	574	392	165	kg
E. COLI	2.3E+11	5.6E+10	3.0E+10	UFC

Tabella 66: kg e UFC relativi alle utenze non allacciate

Storage Unit	Q _{mn}	Q _{max}	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	42.29	3
OUT48	11.4583	88.98	8
OUT49	6.2313	86.51	14
OUT58	4.0191	15.76	4
OUT57	1.4157	24.36	17
OUT388	0.1630	14.53	89
OUT335	0.3056	130.1	426
OUT417	0.0469	2.31	49
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	15.67	68
OUT331	0.2261	49.99	221
OUT51	0.0660	0.13	2
OUT50	5.3309	36.98	7

Tabella 67: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.1)

4.4.5 Scenario di SIMULAZIONE 4.2

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: Inverno (Ottobre-Maggio)

BUILDUP: NO

Outfall	Tempo Scarico	Flusso medio	Flusso max	V _{tot}	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10 ⁶ l	%
OUT47	2.62	30.9	41.6	6.182	28.72
OUT48	0.12	12.27	21.96	0.095	0.44
OUT49	0.02	29.53	58.29	0.04	0.19
OUT58	4.89	28.83	126.94	10.556	49.04
OUT57	1.07	15.43	25.47	1.124	5.22
OUT388	0.75	0.33	2.47	0.017	0.08
OUT335	5.09	0.86	11.13	0.318	1.48
OUT417	1.18	2.51	17.54	0.202	0.94
OUT336	0	0	0	0	0.00
OUT54	0.32	5.34	15.71	0.116	0.54
OUT331	0	0	0	0	0.00
OUT51	0	0	0	0	0.00
OUT50	1.3	32.62	238.69	2.874	13.35
depuratore	99.98	14.95	143.59	224.253	

Tabella 68: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 4.2)

Outfall	TKN	TKN	TKN*	COD	COD	COD*	BOD5	BOD5	BOD5*
	kg/d	%	%	kg/d	%	%	kg/d	%	%
OUT47	44.07	0.44	0.01	686.15	0.31	0.04	320.05	0.33	0.05
OUT48	0.22	0.00	0.00	9.16	0.00	0.00	3.83	0.00	0.00
OUT49	0.06	0.00	0.00	3.75	0.00	0.00	1.53	0.00	0.00
OUT58	44.28	0.45	0.01	1071.62	0.49	0.07	466.18	0.48	0.08
OUT57	1.16	0.01	0.00	100.74	0.05	0.01	40.78	0.04	0.01
OUT388	0.02	0.00	0.00	1.52	0.00	0.00	0.61	0.00	0.00
OUT335	0.26	0.00	0.00	28.64	0.01	0.00	11.48	0.01	0.00
OUT417	0.46	0.00	0.00	17.33	0.01	0.00	7.43	0.01	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT54	0.09	0.00	0.00	10.64	0.00	0.00	4.25	0.00	0.00
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT50	8.54	0.09	0.00	278.44	0.13	0.02	118.88	0.12	0.02
depuratore	8684.39			43581.36			27422.26		

Tabella 69: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.2)

Outfall	TSS	TSS	TSS*	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli	E. Coli*	N° scarichi
	kg/d	%	%	logN	CFU/d	%	%	#
OUT47	783.45	0.28	0.12	13.71	5.16E+13	0.51	0.50	103
OUT48	12.33	0.00	0.00	11.34	2.19E+11	0.00	0.00	4
OUT49	5.21	0.00	0.00	10.69	4.92E+10	0.00	0.00	2
OUT58	1381.72	0.50	0.22	13.60	4.02E+13	0.39	0.39	94
OUT57	145.92	0.05	0.02	11.18	1.50E+11	0.00	0.00	10
OUT388	2.20	0.00	0.00	9.27	1.88E+09	0.00	0.00	7
OUT335	41.38	0.01	0.01	10.42	2.61E+10	0.00	0.00	79
OUT417	25.50	0.01	0.00	10.92	8.36E+10	0.00	0.00	12
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT54	15.16	0.01	0.00	10.63	4.26E+10	0.00	0.00	3
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT50	362.56	0.13	0.06	12.99	9.75E+12	0.10	0.10	11
depuratore	25978.81			15.98	9.59E+15			

Tabella 70: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.2)

Storage Unit	Qmn	Qmax	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	40.83	3
OUT48	11.4583	88.9	8

OUT49	6.2313	86.44	14
OUT58	4.0191	15.75	4
OUT57	1.4157	9.89	7
OUT388	0.1630	9.89	61
OUT335	0.3056	101.02	331
OUT417	0.0469	42.29	903
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	15.65	68
OUT331	0.2261	34.07	151
OUT51	0.0660	0.13	2
OUT50	5.3309	78.68	15

Tabella 71: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.2)

4.4.6 Scenario di SIMULAZIONE 4.3

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: Estate (Giugno-Settembre)

BUILDUP: NO

Outfall	Tempo scarico	Flusso medio	Flusso max	Vtot	% sullo scolmato
	%	l/s	l/s	10 ⁶ l	%
OUT47	1.85	32.23	40.95	2.1	22.02
OUT48	0.23	19.21	22.15	0.139	1.46
OUT49	0.23	38.5	63.63	0.268	2.81
OUT58	3.25	38.57	127.41	4.479	46.97
OUT57	0.83	15.97	25.47	0.438	4.59
OUT388	0.64	1.2	4.48	0.024	0.25
OUT335	3.55	1.56	14.93	0.186	1.95
OUT417	0.62	4.4	22.8	0.084	0.88
OUT336	0	0	0	0	0.00
OUT54	0.28	12.37	18.8	0.109	1.14
OUT331	0	0	0	0	0.00
OUT51	0	0	0	0	0.00
OUT50	1	54.17	274.64	1.708	17.91
depuratore	99.95	13.81	197.31	104.694	

Tabella 72: Risultati idraulici degli *Outfall* (Simulazione 4.3)

Outfall	TKN	TKN	TKN*	COD	COD	COD*	BOD5	BOD5	BOD5*
	kg/d	%	%	kg/d	%	%	kg/d	%	%
OUT47	20.71	0.44	0.01	250.11	0.25	0.05	122.11	0.28	0.06
OUT48	0.25	0.01	0.00	13.17	0.01	0.00	5.42	0.01	0.00
OUT49	0.35	0.01	0.00	25.03	0.03	0.00	10.16	0.02	0.00
OUT58	17.89	0.38	0.01	452.08	0.46	0.08	195.75	0.45	0.09
OUT57	0.58	0.01	0.00	38.86	0.04	0.01	15.94	0.04	0.01
OUT388	0.02	0.00	0.00	2.17	0.00	0.00	0.87	0.00	0.00
OUT335	0.14	0.00	0.00	16.77	0.02	0.00	6.70	0.02	0.00
OUT417	0.19	0.00	0.00	7.28	0.01	0.00	3.11	0.01	0.00
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT54	0.07	0.00	0.00	9.95	0.01	0.00	3.96	0.01	0.00
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
OUT50	6.78	0.14	0.00	172.23	0.17	0.03	75.42	0.17	0.04
depuratore	4344.36			21131.18			13456.18		

Tabella 73: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.3)

Outfall	TSS	TSS	TSS*	E. Coli	Carico E. Coli	E. Coli	E. Coli*	N° scarichi
	kg/d	%	%	logN	CFU/d	%	%	#
OUT47	263.37	0.21	0.11	13.39	2.44E+13	0.49	0.49	20
OUT48	18.05	0.01	0.01	11.36	2.30E+11	0.00	0.00	4
OUT49	34.91	0.03	0.01	11.46	2.88E+11	0.01	0.01	4
OUT58	586.26	0.48	0.24	13.21	1.61E+13	0.33	0.33	25
OUT57	56.49	0.05	0.02	10.95	8.81E+10	0.00	0.00	8
OUT388	3.14	0.00	0.00	9.22	1.64E+09	0.00	0.00	6
OUT335	24.21	0.02	0.01	10.10	1.24E+10	0.00	0.00	25
OUT417	10.70	0.01	0.00	10.53	3.41E+10	0.00	0.00	7
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT54	14.24	0.01	0.01	10.37	2.32E+10	0.00	0.00	4
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00	0.00	0.00	0
OUT50	216.02	0.18	0.09	12.91	8.13E+12	0.16	0.16	8
depuratore	12032.66			15.68	4.81E+15			

Tabella 74: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.3)

Storage Unit	Qmn	Qmax	P
	l/s	l/s	-
OUT47	12.2120	40.7	3
OUT48	11.4583	88.69	8

OUT49	6.2313	86.24	14
OUT58	4.0191	15.59	4
OUT57	1.4157	24.36	17
OUT388	0.1630	14.53	89
OUT335	0.3056	130.1	426
OUT417	0.0469	2.31	49
OUT336	0.1630	0.09	1
OUT54	0.2302	15.67	68
OUT331	0.2261	49.99	221
OUT51	0.0660	0.27	4
OUT50	5.3309	34.62	6

Tabella 75: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.3)

4.4.7 Scenario di SIMULAZIONE 4.4

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: 1 anno

BUILDUP: SI

Outfall	TKN	COD	BOD5	TSS	E. Coli	Carico E. Coli
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	logN	CFU/d
OUT47	67.71	963.03	455.85	1055.81	13.88	7.53E+13
OUT48	0.51	22.86	9.50	30.74	11.64	4.32E+11
OUT49	0.40	28.70	11.65	39.94	11.49	3.09E+11
OUT58	62.56	1528.10	664.07	1971.80	13.75	5.65E+13
OUT57	2.52	147.44	60.63	207.05	11.40	2.51E+11
OUT388	0.10	4.32	1.79	5.70	9.65	4.48E+09
OUT335	0.82	49.76	20.35	68.16	10.66	4.52E+10
OUT417	0.69	24.53	10.57	36.15	11.10	1.27E+11
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT54	0.29	21.83	8.82	30.12	10.83	6.81E+10
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT50	16.96	480.48	207.46	602.01	13.19	1.55E+13
depuratore	13125.57	65647.97	41350.48	38565.66	16.16	1.44E+16

Tabella 76: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.4)

4.4.8 Scenario di SIMULAZIONE 4.5

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: Inverno (Ottobre-Maggio)

BUILDUP: SI

OUTFALL	TKN	COD	BOD5	TSS	E. Coli	Carico E. Coli
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	logN	CFU/d
OUT47	47.19	717.30	335.62	801.62	13.71	5.16E+13
OUT48	0.25	9.53	4.01	12.54	11.34	2.19E+11
OUT49	0.06	3.81	1.56	5.24	10.69	4.93E+10
OUT58	44.41	1072.92	466.83	1382.48	13.60	4.02E+13
OUT57	1.57	104.81	42.81	148.29	11.19	1.56E+11
OUT388	0.04	1.75	0.73	2.34	9.35	2.23E+09
OUT335	0.48	30.93	12.62	42.71	10.47	2.96E+10
OUT417	0.46	17.33	7.43	25.50	10.92	8.36E+10
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT54	0.11	10.79	4.32	15.25	10.63	4.29E+10
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT50	10.66	299.70	129.51	374.96	12.99	9.79E+12
depuratore	8745.54	44192.85	27728.01	26335.51	15.98	9.59E+15

Tabella 77: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.5)

4.4.9 Scenario di SIMULAZIONE 4.6

EVENTO: Anno Tipo, Pedaso

DURATA: Estate (Giugno-Settembre)

BUILDUP: SI

Outfall	TKN	COD	BOD5	TSS	E. Coli	Carico E. Coli
	kg/d	kg/d	kg/d	kg/d	logN	CFU/d
OUT47	21.32	256.25	125.18	266.95	13.39	2.44E+13
OUT48	0.26	13.32	5.50	18.14	11.36	2.31E+11
OUT49	0.37	25.29	10.29	35.06	11.46	2.89E+11
OUT58	17.97	452.90	196.16	586.74	13.21	1.61E+13
OUT57	0.94	42.41	17.72	58.56	10.97	9.35E+10

OUT388	0.06	2.55	1.06	3.35	9.35	2.22E+09
OUT335	0.33	18.65	7.64	25.30	10.19	1.53E+10
OUT417	0.19	7.28	3.11	10.70	10.53	3.41E+10
OUT336	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT54	0.18	11.00	4.48	14.86	10.40	2.48E+10
OUT331	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT51	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00E+00
OUT50	7.81	182.60	80.60	222.07	12.91	8.15E+12
depuratore	4370.20	21389.57	13585.37	12183.38	15.68	4.81E+15

Tabella 78: Risultati qualitativi degli *Outfall* (Simulazione 4.6)

4.4.10 Confronto tra i vari scenari e determinazione degli impatti

Successivamente si riportano i grafici risultanti dallo Scenario 0 massimo, distinguendo la parte idraulica da quella qualitativa.

IDRAULICA

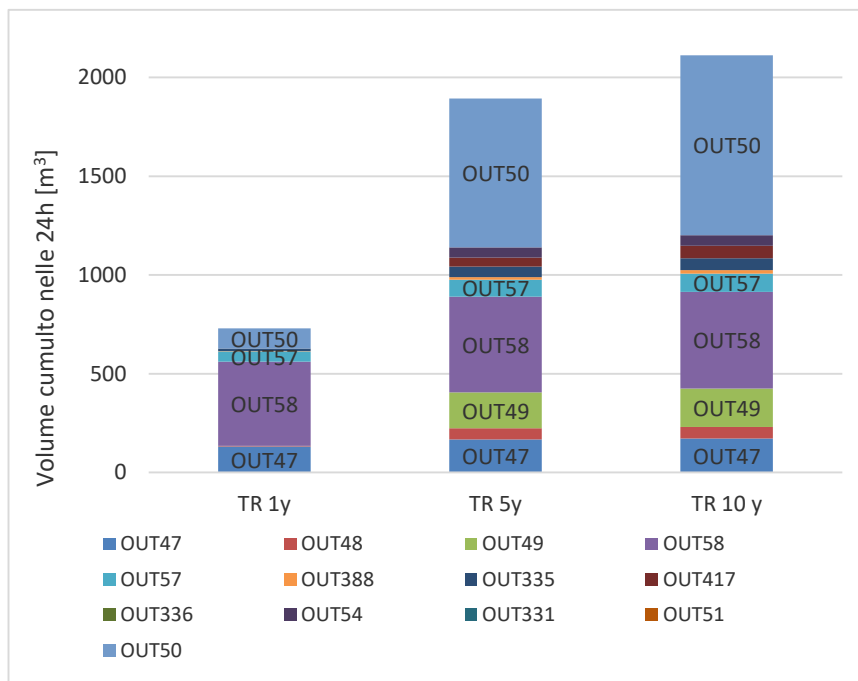


Grafico 8: Volume cumulo nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

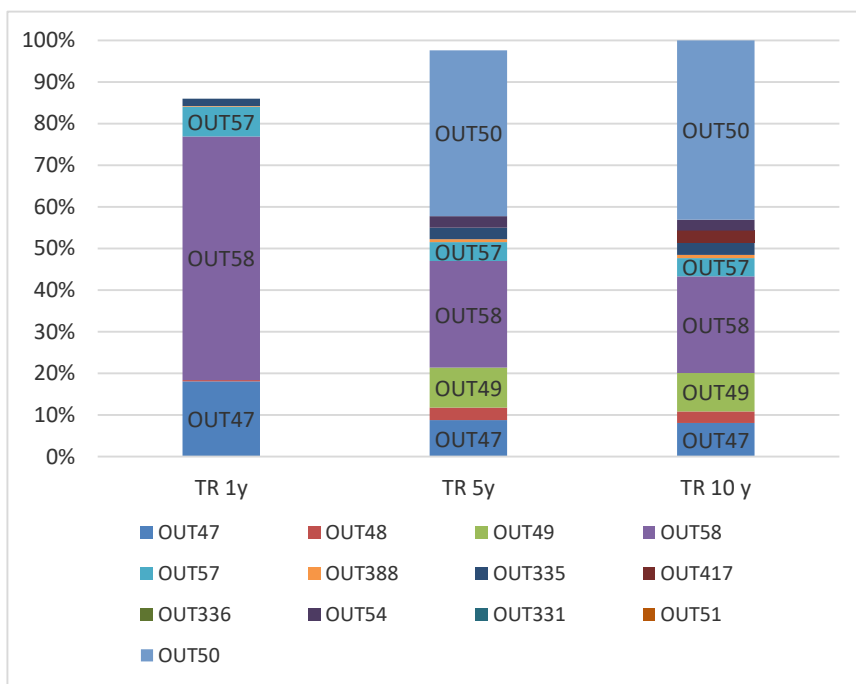


Grafico 9: Percentuale di volume scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

Dai grafici soprastanti si nota che per le Simulazioni 1, 2, 3 le vasche che scolmano maggiormente nei corpi idrici ricettori sono la 58 e la 50, altre sfiorano in maniera minore, ma comunque in modo non trascurabile, come la 47, 49 e 57. Inoltre, si evidenzia che all'aumentare del tempo di ritorno aumentano i volumi espulsi dagli scolmatori, cosa che non si può dire per le percentuali.

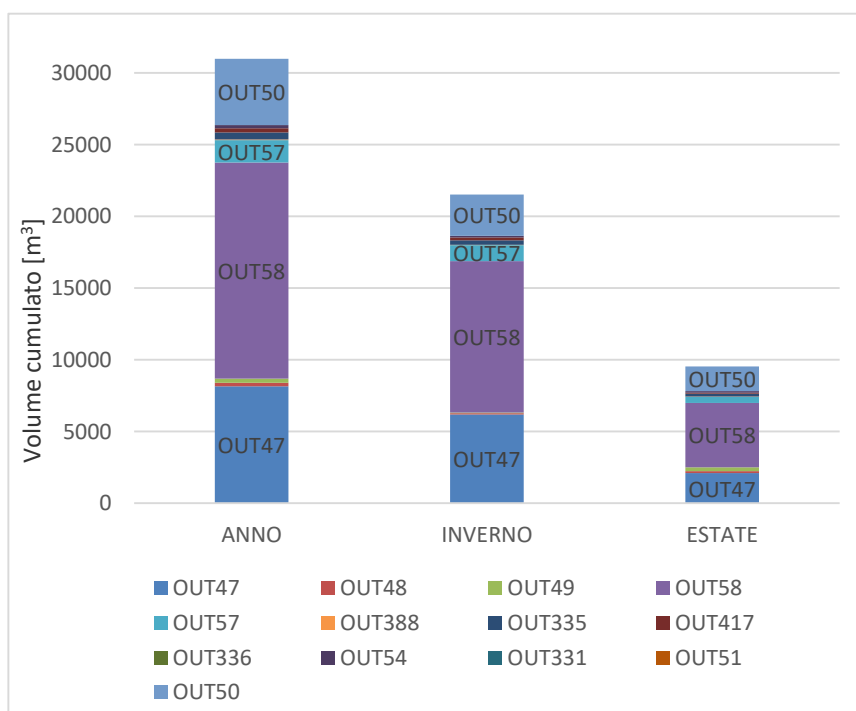


Grafico 10: Volume cumulato in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

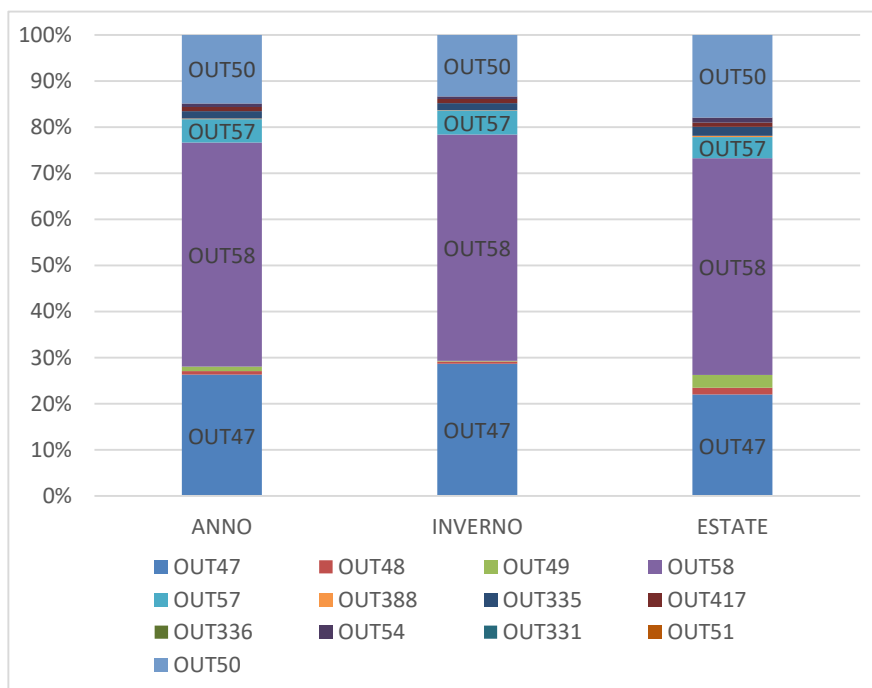


Grafico 11: Percentuale di volume scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Anche dall'elaborazione dell'anno tipo risulta che la vasca 58 è quella che scolma un volume maggiore, seguita dalle vasche 47 e 50.

TKN

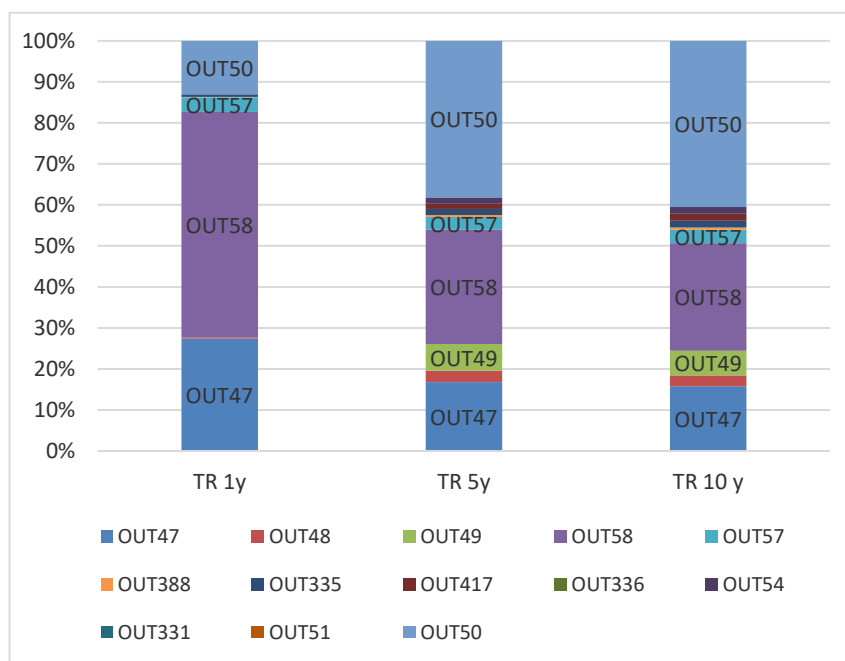


Grafico 12: Percentuale di carico di TKN scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

L'incidenza del carico di massa di TKN sullo scolmato totale, sia considerando i tempi di ritorno sia l'anno tipo, risulta elevata sempre per le vasche 58, 50 e 47.

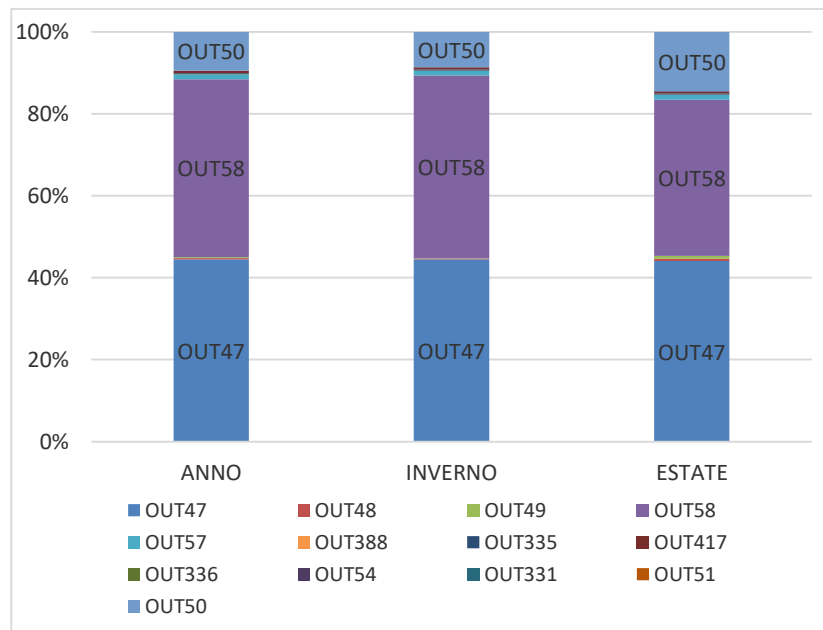


Grafico 13: Percentuale di carico di TKN scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Analogamente, l'impatto in ambiente in termini di TKN è legato principalmente alle medesime vasche e si aggira intorno all'1% rispetto al totale presente.

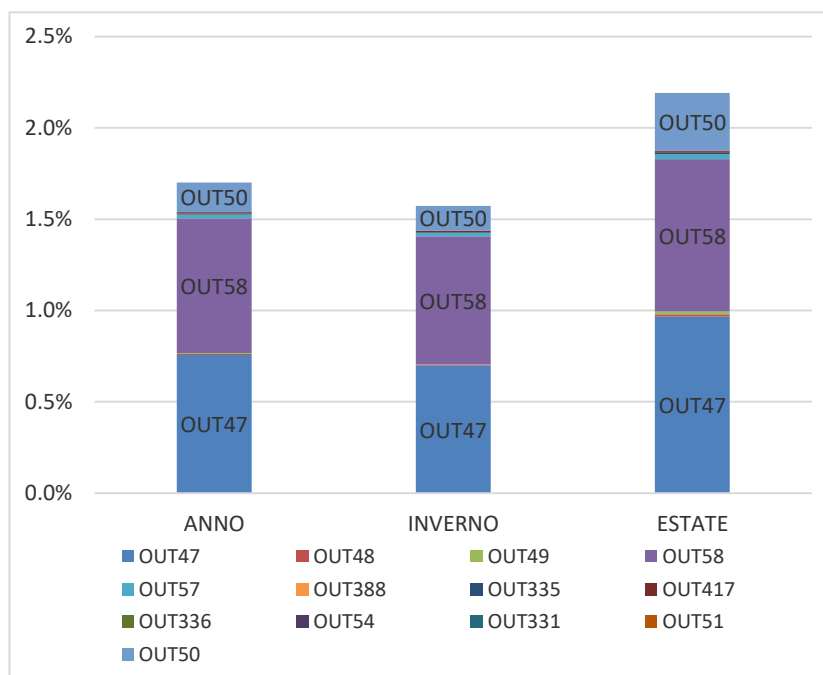


Grafico 14: Percentuale di carico di TKN scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

COD

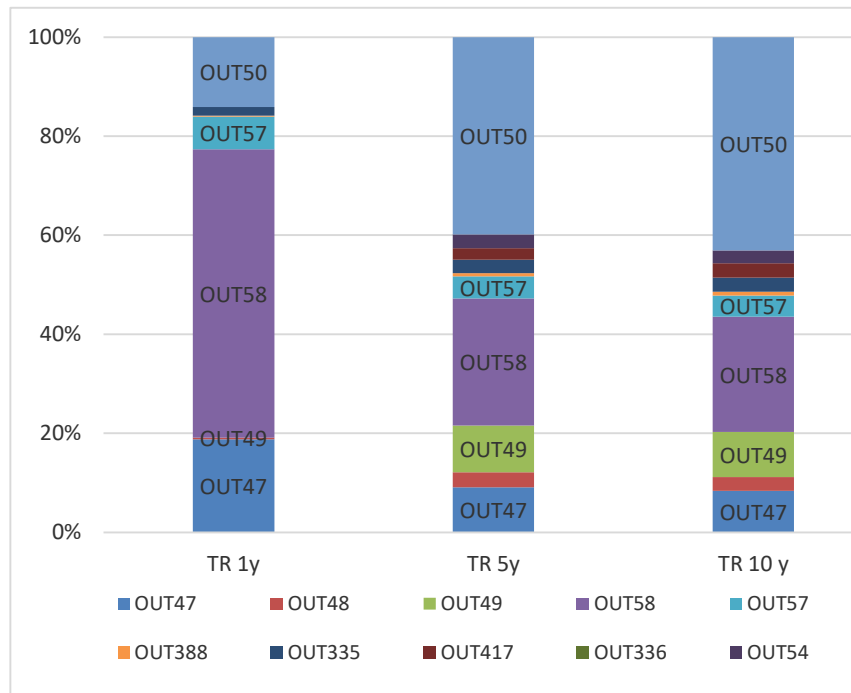


Grafico 15: Percentuale di carico di COD sciolto sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

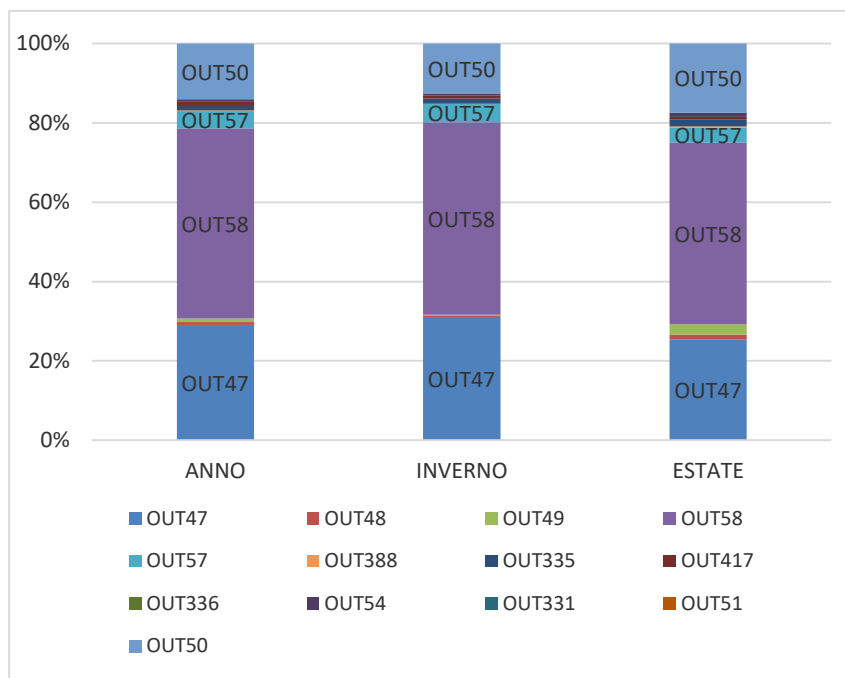


Grafico 16: Percentuale di carico di COD sciolto sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

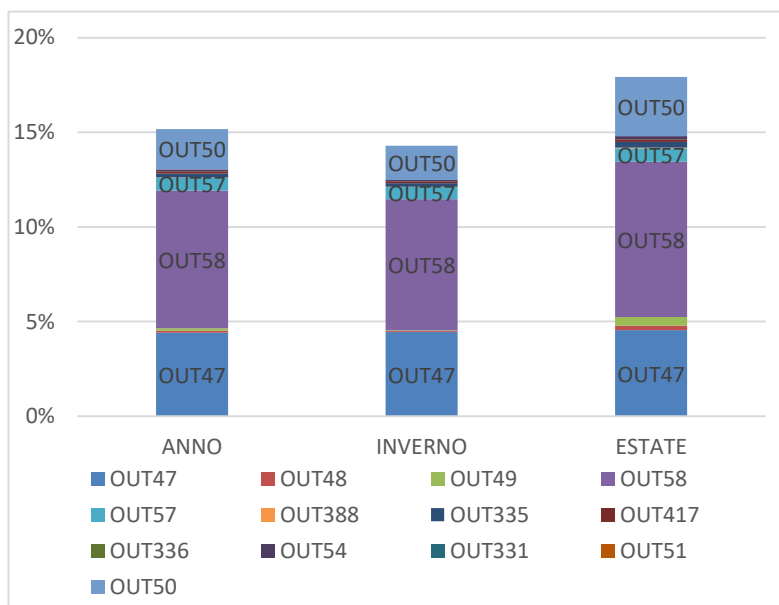


Grafico 17: Percentuale di carico di COD scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Per il COD la situazione è analoga a quella del TKN, con in aggiunta le vasche 57 e 49 che aumentano la loro percentuale di carico scolmato sul totale. Inoltre, in tal caso, l'impatto in ambiente aumenta fino a raggiungere circa l'8% per la vasca 58 e pressoché il 4% per la vasca 47.

TSS

Come si può vedere dai grafici, le vasche che scolmano il carico maggiore sono le stesse citate precedentemente.

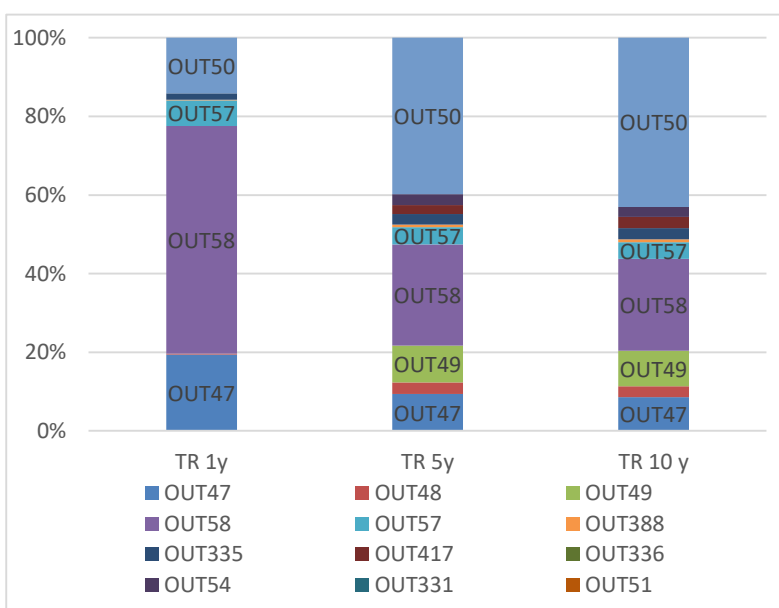


Grafico 18: Percentuale di carico di TSS scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

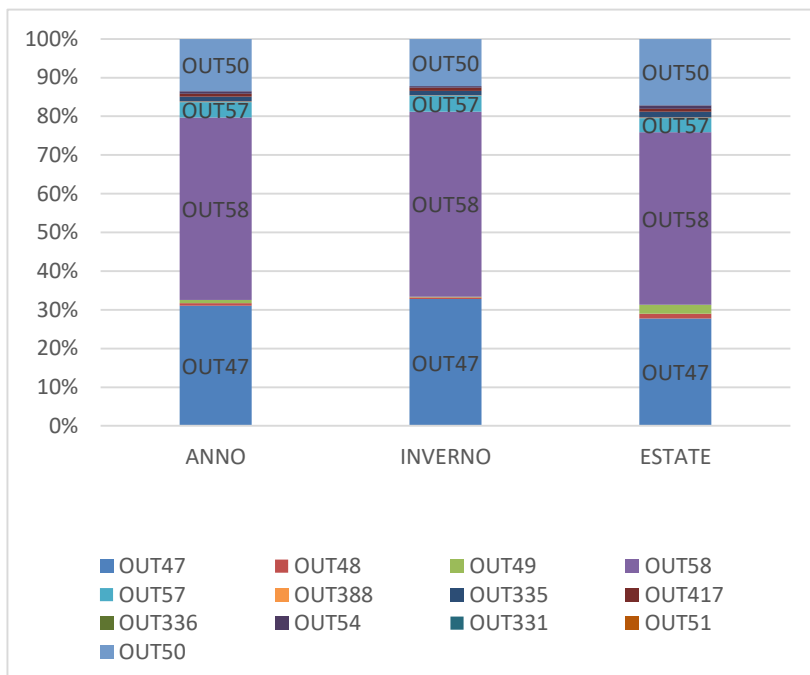


Grafico 19: Percentuale di carico di TSS sciolto sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Si osserva che le percentuali di impatto in ambiente aumentano leggermente rispetto a quelle del COD.

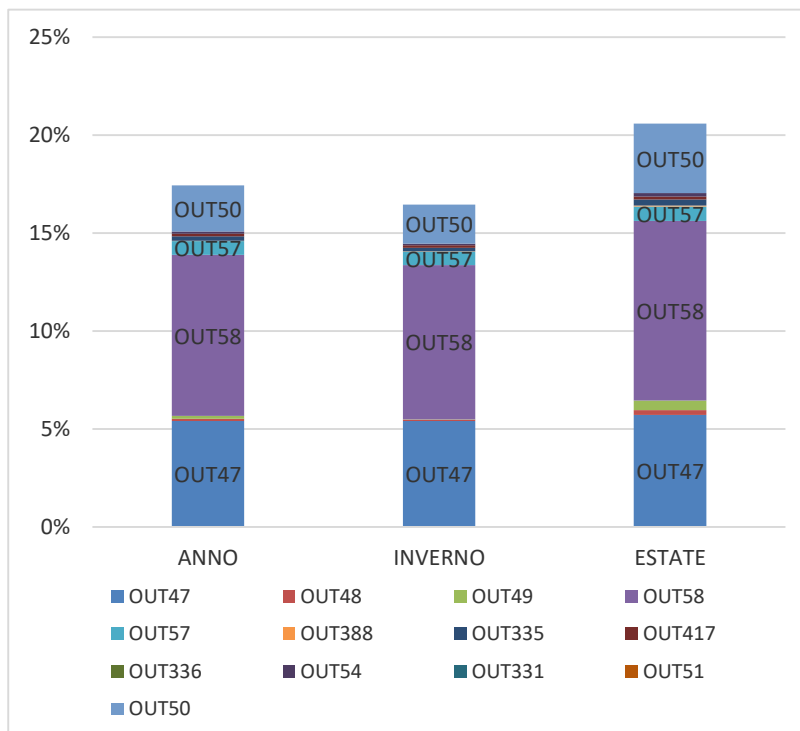


Grafico 20: Percentuale di carico di TSS sciolto sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

BOD5

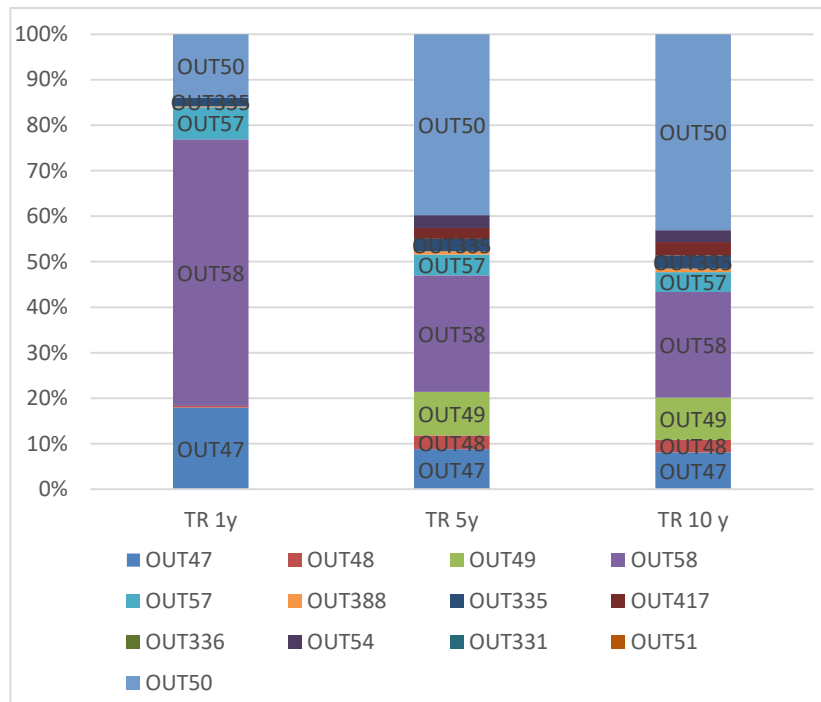


Grafico 21: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

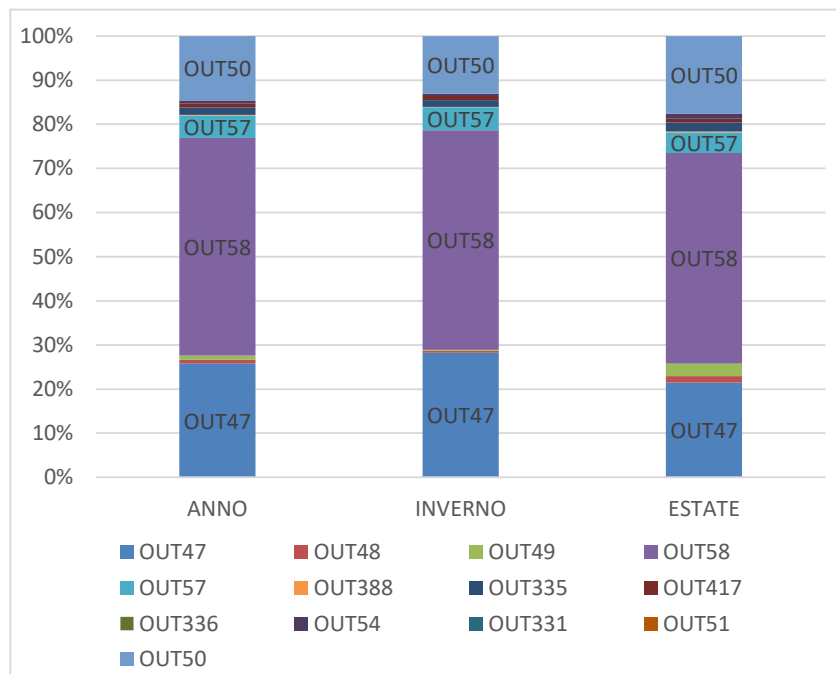


Grafico 22: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

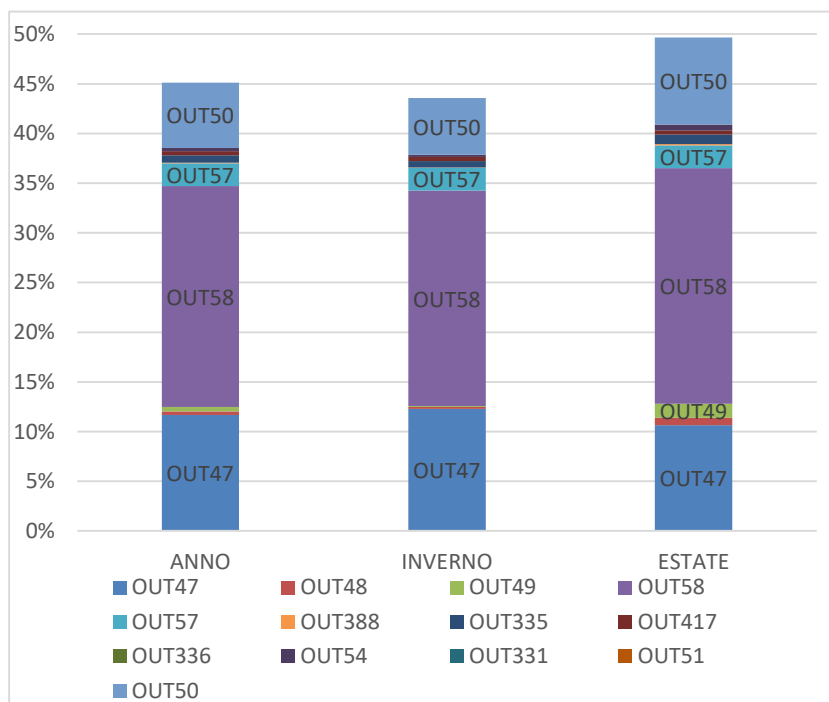


Grafico 23: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Per quanto riguarda il BOD5 si registra un notevole aumento dell'impatto in ambiente che, relativamente alla vasca 58 raggiunge circa il 24%, il 12% per la vasca 47 e l'8% per la vasca 50.

Escherichia Coli

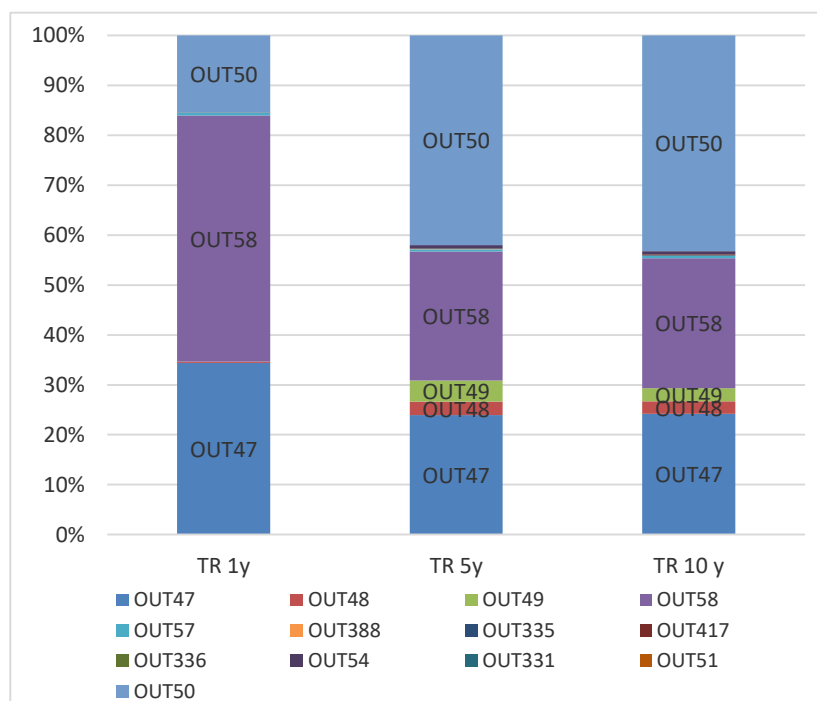


Grafico 24: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni

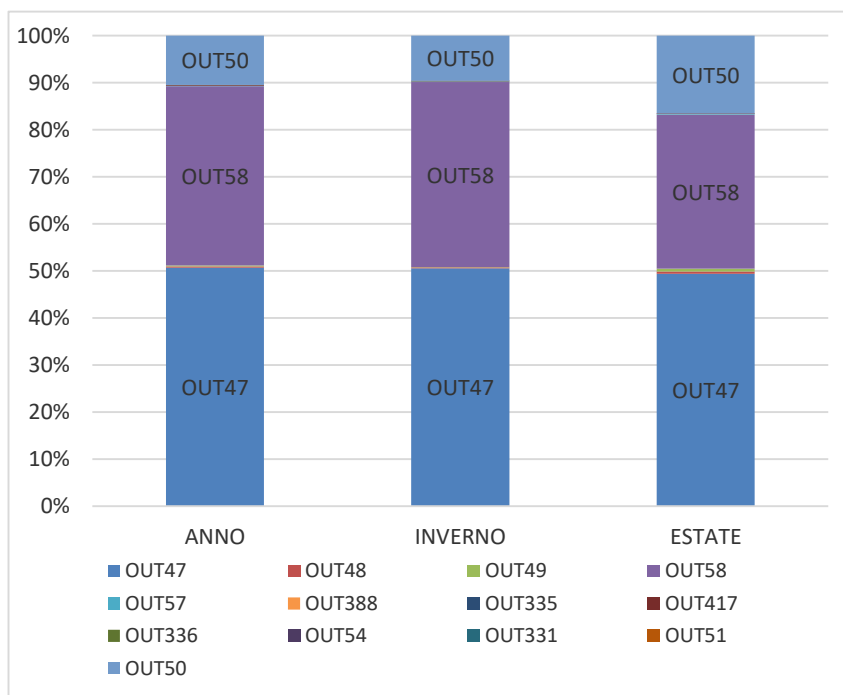


Grafico 25: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

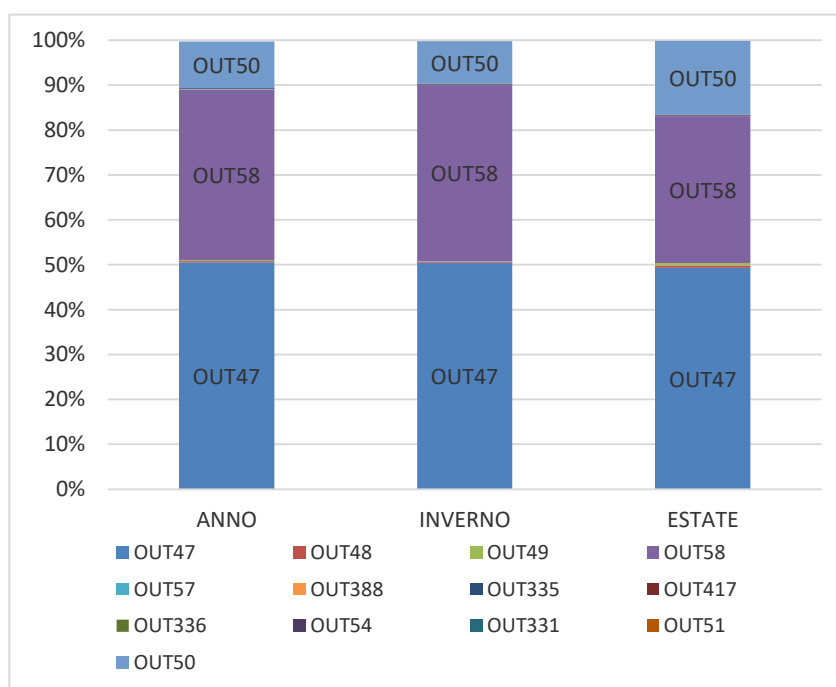


Grafico 26: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate

Relativamente ai Coli, che rappresentano i maggiori indicatori di cattiva qualità delle acque, si evidenzia che le vasche maggiormente impattanti, come riscontrato in precedenza, risultano sempre

la 58, 47 e 50 e in tal caso si rilevano percentuali intorno al 50% per la vasca 47, 38% per la 58 e circa il 15% per la 50.

Si conclude che, sia da un punto di vista idraulico che qualitativo, gli scolmatori più problematici sono le vasche 58, 50, 47 e 57, le quali incidono in maniera significativa in tutti gli scenari simulati.

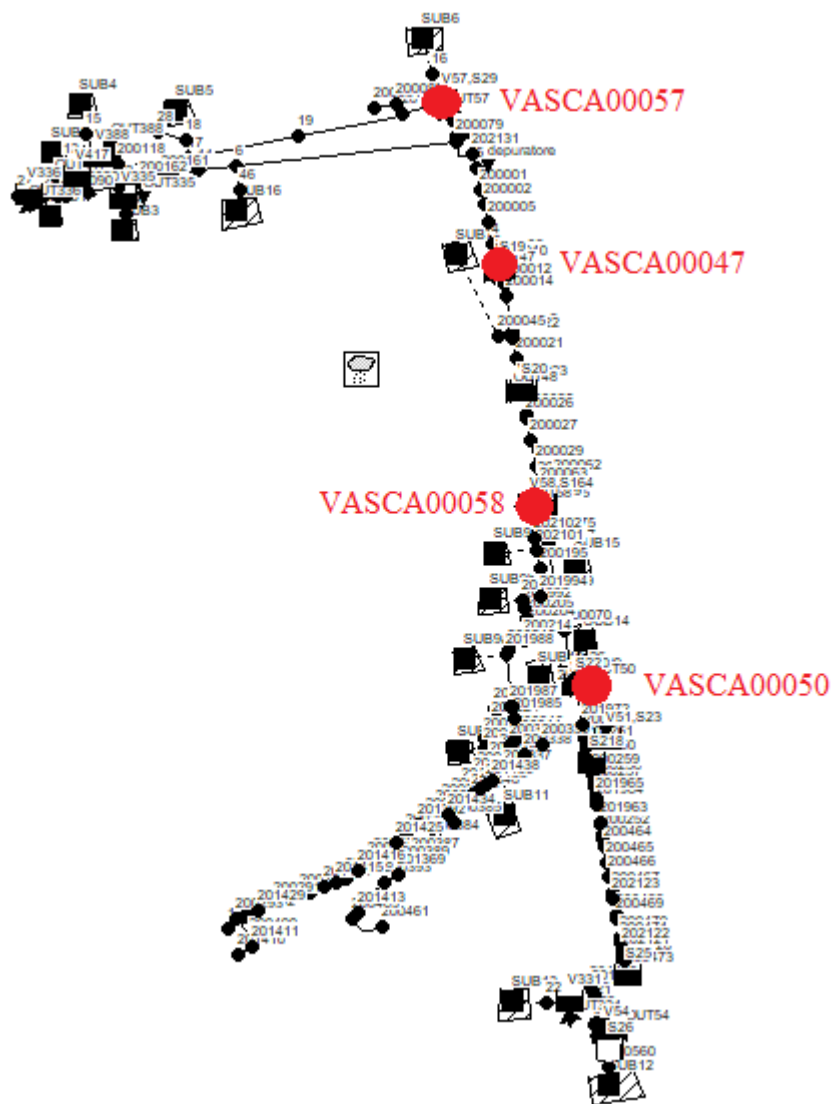


Figura 50: Individuazione delle vasche più problematiche

	N° eventi di scolmo		
	Anno Tipo	Inverno	Estate
VASCA00057	18	10	8
VASCA00047	123	103	20
VASCA00058	119	94	25
VASCA00050	19	11	8

Tabella 79: Numero di attivazioni delle vasche più problematiche durante l'anno

In seguito, si sono analizzati anche i carichi di massa dei principali macroinquinanti in ingresso alla rete fognaria distinguendo quelli provenienti dalle acque di dilavamento rispetto al contributo derivante dalle acque di scarico delle utenze allacciate alla rete.

Dai seguenti risultati si osserva che i contributi di BOD5 per tempo di ritorno 1 anno e di TKN e E. Coli per tutti i tempi di ritorno, provengono quasi interamente dagli scarichi delle utenze allacciate alla rete; al contrario i TSS, il COD e il BOD5 per tempi di ritorno di 5 e 10 anni, derivano principalmente dal dilavamento. Si evidenzia altresì che, all'aumentare dei tempi di ritorno, per i diversi inquinanti, aumenta la percentuale di carico associato al dilavamento rispetto a quella proveniente dalle utenze.

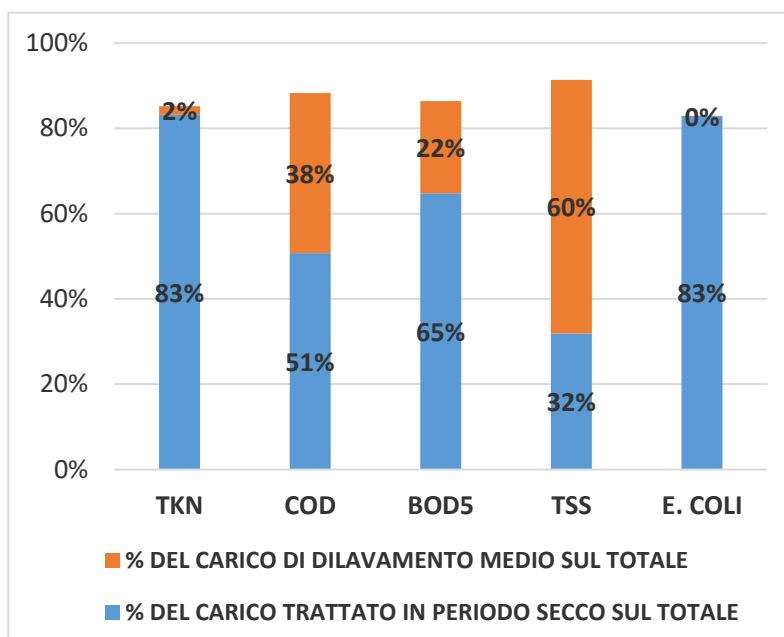


Grafico 27: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 1$ anno

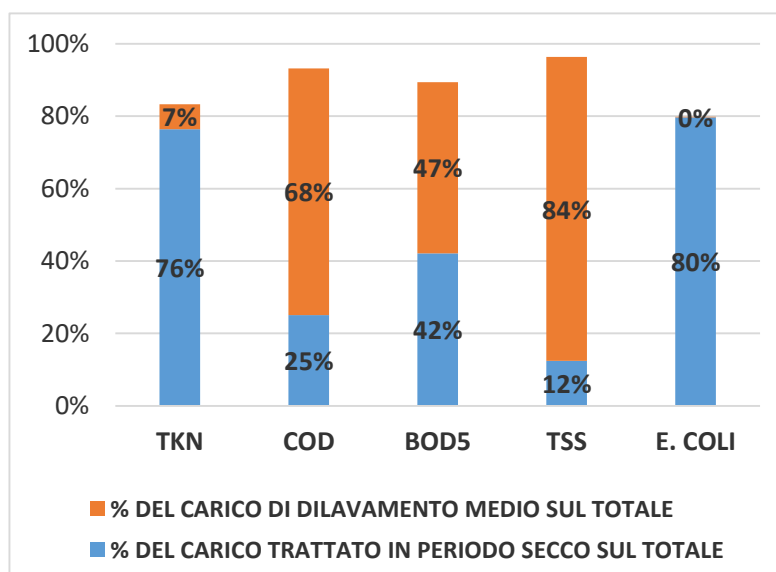


Grafico 28: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 5$ anni

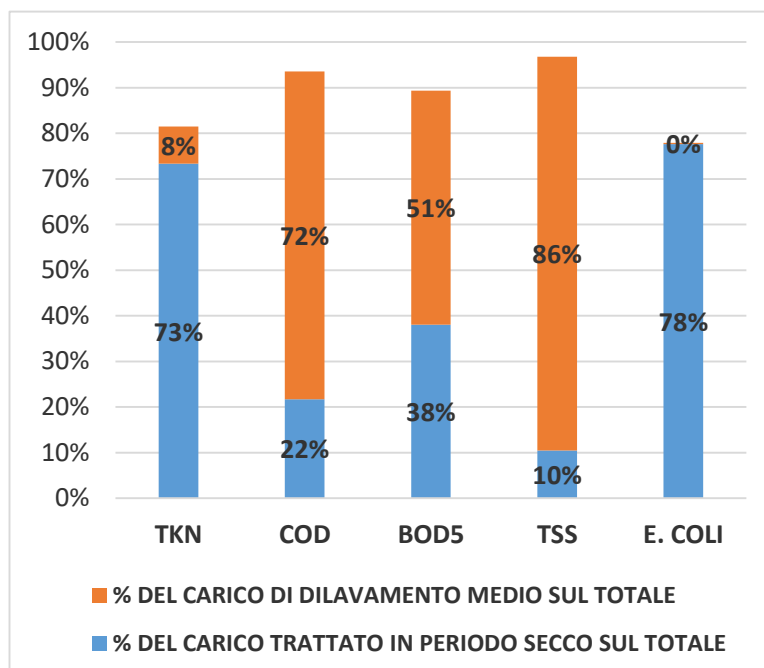


Grafico 29: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 10$ anni

Inoltre, dal seguente grafico, si osserva che la percentuale di carico scolmato sul totale risulta maggiore per i TSS, il COD e il BOD5, mentre l'incidenza del TKN e degli E. Coli risulta piuttosto bassa. Si nota anche che, indipendentemente dal tipo di macroinquinante considerato, tale percentuale aumenta passando da un tempo di ritorno di un anno fino a dieci anni.

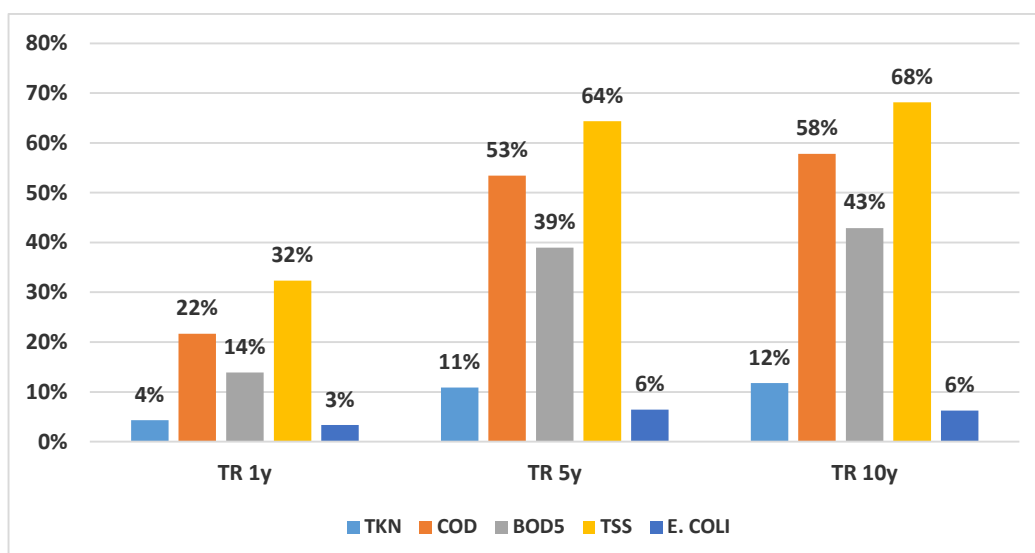


Grafico 30: Percentuale di carico scolmato medio sul totale relativo a $T_R = 1, 5$ e 10 anni

In riferimento all'anno tipo, risulta che la maggior parte del carico in ingresso alla rete, indipendentemente dal tipo di macroinquinante considerato, proviene dagli scarichi delle utenze allacciate alla rete; solo una quantità molto bassa è associata al dilavamento.

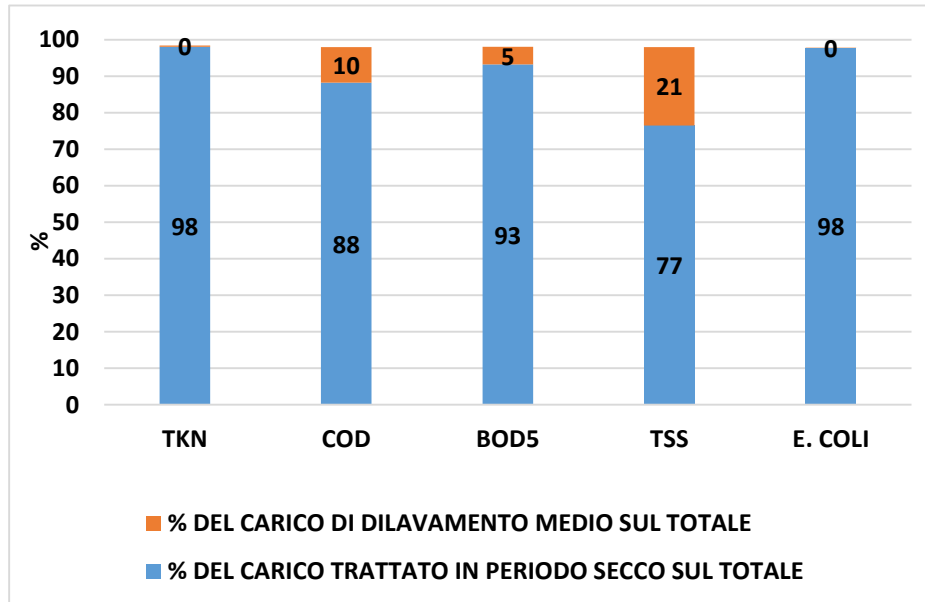


Grafico 31: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo

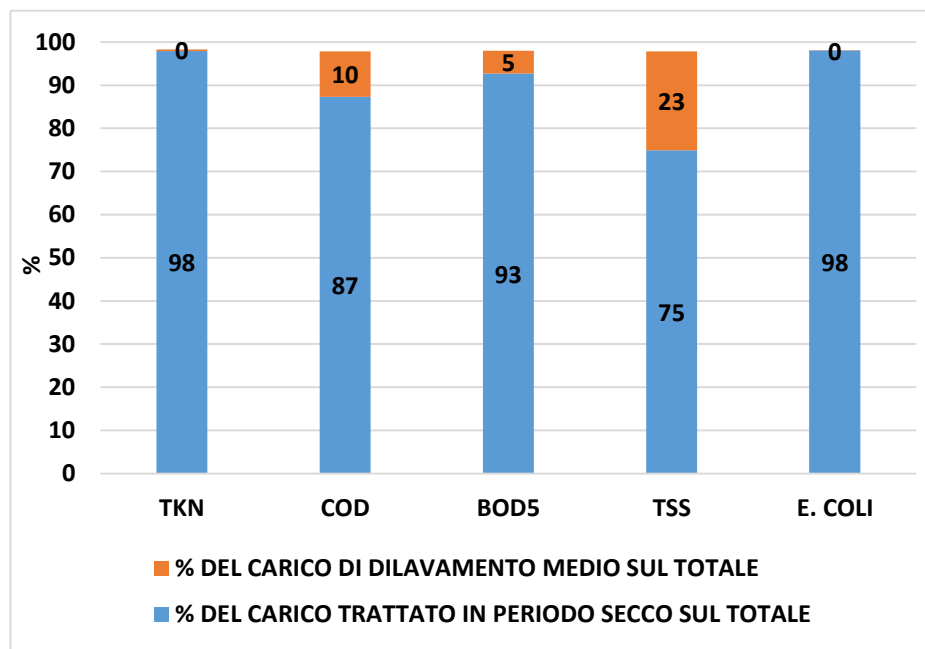


Grafico 32: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo invernale

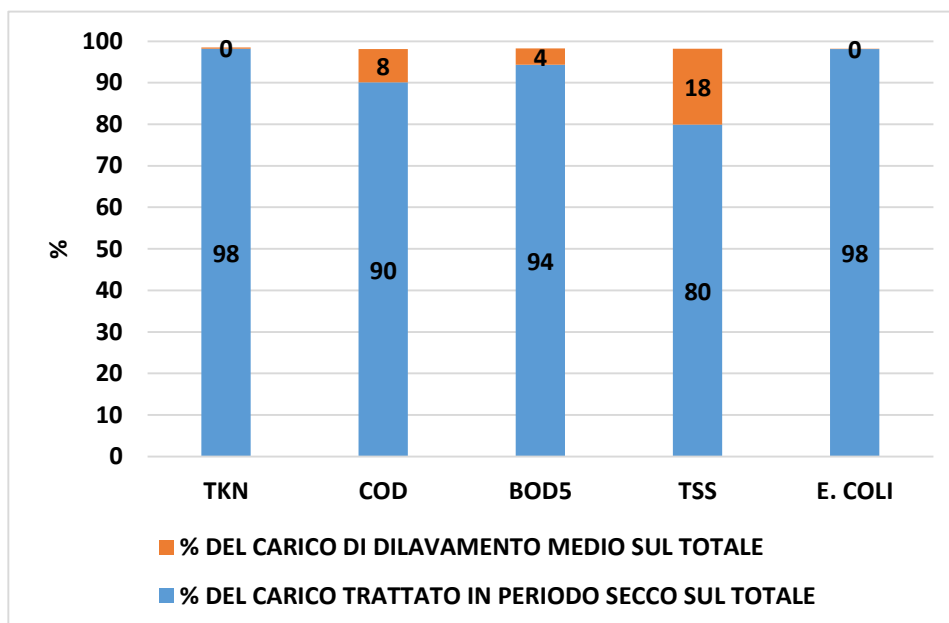


Grafico 33: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo estivo

In analogia a quanto ottenuto precedentemente, dal Grafico 34 si osserva che gli inquinanti con impatto minore sono il TKN e gli E. Coli e si evidenzia anche una variabilità contenuta, con percentuali leggermente più basse nel periodo estivo.

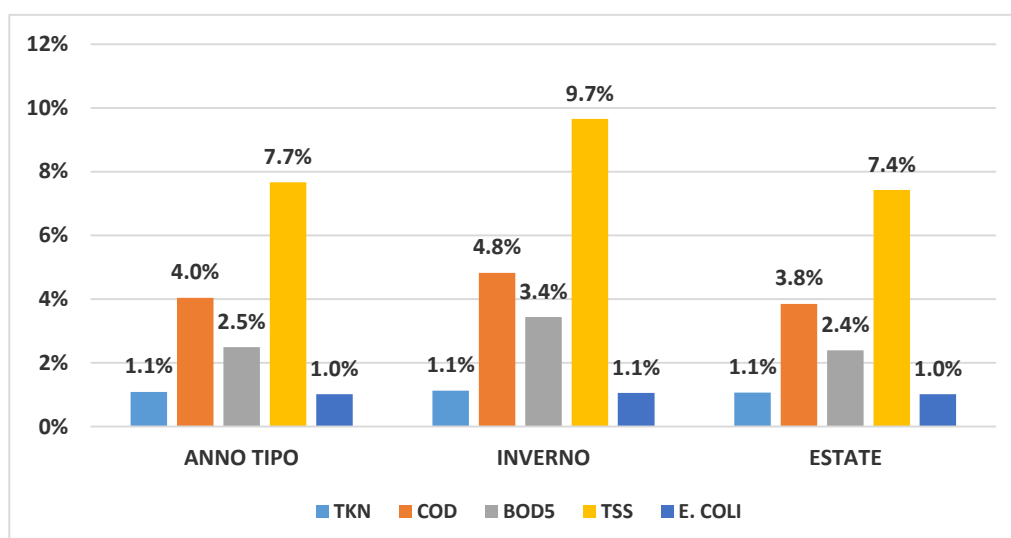


Grafico 34: Percentuale di carico sciolto medio sul totale in riferimento all'anno tipo

Infine, mettendo in relazione i diversi contributi che comportano l'impatto in ambiente, si nota che, ad eccezione degli E. Coli associati quasi esclusivamente al carico sciolto, l'impatto in termini di

TKN, COD e BOD5 è legato quasi interamente all'effluente dall'impianto di depurazione, mentre per quanto riguarda i TSS una buona parte è dovuta al carico scolmato.

L'incidenza associata alle utenze non allacciate è molto contenuta per tutti i macroinquinanti.

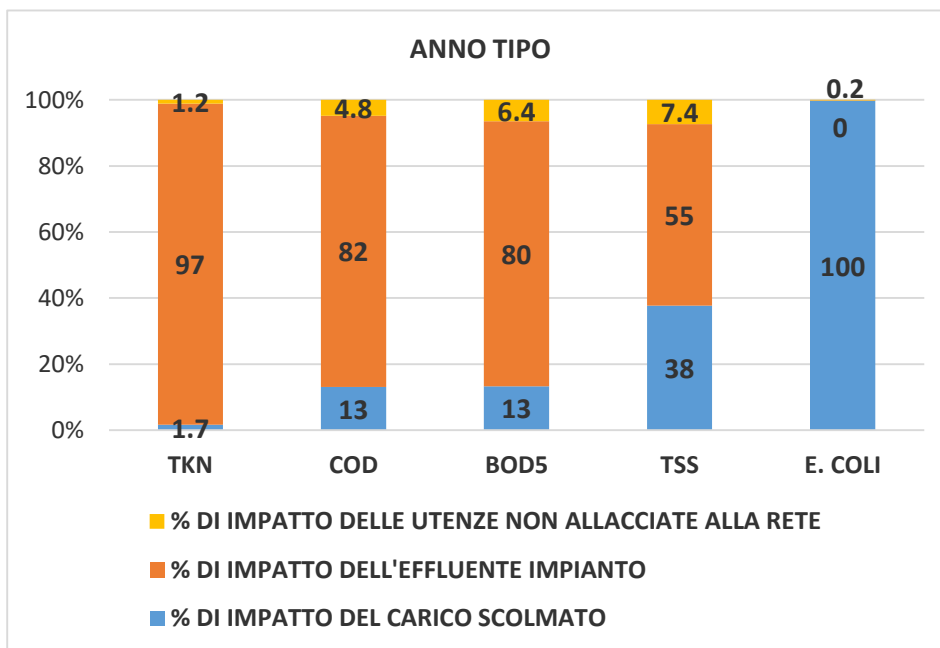


Grafico 35: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo

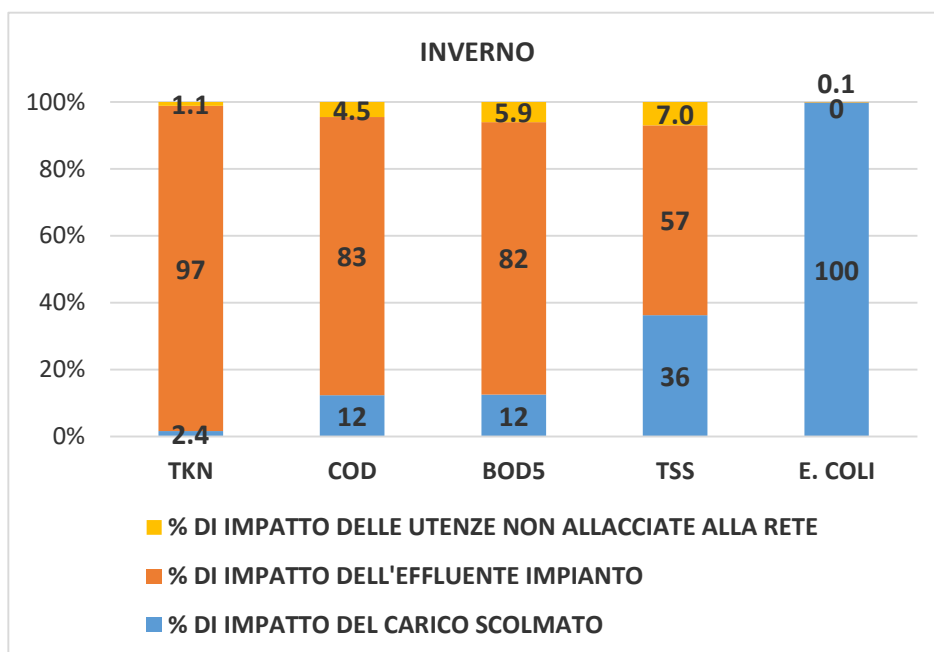


Grafico 36: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo invernale

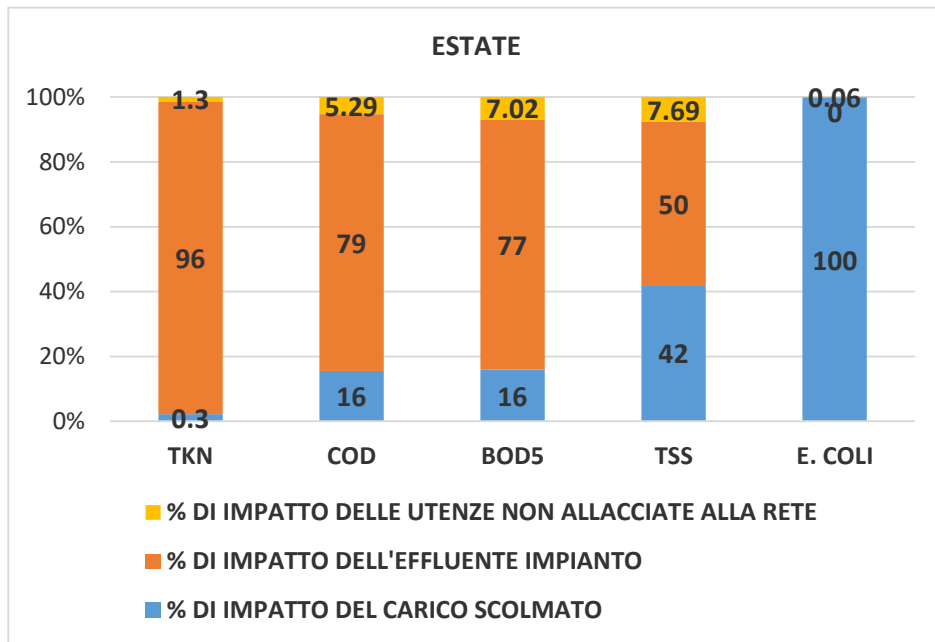


Grafico 37: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo estivo

4.5 Modello semplificato applicato a Peschiera

Nelle tabelle seguenti si riportano i risultati ottenuti dall'applicazione del metodo cinematico per T_R pari a 1, 5 e 10 anni.

$S_{TOT} =$	12741.41	ha
$S_{IMP} =$	7090.96	ha
$S_{PERM} =$	5650.45	ha
$\bar{\phi} =$	0.5617	-
$t_c =$	4.7	h

Tabella 80: Superfici, coefficiente di deflusso medio e tempo di corrivazione del bacino di Peschiera

d_R [m] =	4680.135	$w_R =$	0.3875
d_M [m] =	3722.164	$w_M =$	0.6126

Tabella 81: Distanza stazioni pluviometriche – baricentro bacino e calcolo dei relativi pesi

RODANO, v.Turati			
	1y	5y	10y
h [mm]	6.5216	18.6032	21.1902

Tabella 82: Altezze di precipitazione per $T_R = 1, 5, 10$ anni – stazione di Rodano, v. Turati

MILANO Lambrate			
	1y	5y	10y
h [mm]	5.3280	24.4119	30.2826

Tabella 83: Altezze di precipitazione per $T_R = 1, 5, 10$ anni – stazione Milano Lambrate

ALTEZZA DI PIOGGIA RAGGUAGLIATA			
	1y	5y	10y
h [mm]	5.7905	22.1614	26.7598

Tabella 84: Altezza di pioggia ragguagliata per $T_R = 1, 5, 10$ anni

	1y	5y	10y
Q [m3/d]	103612.3	396544.4	478826.6

Tabella 85: Valori di portata in ingresso impianto associata a $T_R = 1, 5, 10$ anni

Successivamente, si è creato un modello in modo tale che, al variare del giorno stabilito è possibile conoscere direttamente il carico di massa in ingresso impianto e, sulla base delle prestazioni del depuratore, valutare il riutilizzo delle acque trattate.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti, considerando il 21.10.2019.

	wi	h [mm]	h pesata [mm]	Qrun off [m ³ /h]	Qrun off [m³/d]
Rodano	0.28053	0	2.21	32249	773973
Milano Lambrate	0.44351	3.15			
Milano Juvara	0.12507	2.325			
Cinisello Balsamo	0.07163	3.675			
Milano Rossellini	0.07926	3.25			

Tabella 86: Determinazione della portata di run off

	Q _{IN} [m ³ /d]	Qlaminazione [m³/d]
BRUGHERIO (Via Guzzina)	13654	722036
CARUGATE (Via Fratelli Bandiera)	13654	
CASSINA DE PECCHI (Via Leonardo da Vinci)	67608	
PIOLTELLO (Via Rugacesio)	178560	
PIOLTELLO (Viale San Francesco)	148320	
PIOLTELLO (Via Dante Alighieri)	64800	
SEGRATE (Via Rugacesio)	95040	
VIMODRONE (Via Pio La Torre)	68760	

Tabella 87: Determinazione della portata di laminazione

Qnera [m³/d]	
L1	L2
70374	55241

Tabella 88: Valori della portata nera in ingresso nell'impianto di depurazione, distinti per le due linee

Qnera tot (L1+L2) [m ³ /d] =	125615
Qrun off - Qlam. [m ³ /d] =	51937
Q tot ingresso [m³/d] =	177552

Tabella 89: Calcolo della portata totale in ingresso impianto

Q ingresso impianto [m³/d]	
22.10.2019	
L1	66382
L2	79246
L1 + L2	145628

Tabella 90: Portata misurata totale in ingresso impianto

Dal rapporto tra la portata in ingresso impianto misurata (145628 m³/d) e quella calcolata (177552 m³/d) risulta uno scarto del 18%, per cui si ritiene che il modello è validato da un punto di vista idraulico.

Per una maggiore chiarezza si evidenziano i valori delle portate ottenute, distinte per periodo di pioggia e di secco.

TEMPO DI PIOGGIA	Q run off [m ³ /d] =	773973
	Q laminazione [m ³ /d] =	722036
	Q ingresso impianto [m³/d] =	51937

Tabella 91: Portata in ingresso impianto in tempo di pioggia

TEMPO SECCO	Q ingresso impianto (L1) [m³/d] =	70374
	Q ingresso impianto (L2) [m³/d] =	55241

Tabella 92: Portata in ingresso impianto in tempo secco

Inoltre, sia in condizioni di tempo di pioggia che per tempo secco, si sono calcolati i carichi di massa, sulla base dei quali poi si è effettuata poi la calibrazione qualitativa.

TSS [kg/d]		COD [kg/d]		TKN [kg/d]		E.Coli [UFC/d]	
min	max	min	max	min	max	min	max
3333	6798	2924	4743	36	74	908896	908896
5066		3833		55		908896	

Tabella 93: Carichi di massa in ingresso impianto in tempo di pioggia

	TSS [mg/l]	COD [mg/l]	TKN [mg/l]	E.Coli [ufc/l]
L1	226	398.5	24.5	10000000
L2	80	155	28	10000000

Tabella 94: Concentrazioni medie dei macroinquinanti principali registrate nel mese di ottobre, in tempo secco

	TSS [kg/d]	COD [kg/d]	TKN [kg/d]	E.Coli [UFC/d]
L1	15904.58	28044.14	1724.17	703742424.2
L2	4419.27	8562.33	1546.74	552408571.4

Tabella 95: Carichi di massa in ingresso impianto in tempo secco

	kg/d in tempo di pioggia + kg/d in tempo secco		
	TSS [kg/d]	COD [kg/d]	TKN [kg/d]
con conc. di pioggia min	23657.16	39530.00	3307.27
con conc. di pioggia max	27122.21	41348.98	3344.52

Tabella 96: Carico di massa totale calcolato in ingresso impianto

Dalle tabelle di marcia si sono ricavati per il giorno 22.10.2019 i seguenti carichi di massa che arrivano in impianto.

	TSS [kg/d]	COD [kg/d]	TKN [kg/d]
L1	6372.672	9227.098	1062.112
L2	6973.648	8479.322	1030.198
L1+ L2	13346.32	17706.42	2092.31

Tabella 97: Carichi di massa misurati in ingresso impianto

Dal rapporto tra i carichi di massa in ingresso impianto misurati e quelli calcolati emergono errori non accettabili, per cui il modello non risulta ancora validato dal punto di vista qualitativo nel giorno di riferimento e risulta necessaria una valutazione su più lungo periodo.

Infine, per comprendere meglio la provenienza dei carichi di massa in arrivo all'impianto di depurazione, si sono calcolate le diverse percentuali, riportate poi nei grafici seguenti, dai quali emerge che le precipitazioni influenzano in maniera contenuta la qualità delle acque coltivate in arrivo all'impianto di depurazione per quanto riguarda il COD e il TKN, mentre in maniera più importante relativamente ai TSS.

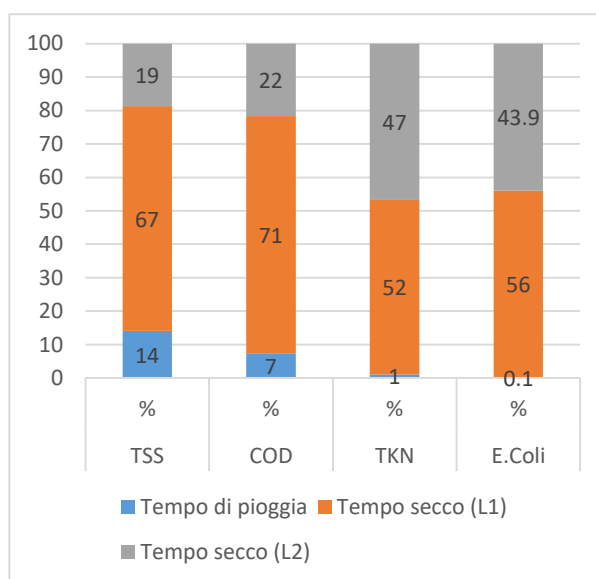


Grafico 38: Percentuali di distribuzione dei carichi di massa in ingresso impianto - con concentrazioni di pioggia minime

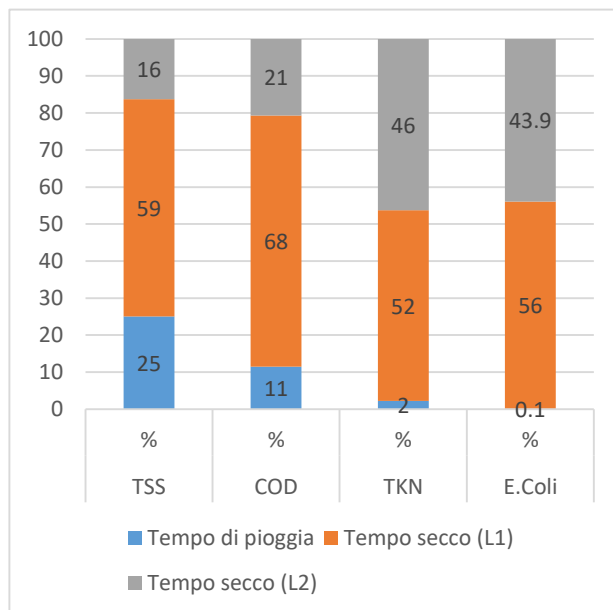


Grafico 39: Percentuali di distribuzione dei carichi di massa in ingresso impianto - con concentrazioni di pioggia massime

Conclusioni

Il presente studio si è svolto al fine di valutare l'impatto ambientale degli scolmatori di fognatura mista presenti in località costiere, in particolare nel comune di Cupra Marittima (AP) e dalle analisi effettuate è emerso che gli scolmatori più problematici, sia a livello idraulico sia qualitativo, sono quattro:

- VASCA00057 che raccoglie i flussi provenienti da ovest rispetto all'impianto di depurazione e scarica nel Fosso Menocchia;
- VASCA00050 posizionata nella condotta a sud del depuratore e sversa nel Torrente Sant'Egidio;
- VASCA00058, la quale raccoglie i flussi provenienti dalla zona interna posta a sud;
- VASCA00047, posizionata a sud e immediatamente prima del depuratore Taffetani.

Di questi scolmatori, sia in termini di numero di attivazioni durante l'anno che di percentuale scolmata sul totale e in ambiente, le vasche 47 e 58 risultano le più critiche.

Inoltre si è constatato che, ad eccezione degli E.Coli legati esclusivamente allo sversamento di tali vasche, l'impatto in ambiente in termini di COD, BOD5 e TKN in realtà è dovuto in maniera prioritaria dallo scarico delle acque reflue trattate, in uscita dall'impianto di depurazione; mentre la quantità dei solidi sospesi totali è invece influenzata in modo significativo dal volume di acque reflue scolmate.

In base a questi risultati, al fine di ridurre al minimo gli impatti in ambiente legati agli scaricatori più problematici, si potrebbe pensare di applicare il medesimo modello predittivo realizzato per l'impianto di Peschiera Borromeo, situato a Milano, così da poter valutare la situazione in tempo reale e predire i carichi di massa ed idraulici in ingresso all'impianto di depurazione.

Appendice

Prove di laboratorio

I campioni prelevati lungo la rete fognaria oggetto di studio, sono stati analizzati nel laboratorio di Ingegneria Chimica Ambientale del Dipartimento SIMAU dell'Università Politecnica delle Marche al fine di determinare diversi parametri. Le procedure di analisi vengono spiegate di seguito.

pH

Il pH, definito come il logaritmo della concentrazione degli ioni idrogeno H^+ ($pH = -\log_{10} [H^+]$), consente di definire lo stato di acidità o basicità delle acque.

In particolare, quando il suo valore risulta inferiore a 7 si parla di soluzioni acide in cui avviene il rilascio degli ioni H^+ , quando è maggiore di 7 si hanno soluzioni basiche in cui si verifica il rilascio di ioni OH^- , quando il pH è pari a 7 si parla di soluzione neutra.

La sua determinazione avviene mediante l'utilizzo del piaccametro, il quale è costituito da una sonda e da un dispositivo elettronico che raccoglie i dati della sonda e li trasforma in valori numerici di pH. Da un punto di vista pratico, si immerge la sonda nel refluo da testare e si esegue un movimento lento e rotatorio fino a quando non compare il valore nel display.

ALCALINITA' TOTALE

Per alcalinità si intende la determinazione globale di tutte le basi deboli presenti nell'acqua reflua ossia idrossidi, carbonati e bicarbonati di elementi come calcio, magnesio, sodio e potassio.

Il suo valore esprime la capacità di un'acqua a neutralizzare un acido forte.

La misura dell'alcalinità si esegue normalmente in $mgCaCO_3/l$ perché il carbonato calcico $CaCO_3$ rappresenta la quantità maggiormente presente come forma alcalina all'interno delle acque reflue urbane e la sua determinazione viene condotta per via pHmetrica utilizzando una soluzione di acido preventivamente standardizzato. In particolare, la procedura di determinazione consiste nel prendere 50 ml di refluo al quale viene aggiunto acido cloridrico HCl , facendo così una titolazione acida fino a raggiungere un pH finale pari a 4, in corrispondenza del quale si sono neutralizzate tutte le basi

deboli. Si determina il volume di HCl consumato per la titolazione e attraverso l'applicazione dell'equazione seguente si ottengono i mgCaCO₃/l.

$$\text{Alcalinità (mgCaCO}_3\text{/l)} = \frac{A \times N \times 50000}{V}$$

- A rappresenta i ml di acido HCl dosati dal titolatore
- N è la normalità dell'acido
- 50000 corrisponde al peso molecolare del CaCO₃ moltiplicato per 1000
- V sono i ml di campione analizzato

Normalmente l'acqua di scarico è alcalina a causa delle sostanze riversate negli scarichi domestici, ma comunque è di fondamentale importanza controllare il suo valore perché può costituire un fattore limitante per i processi nell'impianto di depurazione.

TSS

Per la determinazione dei Solidi Sospesi Totali, ovvero della frazione di solidi trattenuta ad una filtrazione di 0.45 μm, il volume di refluo da analizzare deve essere rappresentativo del punto di campionamento poiché laddove la concentrazione attesa è più bassa si tende a compensare l'errore di caratterizzazione analitica prendendo più volume.

Dopo aver definito la quantità di refluo da sottoporre alla prova, nel presente studio pari a 50 ml, si procede con la fase di filtrazione che prevede un primo step di taratura del filtro mediante l'utilizzo di una stufa a 105°C per un tempo sufficiente alla rimozione completa di tutta l'umidità in esso contenuta per poi farlo raffreddare in essiccatore (contenitore in vetro in cui sono presenti dei Sali idrofili) in modo che possa tornare alla temperatura ambiente senza assorbire l'umidità presente nell'aria esterna né quella che il filtro stesso libera in fase di raffreddamento. Questa operazione si rende necessaria al fine di definire il peso tara del filtro, mediante l'utilizzo di una bilancia di precisione. Successivamente, si prende il sistema filtrante costituito da una beuta, da una pietra porosa e da un cilindro superiore in cui viene inserito il refluo da analizzare; si posiziona il filtro sopra la pietra porosa e si procede con la filtrazione del refluo, che, per velocizzare l'esecuzione, viene svolta collegando la beuta ad una pompa aspirante.

Una volta filtrato tutto il volume, si inserisce nuovamente il filtro, con al di sopra i TSS trattenuti, in stufa a 105 °C per circa due ore fino al raggiungimento di un peso lordo (dato dalla somma dei TSS

e del filtro) costante, determinato in seguito al raffreddamento in essiccatore. Facendo la differenza tra questi due pesi (lordo e tara) e dividendo per il volume di campione analizzato si ottiene la concentrazione in mg/l dei TSS presenti nel refluo.

$$TSS (mg/l) = \frac{P_{105} - P_{TARA}}{V} 1000$$

- P_{TARA} = peso del filtro a 105°C [mg]
- P_{105} = peso del filtro + TSS a 105°C [mg]
- V = volume di campione filtrato [ml]

MLSS

La metodologia di determinazione dei MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids), ossia dei solidi sospesi presenti nel sistema miscelato di un reattore biologico, è analoga a quella utilizzata per i TSS per cui si prende un'aliquota di volume dentro al biologico e si procede con la filtrazione. Poiché la concentrazione di MLSS è solitamente di un ordine di grandezza superiore rispetto a quella dei TSS in un'acqua reflua urbana, per accelerare la prova, si utilizzano dei filtri di diametro maggiore (almeno 6 cm), al fine di distribuire il volume da analizzare su più area di filtrazione, con delle porosità di circa 20 µm. Questo è possibile perché la quantità di MLSS compresa tra 0.45 µm e 20 µm è una percentuale trascurabile rispetto al resto, ovvero la parte più piccola di 20 µm è una quantità molto bassa rispetto alla distribuzione granulometrica totale di tutta la biomassa che è presente nel mixed liquor, quindi l'errore che si commette è trascurabile.

La procedura di determinazione consiste in una prima fase di taratura del filtro, poi si filtra il campione, si pesa il filtro sporco e sottraendo il peso tara del filtro si ottiene il peso dei MLSS. Per determinare la concentrazione occorre dividere il peso per il volume analizzato.

$$MLSS (mg/l) = \frac{P_{105} - P_{TARA}}{V} 1000$$

- P_{TARA} = peso del filtro a 105°C [mg]
- P_{105} = peso del filtro + MLSS a 105°C [mg]
- V = volume di campione filtrato [ml]

MLVSS

Gli MLVSS rappresentano la parte volatile, organica degli MLSS di cui una frazione è la biomassa attiva.

La prova per la sua quantificazione consiste nell'andare a posizionare il filtro con gli MLSS in superficie all'interno di un crogiolo ceramico, per poi metterlo in muffola alla temperatura di 550°C in corrispondenza della quale avviene la combustione di tutta la parte organica, ovvero la parte organica volatilizza via per combustione. Per essere precisi anche il crogiolo andrebbe tarato a 105°C in modo da determinare il suo peso tara. Una volta volatilizzata tutta la parte organica, si determina il peso a 550°C che corrisponde al peso del crogiolo e della parte fissa, inerte (MLFSS e filtro). Per ricavare il volume si applica la seguente equazione:

$$MLVSS (mg/l) = \frac{(P_{105} - P_{TARA}) - (P_{550} - P_{TARA} - P_{CROGILO})}{V}$$

- P_{105} = peso del filtro + MLSS a 105°C [mg]
- P_{TARA} = peso del filtro a 105°C [mg]
- $(P_{105} - P_{TARA})$ = peso MLSS [mg]
- P_{550} = peso del crogiolo + MLFSS + peso filtro [mg]
- $P_{crogiolo}$ = peso tara del crogiolo a 105 °C [mg]
- V = volume di campione filtrato [ml]

BOD

Il BOD rappresenta la quantità di ossigeno richiesta dai microrganismi aerobi per assimilare e degradare le sostanze organiche presenti nei liquami. Naturalmente questa richiesta biochimica di ossigeno sarà tanto più elevata quanto maggiore è la concentrazione di sostanze organiche presenti nelle acque reflue e quanto maggiore è la velocità con cui vengono degradate dai microrganismi. Solitamente si fa riferimento al BOD₅ ovvero alla quantità di ossigeno che viene utilizzata in cinque giorni dai microrganismi aerobi al fine di ridurre il tempo di prova; infatti la degradazione biologica completa (BOD_{ultimo}) avviene in circa 20 giorni. Si considerano cinque giorni come tempo di riferimento standard perché il rapporto tra il BOD_{ultimo} e BOD₅ è pressoché costante e pari a 1.5.

Il BOD riproduce esattamente la biodegradazione naturale, però al contempo ci sono molte limitazioni legate alla sua determinazione, come ad esempio la necessità di utilizzare batteri attivi ben acclimatati, risente inoltre della presenza di composti tossici inibenti, permette di misurare solo la frazione biodegradabile ed è una misura scarsamente riproducibile. Oltre a ciò, un altro problema è legato alla temperatura di prova poiché essa influisce sull'attività biologica e quindi sul BOD, per cui il dato analitico potrebbe non corrispondere con quello reale dell'impianto. A causa di tutte queste osservazioni, risulta più utile eseguire una caratterizzazione in termini di COD; però essendo il BOD il parametro più considerato in ambito legislativo, è necessario eseguire anche questa prova. La misura del BOD si basa sulla differenza di ossigeno disciolto in soluzione prima e dopo la digestione, a temperatura controllata di 20°C. Particolare attenzione deve essere posta alla conservazione del campione prelevato che deve essere mantenuto in contenitori di vetro alla temperatura di 3–4°C per un tempo massimo di 24 ore; è preferibile eseguire la determinazione di tale parametro entro il minor tempo possibile dal prelievo del campione. La procedura di determinazione in laboratorio consiste nel dosare, in apposite bottiglie, un volume di campione in base al valore atteso di BOD che può essere stimato moltiplicando per 0.5 il valore del COD del campione stesso. Di seguito si riportano i volumi di campione di acque reflue urbane da dosare in base ai valori attesi di BOD.

Volume di campione da dosare		Valore atteso di BOD	
ml	100	mg/l	999
ml	150	mg/l	600
ml	250	mg/l	250
ml	400	mg/l	90

Successivamente, in ciascuna bottiglia, viene inserito uno stirrer magnetico e viene aggiunta l'Alliltiurea (ATU) al 5% (ossia 50 mg in 100 ml di acqua distillata) al fine di inibire l'ammonificazione. In base al volume di campione dosato, si introducono determinati ml di ATU.

Volume di campione dosato		Volume di ATU da dosare	
ml	100	ml	0.3
ml	150	ml	0.5
ml	250	ml	0.8
ml	400	ml	1.3

Si inseriscono poi, nell'apposito contenitore posizionato al di sotto del sensore elettronico, circa 15 scaglie di KOH all'85% in peso.

Le bottiglie vengono sistemate in batterie e tenute in ambiente termoregolato a 20°C in cui vi rimangono per 20 minuti prima di iniziare effettivamente la prova. Trascorso questo tempo, si settano i sensori elettronici con i valori delle concentrazioni di BOD attese e si riposizionano le bottiglie nel frigo termostato a 20°C. Il display frontale mostra il valore corrente di BOD che può essere letto anche giornalmente al fine di costruire il suo andamento nel tempo.

Nel caso specifico, si sono eseguite misurazioni di BOD₅ per cui si è letto il valore, indicato in mgO₂/l, dopo 5 giorni dall'inizio della prova.

Si specifica che quando si effettua la prova su campioni di effluenti ad un impianto di depurazione è necessario inoculare una biomassa aerobica al 10% rispetto al volume totale del campione.

COD

Il COD rappresenta la domanda di ossigeno chimico, ovvero la quantità di ossigeno richiesta per ossidare chimicamente, con particolari modalità operative standardizzate, le sostanze ossidabili presenti nelle acque reflue. Si tratta di un indice che individua non solo le sostanze organiche ossidabili biologicamente, ma anche le sostanze organiche non biodegradabili ossidabili solo chimicamente. Si misura in mgO₂/l.

Il COD e BOD sono due misure in stretta connessione; il rapporto medio tra BOD₅ e COD in un'acqua di scarico domestica varia da 0.4 a 0.8. Negli ultimi anni, in particolare con l'utilizzo dei modelli parametrici per la simulazione dei processi biologici, il COD ha sostituito il BOD nella progettazione degli impianti di depurazione.

In base al grado di biodegradabilità, il COD viene suddiviso in:

- rbCOD ossia COD prontamente disponibile (in soluzione) relativo a composti organici a basso peso molecolare come ad esempio i VFA e gli zuccheri;
- sbCOD cioè COD lentamente biodegradabile (in sospensione o particolato) relativo a sostanze di medio alto peso molecolare ed in sospensione che devono prima essere idrolizzate, trasformate in rbCOD per poter essere utilizzate;
- nbCOD vale a dire COD non biodegradabile relativo a composti recalcitranti che si comportano come traccianti negli impianti. In particolare, l'nbCOD solubile è un tracciante puro che si trova integralmente in uscita impianto, mentre l'nbCOD particolato viene inglobato nei fanghi e rimosso per separazione fisica.

La ripartizione nelle varie componenti varia da refluo a refluo; solitamente in un'acqua reflua civile la quantità di rbCOD rappresenta il 15% del COD totale, l'sbCOD è compreso tra il 65% e il 70% e la restante aliquota è l'nbCOD.

La prova per la determinazione del COD totale consiste nel prelevare 10 ml di campione che viene inserito in apposite provette, al quale vengono aggiunti i reagenti seguenti:

- una puntina di spatola di Argento solfato (Ag_2SO_4) al fine di velocizzare la prova;
- 1/3 di spatola di Mercurio solfato (HgSO_4) che controlla le reazioni di ossidazione secondarie dei cloruri, riducendo la possibilità che gli stessi vadano a reagire con il bicromato di potassio e quindi possano interferire nella misura;
- 10 ml di bicromato di potassio ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) con concentrazione 0.1N che serve per ossidare la sostanza organica presente nel refluo;
- 25 ml di Acido solforico (H_2SO_4).

Le provette vengono poi inserite in un reattore, coperte con dei condensatori per il recupero dei liquidi evaporati, al fine di eseguire una fase di digestione a 120°C per 2 ore. Al termine di questa operazione è necessario lasciare raffreddare le provette a temperatura ambiente per poi titolare, utilizzando una soluzione a base di ferro (FAS), il bicromato di potassio residuo. A tale scopo, si aggiungono al campione digerito, come indicatore, tre gocce di ferroina ottenendo così una colorazione blu - verde. Il Solfato Ferroso Ammonico (FAS) viene dosato manualmente fino a quando avviene il viraggio di colore, ovvero fino ad ottenere una colorazione rosso - marrone, che significa che tutta la soluzione di ferro ha reagito con il bicromato di potassio residuo. In questo modo si determina quindi il volume di soluzione di ferro necessario per la titolazione e applicando l'equazione seguente si ottiene il COD.

$$COD (mgO_2/l) = \frac{(m_1 - m_2) \times N \times 8000}{V}$$

- m_1 indica il volume di soluzione di FAS consumati per la titolazione del bianco [ml];
- m_2 indica il volume di soluzione di FAS consumati per la titolazione del campione [ml];
- N è la normalità della soluzione di FAS;
- 8000 corrisponde al peso molecolare dell'ossigeno, moltiplicato per 1000;
- V è il volume di refluo analizzato [ml].

N-NH₄

L'azoto ammoniacale rappresenta la frazione di azoto (dato dalla somma di N-NH₄, Norg, N-NO₂, N-NO₃) maggiormente presente nelle acque reflue urbane.

Per la sua determinazione si sfrutta l'elevata capacità di volatilizzazione, ovvero l'ammoniaca si può trasferire facilmente dalla fase liquida alla fase vapore. Lo stripping è regolato dal valore del pH per cui, più il pH è acido e più l'ammoniaca rimane in fase liquida, più il pH è basico e più l'ammoniaca tende a stripping, passando in fase gassosa.

Ne segue che lo strumento utilizzato in laboratorio è il distillatore che dosa 30 ml di idrossido di sodio NaOH al 30%, ovvero soda caustica diluita in forma liquida e all'interno del quale viene inserito un provettone in cui sono presenti 50 ml di campione. L'operazione di distillazione si esegue per un tempo fisso di 7 minuti, durante i quali si ha una variazione di pH che comporta un primo passaggio dalla forma liquida a quella gassosa con i fumi che vengono raccolti dentro al distillatore, i quali vengono poi riportati alla fase liquida mettendo in contatto la corrente di vapore con una soluzione acida, nel caso specifico 25 ml di acido borico al 4%. Al termine della prova si avrà quindi, nel becker di raccolta del distillato, acido borico e ammoniaca; viene aggiunto un magnete e posizionato il tutto sull'agitatore meccanico del titolatore. Il volume di acido borico e ammoniaca viene messo a contatto con quantità crescenti di acido cloridrico HCl fino al raggiungimento di un pH pari a 4.7 in corrispondenza del quale tutta l'ammoniaca presente si è legata con l'HCl dosato. Questa operazione di titolazione viene svolta automaticamente dallo strumento, determinando così il volume di HCl utilizzato.

La concentrazione di N-NH₄ presente nel refluo analizzato si ricava dalla seguente espressione:

$$N - NH_4(mg/l) = \frac{(V_{HCl,C} - V_{HCl,B}) \times N \times 14000}{V}$$

- V_{HCl,C} è il volume di acido utilizzato per titolare il campione [ml];
- V_{HCl,B} è il volume di acido utilizzato per titolare il bianco [ml];
- N è la normalità di HCl;
- 14000 rappresenta il peso molecolare dell'azoto moltiplicato per 1000;
- V è il volume di campione analizzato.

Terminata la prova, è opportuno far compiere al distillatore un ciclo di lavaggio per 7 minuti (NaOH = 0) al fine di rimuovere eventuali tracce di ammoniaca che potrebbero influenzare le misurazioni successive.

TKN

Il Total Kjeldahl Nitrogen rappresenta la misura dell'azoto ammoniacale e dell'azoto organico:

$$\text{TKN} = \text{N-NH}_4 + \text{Norg}$$

La sua procedura di determinazione prevede una prima fase di digestione del refluo al fine di trasformare tutto l'azoto organico in azoto ammoniacale e una seconda fase analoga alla procedura dell'ammoniaca così da determinare la concentrazione di N-NH₄ totale, corrispondente al TKN.

La fase di digestione consiste nell'introdurre all'interno dei provettoni 50ml di campione, ai quali vanno aggiunti i seguenti reagenti sotto cappa:

- un cucchiaino di Potassio solfato K₂SO₄;
- una puntina di spatola di ossido di mercurio HgO;
- 10 ml di Acido solforico puro al 96% H₂SO₄.

Si posizionano poi i provettoni nella piastra riscaldante, si colloca un coperchio al fine di aspirare i vapori acidi prodotti convogliandoli in una tanica, e si avvia il digestore, impostato sul programma TKN, per 6 ore. La digestione avviene in step progressivi ovvero per le prime due ore il campione si trova a 200°C, poi le successive due ore a 250°C fino ad arrivare a 370°C, temperatura che non va superata poiché l'azoto potrebbe vaporizzare e quindi si perderebbe in fase di digestione sotto forma di gas. Al termine di questa fase, si imposta il distillatore in modo che dosi 60 ml di NaOH al 30% per 7 minuti e si segue la medesima procedura effettuata per la determinazione dell'N-NH₄.

ANIONI E CATIONI

L'analisi degli anioni e cationi si effettua attraverso l'applicazione del metodo di cromatografia liquida che consiste nell'utilizzare delle colonne a scambio ionico in grado di separare selettivamente le forme ioniche. Questa operazione viene svolta in seguito a una fase preliminare di filtrazione a 0.45 µm in modo tale da eliminare tutte le parti più grossolane che potrebbero intasare la colonna, falsificando il risultato. Esistono cromatografie liquide con colonne a scambio ionico caricate positivamente che selezionano anioni e, al contrario, colonne caricate negativamente che selezionano cationi ovvero ioni di carica positiva. Si tratta di una prova piuttosto breve che consente di ricavare le concentrazioni di diverse forme.

I principali cationi presenti in un refluo sono lo ione ammonio NH₄⁺, magnesio Mg²⁺, calcio Ca²⁺, sodio Na⁺, potassio K⁺; mentre i principali anioni sono i cloruri Cl⁻, nitriti NO₂⁻, nitrati NO₃⁻, fosfati PO₄⁻ e solfati SO₄⁻.

Per l'esecuzione della prova, i campioni vengono introdotti in delle provette, inserite a loro volta in una rotaia in modo da far avvenire la separazione cromatografica degli ioni presenti nel refluo. A tale scopo si sfruttano le proprietà della resina polimerica contenuta all'interno delle colonne e di una fase liquida chiamata eluente ovvero una soluzione a base di bicarbonato di calcio che viene mandata dentro la colonna in modo da distribuire il campione lungo la colonna stessa. I diversi ioni vengono più o meno trattenuti dalla resina in base all'affinità con la resina stessa, alla valenza e alla loro concentrazione. Dopo un certo tempo, caratteristico di ogni specie, gli ioni vengono rilasciati dalla resina, tornano nell'eluente e insieme lasciano la colonna. Al termine della prova si ottiene il cromatogramma, che riporta l'andamento della concentrazione delle diverse specie chimiche in funzione del tempo di ritenzione, in cui si individuano dei picchi per ciascun componente, che confrontati con quelli dello standard permettono di ricavare i valori delle diverse concentrazioni. Infatti, ad ogni tempo di ritenzione è associata una specifica forma (Cl, NO₂, NO₃, PO₄, SO₄).

ESCHERICHIA COLI

L'Escherichia Coli sono microrganismi indicatori della presenza dei batteri fecali, solitamente espressi in UFC/100 ml (Unità Formanti Colonie su 100 ml di soluzione), la cui determinazione è stata eseguita da un laboratorio esterno seguendo le procedure APAT CNR IRSA 7030-F, 29/2003.

Bibliografia

A. Paoletti, S. Papiri (2003). *Sistemi fognari unitari e separati: aspetti funzionali e ambientali*

EPA; Office of Water (2001). *Report to Congress on Implementation and Enforcement of the Combined Sewer Overflow Control Policy*

Eureau (2016). *Overflows from collecting systems*

ARERA (2017a). *Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato 562/2017/R/IDR*

ARERA (2017b). *Regolazione della qualità tecnica del servizio idrico integrato 748/2017/R/IDR*

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

ARPAM, *Relazione triennale 2015-2017 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della regione marche*

ARPAM, *Relazione triennale 2013-2015 sulla qualità dei corpi idrici fluviali della regione marche*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2019*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2018*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2017*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2016*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2015*

ARPAM, *Relazione annuale sulla qualità delle acque di balneazione, anno 2014*

Malgrat, P. (2013). *Policies and legislation for CSO control and the protection of surface waters – Final Workshop of WWB Project MIA-CSO at the International Water Week in Amsterdam*

USEPA; SWMM (2017a). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume II - Hydraulics*.

USEPA; SWMM (2017b). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Quality Manual*

Darvini G., *Corso di costruzioni Idrauliche – A.A 2011/2012*, Dipartimento di ingegneria civile e ambientale.

Min Cheng Tu, P. S. (2018). *Modeling Pollutant and Washoff Parameters for SWMM Based on Land Use in a Semiarid Urban Watershed*.

Chow V. T. (1959), *Open Channel Hydraulics*

D. N. Moriasi, J. G. Arnold, M. W. Van Liew, R. L. Bingner, R. D. Harmel, T. L. Veith . *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*

Linee Guida Arpa (2005). *Estratto Linee Guida ARPA LG28/DT – Criteri di applicazione DGR 268/05 e 1860/06 – Acque meteoriche di dilavamento*

Linee Guida ARPA (2007). *Linee Guida per il trattamento di acque reflue domestiche ed assimilate in aree non servite da pubblica fognatura*

Sitografia

<https://www.arera.it>

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

<https://www.ato5marche.it>

<https://www.ciip.it>

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

<https://cordis.europa.eu>

[https:// www.digital-water.city](https://www.digital-water.city)

<https://www.gruppocap.it>

<http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Protezione-Civile/Progetti-e-Pubblicazioni/Annali-Idrologici>

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

<https://www.arpalombardia.it>

Indice figure

Figura 1: Sistema fognario combinato – schematizzazione del funzionamento in tempo secco e piovoso	3
Figura 2: Sistema fognario separato - schematizzazione del funzionamento in tempo secco e piovoso.....	4
Figura 3: Suddivisione ATO – Regione Marche	13
Figura 4: Elementi presenti in un tipico sistema di drenaggio urbano	22
Figura 5: Modello concettuale del sistema di drenaggio utilizzato dallo SWMM	23
Figura 6: Schematizzazione della rete fognaria nello SWMM.....	24
Figura 7: Quadro d’unione del Comune di Cupra Marittima e zone limitrofe	25
Figura 8: Individuazione dei limiti del bacino idrografico	25
Figura 9: Individuazione sottobacini – zona ovest	26
Figura 10: Individuazione sottobacini – zona sud	26
Figura 11: Individuazione aree impermeabili – zona ovest.....	26
Figura 12: Individuazione aree impermeabili – zona sud.....	27
Figura 13: Esempio di pozzetto in cui il sottobacino convoglia l’afflusso meteorico.....	27
Figura 14: Schermata di definizione dei <i>Subcatchments</i> nello SWMM.....	28
Figura 15: Schermata di definizione del <i>Rain Gage</i> nello SWMM.....	28
Figura 16: Schermata di definizione dei <i>Time Series</i> nello SWMM	29
Figura 17: Schermata di definizione dei <i>Junction</i> nello SWMM	35
Figura 18: Schermata di definizione <i>Conduit</i> nello SWMM.....	36
Figura 19: Editor della sezione trasversale della condotta	36
Figura 20: Esempio schermata informazioni QGIS.....	37
Figura 21: Pianta VASCA00335 – Scolmatore di linea	39
Figura 22: Sezione VASCA00335 – Scolmatore di linea	39
Figura 23: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore di linea – VASCA00335	39
Figura 24: Pianta VASCA00048 – Scolmatore su sollevamento	40
Figura 25: Sezione trasversale VASCA00048 – Scolmatore su sollevamento	40
Figura 26: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore su sollevamento con vasche separate – VASCA00048.....	40
Figura 27: Rappresentazione nello SWMM di uno scolmatore su sollevamento con vasca unica – VASCA00058.....	41
Figura 28: Schermata di definizione dello <i>Storage Unit</i> nello SWMM	41

Figura 29: Schermata di definizione dello <i>Storage Curve</i> nello SWMM.....	42
Figura 30: Schermata di definizione dell' <i>Orifce</i> nello SWMM.....	43
Figura 31: Schermata di definizione dell' <i>Outfall</i> nello SWMM.....	43
Figura 32: Schermata di definizione delle pompe nello SWMM.....	44
Figura 33: Schermata di definizione del <i>Pump Curve</i> nello SWMM.....	44
Figura 34: Schermata di definizione del <i>Pollutant</i> nello SWMM.....	45
Figura 35: Schermata di inserimento del flusso di inquinante nel nodo, nello SWMM.....	46
Figura 36: Schermata di assegnazione del <i>Land Use</i> nei <i>Subcatchment</i> , nello SWMM.....	47
Figura 37: Schermata di definizione del <i>Buildup</i> nello SWMM.....	48
Figura 38: Schermata di definizione del <i>Washoff</i> nello SWMM.....	49
Figura 39: Individuazione dei punti di campionamento n° 1, 2, 3, 4.....	50
Figura 40: Individuazione dei punti di campionamento n° 5, 6.....	50
Figura 41: Schermata di definizione delle impostazioni generali prima di avviare l'analisi.....	53
Figura 42: Schermata di definizione <i>Dates</i>	54
Figura 43: Schermata di definizione del <i>Time Steps</i>	54
Figura 44: Individuazione del bacino idrografico – Impianto di Peschiera Borromeo.....	56
Figura 45: Individuazione aree impermeabili – bacino idrografico Peschiera.....	56
Figura 46: Posizione impianto di depurazione di Peschiera Borromeo.....	57
Figura 47: Posizione stazioni pluviometriche rispetto al baricentro del bacino.....	58
Figura 48: Posizione stazioni pluviometriche rispetto al baricentro del bacino.....	60
Figura 49: Disposizione delle condotte di sub-irrigazione.....	80
Figura 50: Individuazione delle vasche più problematiche.....	107

Indice dei grafici

Grafico 1: Diverse fonti di inquinamento responsabili dei divieti di balneazione	6
Grafico 2: Curva di possibilità pluviometrica – ultimo caso critico.....	64
Grafico 3: Curva di possibilità pluviometrica – $T_R = 5$ anni	65
Grafico 4: Curva di possibilità pluviometrica – $T_R = 10$ anni	66
Grafico 5: Confronto curve di possibilità pluviometrica - $T_R = 5$ anni, 10 anni.....	66
Grafico 6: Curva di possibilità pluviometrica nel piano logaritmico - $T_R = 5$ anni.....	67
Grafico 7: Curva di possibilità pluviometrica nel piano logaritmico - $T_R = 10$ anni.....	67
Grafico 8: Volume cumulato nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni	97
Grafico 9: Percentuale di volume scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni	98
Grafico 10: Volume cumulato in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	98
Grafico 11: Percentuale di volume scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate.....	99
Grafico 12: Percentuale di carico di TKN scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni	99
Grafico 13: Percentuale di carico di TKN scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	100
Grafico 14: Percentuale di carico di TKN scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	100
Grafico 15: Percentuale di carico di COD scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni.....	101
Grafico 16: Percentuale di carico di COD scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate.....	101
Grafico 17: Percentuale di carico di COD scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate.....	102
Grafico 18: Percentuale di carico di TSS scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni	102
Grafico 19: Percentuale di carico di TSS scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	103
Grafico 20: Percentuale di carico di TSS scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	103
Grafico 21: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni.....	104
Grafico 22: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	104
Grafico 23: Percentuale di carico di BOD5 scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	105
Grafico 24: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sul totale nelle 24h per $T_R = 1, 5, 10$ anni	105

Grafico 25: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sul totale in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	106
Grafico 26: Percentuale di carico di E. Coli scolmato sull'ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando i 12 mesi, solo inverno e solo estate	106
Grafico 27: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 1$ anno	108
Grafico 28: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 5$ anni	108
Grafico 29: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria relativa a $T_R = 10$ anni	109
Grafico 30: Percentuale di carico scolmato medio sul totale relativo a $T_R = 1, 5$ e 10 anni.....	109
Grafico 31: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo.....	110
Grafico 32: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo invernale	110
Grafico 33: Distribuzione dei carichi in ingresso alla rete fognaria in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo estivo	111
Grafico 34: Percentuale di carico scolmato medio sul totale in riferimento all'anno tipo	111
Grafico 35: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo.....	112
Grafico 36: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo invernale	112
Grafico 37: Percentuali di impatto in ambiente in riferimento all'anno tipo, considerando solo il periodo estivo	113
Grafico 38: Percentuali di distribuzione dei carichi di massa in ingresso impianto - con concentrazioni di pioggia minime	117
Grafico 39: Percentuali di distribuzione dei carichi di massa in ingresso impianto - con concentrazioni di pioggia massime	118

Indice Tabelle

Tabella 1: Stato ecologico e chimico – Torrente Menocchia	14
Tabella 2: Definizione classi di qualità per acque costiere e di transizione	14
Tabella 3: Classe di qualità delle acque di balneazione – Comune di Cupra Marittima	15
Tabella 4: Livelli di modellazione.....	16
Tabella 5: Rapporto di diluizione degli scaricatori di piena.....	21
Tabella 6: Precipitazioni di massima intensità 1h, 3h, 6h, 12h, 24h – Stazione di Pedaso	30
Tabella 7: Valori dei parametri Y_N e S_N secondo Gumbel	32
Tabella 8: Stralcio dei dati di precipitazione misurati ogni 15 minuti ricavabili dal portale SIRMIP online per la stazione di Pedaso, anno 1998.....	33
Tabella 9: Esempio di dati raggruppati per il mese di Gennaio – stazione di Pedaso	34
Tabella 10: Tipologie di scolmatori presenti lungo la rete fognaria.....	38
Tabella 11: Percentuali di accettabilità del modello.....	52
Tabella 12: Stazioni pluviometriche e relativi pesi	60
Tabella 13: Valori di concentrazione massima di pioggia ricavati da letteratura.....	61
Tabella 14: Valori di concentrazione minima di pioggia ricavati da letteratura.....	61
Tabella 15: Aree sottobacini.....	63
Tabella 16: Caratteristiche dei sottobacini inserite nello SWMM.....	64
Tabella 17: Altezza di precipitazione – ultimo caso critico	64
Tabella 18: Valori di media e scarto quadratico medio della variabile in esame e di quella ridotta	65
Tabella 19: Valori delle variabili ridotte corrispondenti a tempi di ritorno di 5 e 10 anni.....	65
Tabella 20: Altezze di precipitazione, per ogni durata “t”, che ricorrono mediamente ogni $T_R = 5$ anni.....	65
Tabella 21: Altezze di precipitazione, per ogni durata “t”, che ricorrono mediamente ogni $T_R = 10$ anni.....	65
Tabella 22: Valori di $\log(t)$ e $\log(h)$ relativi a $T_R = 5$ anni	66
Tabella 23: Valori di $\log(t)$ e $\log(h)$ relativi a $T_R = 10$ anni	67
Tabella 24: Altezze di precipitazioni corrette, relative a $T_R = 5$ anni.....	67
Tabella 25: Altezze di precipitazioni corrette, relative a $T_R = 10$ anni.....	68
Tabella 26: Altezza di precipitazione corretta, relativa all’ultimo caso critico	68
Tabella 27: Stralcio di Anno Tipo ottenuto per Pedaso, senza correzione.....	68
Tabella 28: Stralcio di fattori di correzione ottenuti per Pedaso	68

Tabella 29: Stralcio di applicazione dei fattori di correzione e quindi determinazione dell'Anno Tipo Ridotto	69
Tabella 30: Stralcio del file di testo dell'Anno Tipo Ridotto, introdotto nello SWMM	69
Tabella 31: Caratteristiche dei pozzetti inserite nello SWMM	71
Tabella 32: Caratteristiche delle condotte inserite nello SWMM.....	73
Tabella 33: Caratteristiche <i>Storage Unit</i> inserite nello SWMM	74
Tabella 34: Caratteristiche <i>Orifice</i> inserite nello SWMM.....	74
Tabella 35: Valori di concentrazione massima di pioggia ricavati da letteratura.....	76
Tabella 36: Valori di concentrazione minima di pioggia ricavati da letteratura.....	76
Tabella 37: Valori analisi campioni.....	77
Tabella 38: Valori analisi campioni.....	77
Tabella 39: Valori medi dei risultati delle analisi dei due campionamenti, inseriti nel modello	77
Tabella 40: Valori di portata sversata inserita nei vari pozzetti costituenti la rete	78
Tabella 41: Valori delle concentrazioni assegnate ai pozzetti.....	79
Tabella 42: Lunghezze unitarie delle condotte di sub-irrigazione.....	80
Tabella 43: Numero di utenze non allacciate per singolo sottobacino e corrispondente area di sversamento	80
Tabella 44: Calcolo della massa di inquinante associata ad ogni utenza.....	81
Tabella 45: Valori di B_{max} e K_B associati ai diversi inquinanti, da inserire per il <i>Buildup</i>	81
Tabella 46: Valori di N_w e K_w per il <i>Washoff</i>	81
Tabella 47: Valori delle concentrazioni simulate e osservate, in ingresso impianto	82
Tabella 48: Valori delle portate in ingresso impianto nei due giorni di campionamento	82
Tabella 49: Portata in ingresso impianto media giornaliera, senza diluizione	82
Tabella 50: Valori delle portate sversate base BOD5, COD, N_{tot}	82
Tabella 51: Calcolo dei carichi di massa osservati.....	82
Tabella 52: Valori dei carichi di massa simulati e osservati, in ingresso impianto	83
Tabella 53: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 1)	84
Tabella 54: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 1)	85
Tabella 55: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 1).....	85
Tabella 56: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 2)	86
Tabella 57: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 2)	86
Tabella 58: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 2).....	87
Tabella 59: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 3)	87

Tabella 60: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 3)	88
Tabella 61: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 3).....	88
Tabella 62: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.1)	89
Tabella 63: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.1)	89
Tabella 64: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.1)	90
Tabella 65: kg e UFC relativi all'effluente impianto.....	90
Tabella 66: kg e UFC relativi alle utenze non allacciate	90
Tabella 67: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.1).....	91
Tabella 68: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.2)	91
Tabella 69: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.2)	92
Tabella 70: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.2)	92
Tabella 71: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.2).....	93
Tabella 72: Risultati idraulici degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.3)	93
Tabella 73: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.3)	94
Tabella 74: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.3)	94
Tabella 75: Risultati dei rapporti di diluizione nelle vasche (Simulazione 4.3).....	95
Tabella 76: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.4)	95
Tabella 77: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.5)	96
Tabella 78: Risultati qualitativi degli <i>Outfall</i> (Simulazione 4.6)	97
Tabella 79: Numero di attivazioni delle vasche più problematiche durante l'anno	107
Tabella 80: Superfici, coefficiente di deflusso medio e tempo di corrivazione del bacino di Peschiera.....	114
Tabella 81: Distanza stazioni pluviometriche – baricentro bacino e calcolo dei relativi pesi.....	114
Tabella 82: Altezze di precipitazione per $T_R = 1, 5, 10$ anni – stazione di Rodano, v. Turati.....	114
Tabella 83: Altezze di precipitazione per $T_R = 1, 5, 10$ anni – stazione Milano Lambrate	114
Tabella 84: Altezza di pioggia ragguagliata per $T_R = 1, 5, 10$ anni	114
Tabella 85: Valori di portata in ingresso impianto associata a $T_R = 1, 5, 10$ anni.....	114
Tabella 86: Determinazione della portata di run off.....	115
Tabella 87: Determinazione della portata di laminazione	115
Tabella 88: Valori della portata nera in ingresso nell'impianto di depurazione, distinti per le due linee	115
Tabella 89: Calcolo della portata totale in ingresso impianto	115
Tabella 90: Portata misurata totale in ingresso impianto.....	115

Tabella 91: Portata in ingresso impianto in tempo di pioggia.....	116
Tabella 92: Portata in ingresso impianto in tempo secco	116
Tabella 93: Carichi di massa in ingresso impianto in tempo di pioggia.....	116
Tabella 94: Concentrazioni medie dei macroinquinanti principali registrate nel mese di ottobre, in tempo secco	116
Tabella 95: Carichi di massa in ingresso impianto in tempo secco	116
Tabella 96: Carico di massa totale calcolato in ingresso impianto.....	117
Tabella 97: Carichi di massa misurati in ingresso impianto.....	117

Ringraziamenti

Innanzitutto ringrazio il mio relatore Francesco Fatone e le correlatrici Anna Laura Eusebi e Giovanna Darvini per la cortesia e la disponibilità dimostratami; grazie a voi ho avuto modo di ampliare le mie conoscenze e competenze.

Ringrazio i dottorandi, Paolo e Cecilia, che mi hanno accolto durante i mesi di tirocinio aiutandomi a condurre lo studio oggetto di questo elaborato.

Un grande ringraziamento va ai miei genitori, Marco ed Emanuela, che con il loro instancabile sostegno, morale ed economico, mi hanno permesso di raggiungere questo traguardo. Grazie per avermi stimolata nei momenti di difficoltà, per essermi stati vicini nelle situazioni di sconforto e aver portato tanta pazienza.

Ai miei fratelli, Matteo, Martina e Giulia e alla mia cara nonna Maria per il costante supporto.

Inoltre, un ringraziamento speciale va a Francesco per tutti i consigli, per essere stato sempre al mio fianco, aver ascoltato tutti i miei sfoghi, aver trasmesso sempre tranquillità e allegria anche nelle situazioni più complicate; sei stato il mio punto di riferimento.

Alle mie amiche, Martina, Noemi, Valentina e Bridget che hanno condiviso con me questi anni di gioie e sacrifici; grazie per avermi sostenuta e per tutti i momenti di spensieratezza che mi avete regalato.

Un grazie di cuore va alla mia compagna di studi Elisabetta con cui ho condiviso ore di treno, gioie, momenti difficili e soddisfazioni; senza di te non sarebbe stato assolutamente lo stesso.

A tutti i miei amici che, in un modo o nell'altro, mi sono stati vicini durante questi anni.

Infine, vorrei dedicare questo traguardo a me stessa, ai tanti sacrifici e alla mia tenacia che mi hanno permesso di raggiungere questo obiettivo.