

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E
AMBIENTALE

Corso di laurea triennale in Ingegneria per l'ambiente e il territorio



TESI DI LAUREA

ANALISI DELLE ROTTURE NEL SISTEMA DI DRENAGGIO
URBANO DEL COMUNE DI VICENZA

Relatore: Chiar.mo Prof. Paolo Salandin

Laureando: Zanon Giovanni

ANNO ACCADEMICO 2022-2023

Sommario

Introduzione	4
CAPITOLO 1	6
1.1 Obiettivi nella gestione delle acque reflue	6
1.2 La normativa in materia di acque reflue	7
1.2.1 Legge 5 gennaio 1994, n. 36, Legge Galli	7
1.2.2 D.M. Lavori Pubblici 8 gennaio 1997, n. 99: Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature	13
1.2.3 Valutazione delle perdite per le fognature	13
CAPITOLO 2	16
2.1 Guasti del sistema di drenaggio urbano	16
2.2 Meccanismi di rottura	16
2.2.1 Limitazioni idrauliche	17
2.2.2 Capacità idraulica	19
2.2.3 Difetti strutturali	22
CAPITOLO 3	29
3.1 La fognatura di Vicenza	29
CAPITOLO 4	37
4.1 Descrizione geometrica della rete	37
4.1.1 Diametro	38
4.1.2 Materiale	48
4.1.3 Tipologia Fognatura	50
4.1.4 Anno di Posa	52
4.2 Conclusioni	54
CAPITOLO 5	55
5.1 Voragini fognarie	55
5.2 Analisi del Tasso di Fallanza	57
5.2.1 Calcolo del Tasso di Rottura	57
5.2.2 Numero di Rotture	58
5.2.3 Calcolo del Tasso di Rotture – Tipologia Fognatura	62
5.2.4 Calcolo del Tasso di Rotture – Diametro	63
5.2.5 Calcolo del Tasso di Rotture – Materiale	67
5.3 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato	69
5.3.1 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Pioggia Cumulata	69

5.3.2 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Quote.....	70
5.3.3 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Anno di Posa	73
5.4 Conclusioni	75
Ringraziamenti.....	76
Bibliografia	77

Introduzione

L'oggetto della presente tesi, nato dalla collaborazione tra l'Università di Padova e la società VIACQUA, attraverso un periodo di tirocinio presso la Direzione Cantieri (fognature e acquedotti) di quest'ultima, ha la finalità di esaminare la problematica relativa alle rotture della rete di drenaggio urbano nel comune di Vicenza.

Spesso queste rotture, nel momento in cui si verificano, danno luogo ad un fenomeno che innesca un vero e proprio meccanismo di "risucchio" all'interno della condotta di rete, del materiale presente sotto la superficie stradale (sabbia, sassi, terra...). Questo "meccanismo erosivo" creerà, con il passare del tempo, un cedimento del manto stradale che nella maggior parte dei casi si manifesta attraverso un buco (voragine).

Viacqua è una società per azioni a capitale pubblico che gestisce il servizio idrico integrato (acquedotto, fognatura e depurazione) in 68 comuni della Provincia di Vicenza, servendo oltre 550.000 abitanti.

Durante il periodo di tirocinio è stata esaminata la problematica relativa alle rotture (voragini) della rete di fognatura del comune di Vicenza, in un periodo che va dal 2014 a settembre 2021. In questo intervallo temporale saranno analizzate le occorrenze delle rotture e le eventuali relazioni con le caratteristiche delle tubazioni della rete di drenaggio urbano.

Nel lavoro svolto ci si soffermerà principalmente sull'analisi delle proprietà che, in modo predominante, influenzano la tendenza alla rottura delle condotte e la valutazione della relazione che intercorre tra tali variabili.

Lo scopo di questo studio è quello di analizzare il "fenomeno delle voragini", individuando le classi di tubazioni più vulnerabili alla rottura e la relazione tra guasti e le differenti caratteristiche delle condotte.

Le principali caratteristiche che sono state analizzate sono:

- Diametro (Forma della sezione);
- Tipologia fognatura (bianca, mista e nera);
- Tipologia di condotta (tratta di rete, allaccio, altro...);
- Materiale;
- Anno di posa;
- Quota (estradosso, di posa in opera e livello di falda);
- Pioggia cumulata.

È stata posta maggiore attenzione sulle classi: diametro, materiale e anno di posa con l'obiettivo di evidenziare i diversi comportamenti nel tempo delle tubazioni in funzione delle categorie sopracitate definendo così delle classi comportamentali.

La corretta previsione delle rotture consente un'efficace programmazione degli interventi di manutenzione e rinnovo delle parti danneggiate, prima che avvenga il guasto

con conseguente formazione della voragine, permettendo un risparmio in termini economici e incrementando il livello di sicurezza sia a livello stradale che ambientale.

Il lavoro di tesi è organizzato nei diversi capitoli come nel seguito descritto:

- Capitolo 1: in questo paragrafo vengono richiamate le principali normative a livello nazionale che trattano i temi protagonisti di questa tesi come il trattamento di acque reflue, i sistemi di drenaggio urbano e la gestione delle rotture di tali sistemi;
- Capitolo 2: vengono discusse e descritte le principali problematiche che affliggono il sistema di drenaggio urbano attraverso la consultazione di articoli scientifici nazionali e internazionali;
- Capitolo 3: in questa sezione viene descritta la composizione della rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza;
- Capitolo 4: viene richiamata la composizione geometrica della rete di fognatura comunale mettendo in relazione i dati in funzione delle relative lunghezze delle condotte;
- Capitolo 5: in questo paragrafo si “entra nel vivo” del seguente lavoro di tesi in quanto vengono analizzate, attraverso vari parametri, le rotture che si sono verificate lungo gli anni nel territorio comunale;
- Nelle conclusioni sono riportati gli aspetti salienti del lavoro sviluppato.

CAPITOLO 1

Gestione delle Acque Reflue

1.1 Obiettivi nella gestione delle acque reflue

La progressione e la qualità della vita umana sono da sempre legati direttamente all'ambiente, risulta quindi essenziale porre notevole attenzione ai comportamenti e alle azioni che potrebbero comprometterne in qualche modo la sua qualità.

A tal proposito, il decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152 (c.d. "Testo Unico dell'Ambiente"), che integra e sostituisce il precedente D.Lgs. 152/99, ha come obiettivo primario la promozione dei livelli di qualità della vita umana, da realizzare attraverso la salvaguardia ed il miglioramento delle condizioni dell'ambiente e l'utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali (art. 2, c. 1).

È suddiviso in quattro sezioni:

- Sezione I: Norme in materia di difesa del suolo e lotta alla desertificazione (artt. da 53 a 72);
- Sezione II: Tutela delle acque dall'inquinamento (artt. da 73 a 140);
- Sezione III: Gestione delle risorse idriche (artt. da 141 a 169);
- Sezione IV: Disposizioni transitorie e finali (artt. da 170 a 176).

Le sezioni che suscitano maggiore interesse sono la 2 e 3, le quali determinano una nuova linea guida di tutela delle acque attraverso la prevenzione dell'inquinamento e al risanamento delle stesse.

Tra le finalità della normativa vi è anche quella di mantenere la capacità naturale di autodepurazione dei corpi idrici, cioè, garantire al corso d'acqua in esame una non alterazione delle sue funzioni naturali tali da consentire una normale fase di autodepurazione (ri-ossigenazione), e qualità ambientali tali da supportare comunità vegetali e animali ampie e ben diversificate.

Risulta dunque fondamentale riuscire a mantenere inalterata la qualità dei corsi naturali, ponendo attenzione ad esempio, agli sversamenti di inquinanti quali potrebbero essere le acque di drenaggio urbano o le acque in uscita da un impianto di depurazione delle acque reflue.

A tal proposito, la normativa in vigore vede come strumento essenziale per tale finalità una adeguata disciplina degli scarichi. In particolare, pone l'obbligo dell'applicazione di valori limite di emissione delle acque reflue definiti anche in relazione alle caratteristiche dei corpi idrici recettori e del relativo obiettivo di qualità.

1.2 La normativa in materia di acque reflue

Vengono distinte tre tipi di acque reflue:

- **Domestiche:** sono costituite da reflui provenienti da insediamenti di tipo residenziale e da servizi e derivanti essenzialmente dal metabolismo umano e da attività domestiche;
- **Urbane:** la nozione di acque reflue urbane costituisce parte del recepimento della direttiva 91/271/CEE e le acque reflue urbane sono: “acque reflue domestiche o il miscuglio di acque reflue domestiche, di acque reflue industriali ovvero meteoriche di dilavamento convogliate in reti fognarie;
- **Industriali:** “qualsiasi tipo di acque reflue provenienti da edifici od installazioni in cui si svolgono attività commerciali o di produzione di beni (spesso vengono in contatto con sostanze o materiali inquinanti). Sono differenti qualitativamente dalle acque reflue domestiche e da quelle meteoriche di dilavamento.

Risulta quindi fondamentale organizzare un sistema per poter gestire in modo adeguato questi tipi di reflui con l’obiettivo di scongiurare danni ambientali nel momento in cui verranno scaricati su corsi d’acqua naturali.

Dunque, è bene richiamare alcune leggi, integrate e arricchite, successivamente nel già citato “testo unico ambientale” del 2006 che però hanno fornito linee guida primarie importantissime in materia di drenaggio urbano e quindi di trattamento delle acque reflue.

1.2.1 Legge 5 gennaio 1994, n. 36, Legge Galli

L’approvvigionamento idrico e la difesa idraulica sono ormai da molti anni elementi chiave per il corretto progredire della nostra specie.

Basti pensare alla possibilità di avere acqua potabile direttamente nel rubinetto di tutte le case o più in generale nelle varie attività commerciali di cui ogni giorno si usufruisce oppure alla rete di drenaggio urbano che permette un corretto allontanamento delle acque piovane e meteoriche di dilavamento evitando rischi idraulici di vario tipo oltre al corretto smaltimento dei reflui urbani.

Opere come quelle di adduzione e di drenaggio urbano, negli anni si sono rese via via sempre più indispensabili per vari motivi quali: comodità, efficienza, salvaguardia sanitaria intesa come maggiore igiene, difesa da rischi idraulici....

Risultava dunque necessario organizzare in modo efficiente tutto questo contesto e a tal proposito la Legge n.36 del 5 gennaio 1994, recante “Disposizioni in materia di risorse idriche”, nota come “Legge Galli”, ha apportato cambiamenti fondamentali nella gestione della risorsa idrica dalla captazione fino alla sua restituzione in ambiente.

La Legge per attuare gli obiettivi prefissati si basa su alcuni principi fondamentali che vengono di seguito riassunti:

- Tutte le acque superficiali e sotterranee sono pubbliche e costituiscono una risorsa che è salvaguardata ed utilizzata secondo criteri di solidarietà;

- Qualsiasi uso delle acque è effettuato salvaguardando le aspettative ed i diritti delle generazioni future a fruire di un integro patrimonio ambientale;
- Gli usi delle acque sono indirizzati prioritariamente per il consumo umano mentre per gli altri usi sono ammessi quando la risorsa è sufficiente e con la condizione che non ledano la qualità dell'acqua per il consumo umano;
- Dev'essere garantito l'equilibrio del bilancio idrico.

I punti chiave della norma sono riassunti di seguito:

- L'istituzione del “**Servizio Idrico Integrato**”, cioè un servizio legato alla gestione amministrativa dell'acqua. Costituisce l'insieme dei servizi pubblici di captazione, adduzione e distribuzione di acqua ad usi civili, di fognatura e di depurazione delle acque reflue;
- suddivisione del territorio in “**Ambiti Territoriali Ottimali**” (A.T.O.), cioè territori sui quali sono organizzati servizi pubblici integrati come ad esempio quello idrico sopracitato. Le organizzazioni che operano nel territorio di ciascun ATO hanno lo scopo di garantire un ottimale approvvigionamento d'acqua, nel rispetto dell'ambiente. Tutela, inoltre, il consumatore nell'area in cui operano i gestori del “servizio idrico integrato” (captazione, adduzione e distribuzione dell'acqua, collettamento e depurazione delle acque reflue);
- Determinazione del **bilancio idrico** per poter valutare correttamente tutte le componenti idriche di ingresso e uscita per un determinato sistema (quantitativo d'acqua richiesto e quello disponibile dalla risorsa idrica), al fine di una corretta definizione degli interventi strutturali e non;
- Introduzione di un criterio per stabilire la **tariffa** per l'utente, che ha lo scopo di coprire i costi del servizio. La quota di tariffa riferita al servizio di pubblica fognatura e di depurazione è dovuta dagli utenti anche nel caso in cui la fognatura sia sprovvista di impianti centralizzati di depurazione o questi siano temporaneamente inattivi. I relativi proventi affluiscono in un fondo vincolato e sono destinati esclusivamente alla realizzazione e alla gestione delle opere e degli impianti centralizzati di depurazione. Al fine della determinazione della quota tariffaria, il volume dell'acqua scaricata è determinato in misura pari al volume di acqua fornita, prelevata o comunque accumulata. Infine, per quanto riguarda le utenze industriali, la quota tariffaria è determinata sulla base della qualità e della quantità delle acque reflue scaricate.

Viene posta ora l'attenzione su quanto appena detto e citato, per il caso della regione del Veneto. Introducendo il concetto di consigli di bacino in relazione agli ATO, in modo tale da avere un'idea precisa del meccanismo del servizio idrico integrato.

I **Consigli di bacino** sono stati istituiti in Veneto con Legge Regionale del 27 aprile 2012, n.17 in ottemperanza alla legge statale del 26 marzo 2010 n. 42 che ordina di attribuire a nuovi enti le funzioni delle superate Autorità d'Ambito Territoriale Ottimale (AATO).

I Consigli di bacino sono forme di cooperazione tra i comuni per la programmazione e organizzazione del servizio idrico integrato in Ambiti Territoriali Ottimali (ATO) con lo scopo di:

- superare la frammentazione e l'inefficienza delle gestioni della risorsa idrica, in particolare per la gestione diretta da parte dei comuni;
- introdurre una tariffa in grado di garantire adeguati livelli di servizio e migliorare le infrastrutture;
- definire una netta separazione tra i compiti di gestione (affidati agli enti gestori) rispetto a quelli di indirizzo e di controllo del servizio idrico (specifico compito dei Consigli di bacino).

Attualmente il servizio idrico integrato dell'intero territorio veneto è organizzato come da prospetto seguente:

Tabella 1-Suddivisione del S.I.I. (<https://www.arpa.veneto.it>)

ATO	N° COMUNI	POPOLAZIONE (ISTAT 2014)	CONSIGLIO DI RIFERIMENTO
Alto Veneto	66	203.253	Bacino Dolomiti Bellunesi
Veneto orientale	93	844.915	Bacino Veneto Orientale
Bacchiglione	140	1.110.561	Bacino Bacchiglione
Brenta	73	593.769	Bacino Brenta
Laguna di Venezia	36	800.309	Bacino Laguna di Venezia
Valle del Chiampo	13	106.137	Bacino Valle del Chiampo
Veronese	97	917.909	Bacino Veronese
Polesine	52	262.447	Bacino Polesine
Interregionale Lemene	11	87.018	Consulta dell'ambito territoriale Ottimale Interregionale

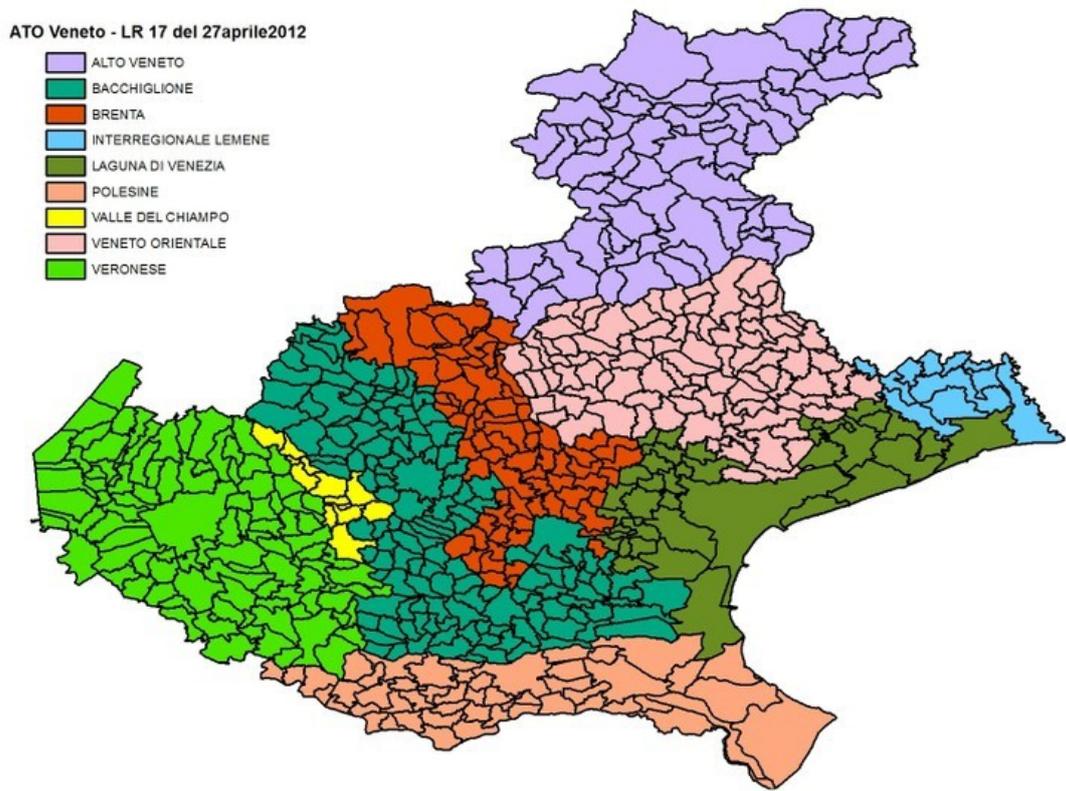


Figura 1- ATO venete (<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-interne/acque-potabili/aato>)

Per quanto riguarda il “consiglio di bacino Bacchiglione”, le società che gestiscono il sistema acquedottistico e di drenaggio urbano sono:

- Viacqua S.p.A;
- AcegasApsAmga S.p.A;
- Acque Venete S.p.A.

Viene riportata qui di seguito la mappa dei 68 comuni della provincia di Vicenza di cui Viacqua spa gestisce il servizio idrico integrato.



Figura 2- Comuni gestiti da Viacqua S.p.A. (<https://www.viacqua.it>)

1.2.2 D.M. Lavori Pubblici 8 gennaio 1997, n. 99: Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature

Il presente decreto definisce i criteri ed il metodo in base ai quali sono valutate le perdite degli acquedotti e delle fognature. Indica altresì la guida per l'effettuazione delle rilevazioni e l'organizzazione del relativo sistema di monitoraggio nonché le regole per la stesura dei rapporti che il gestore trasmette all'osservatorio dei servizi idrici.

Si applica a tutti gli impianti di acquedotto, alle fognature, intese come impianti di smaltimento dei reflui derivanti dall'uso di acque distribuite da acquedotti, con esclusione delle fognature bianche, si applica inoltre a tutte le fognature nere degli impianti a sistema separato e a quelle miste in quanto destinate allo smaltimento delle acque nere, anche se alimentate da risorse idriche di cui l'utente si approvvigiona autonomamente.

Le procedure di valutazione delle perdite sono finalizzate alla formulazione di "bilanci idrici nelle reti e negli impianti".

Definisce le varie parti costituenti un impianto di acquedotto e i possibili usi dell'acqua correlati all'impianto stesso. Definisce l'elenco dei volumi di acqua che partecipano alla formazione dei bilanci idrici nei servizi di acquedotto e di fognatura.

Descrive le modalità di valutazione delle perdite degli acquedotti e delle fognature: parametri di valutazione, strumenti di controllo, strategie di riduzione.

Riporta gli adempimenti dei soggetti gestori.

1.2.3 Valutazione delle perdite per le fognature

Le perdite nelle fognature vanno considerate con riferimento alla componente nera degli scarichi dovendosi impedirne la fuoriuscita dalla rete e dagli impianti, garantendo il corretto funzionamento degli impianti di depurazione.

In ordine al perseguimento dell'obiettivo della tutela ambientale, sono stati stabiliti i seguenti punti da garantire:

- deve essere assicurata la tenuta della rete di raccolta e degli impianti di trasporto primario e secondario (anche per evitare l'ingresso di acque di falda o di acque bianche indesiderate note come acque parassite);
- devono essere evitate perdite di processo negli impianti di depurazione e per disservizi accidentali quali rotture e funzionamento di dispositivi di troppo-pieno (scolmatori di piena);
- deve essere controllato che lo scarico con sfioratore nei sistemi misti garantisca la prescritta diluizione dei liquami neri avuto riguardo agli appesantimenti di carico prodotti dal lavaggio delle condotte nelle fasi iniziali di pioggia;
- deve essere controllato che le utenze attuino la perfetta suddivisione degli scarichi bianchi e neri negli impianti a sistema separato e che sia impedito lo scarico abusivo.

Tra le maggiori cause di perdita si citano:

- la rottura delle condotte nelle reti e nei sistemi di trasporto;
- la compromissione dei giunti tra elementi delle tubazioni o tra tubazioni e manufatti per le fognature nere e per quelle miste;
- l'anomalo esercizio dello scarico di troppo pieno nelle stazioni di sollevamento.

Gli impianti di fognatura possono essere controllati con minore accuratezza rispetto agli acquedotti, per la maggiore difficoltà di valutazione delle portate in correnti a superficie libera rispetto quelle in pressione, ma si evidenzia l'importanza del controllo in ordine al perseguimento della tutela ambientale.

I riscontri che possono essere eseguiti sulle portate in sezioni significative dei collettori principali, in tutte le stazioni di sollevamento ed all'ingresso degli impianti di depurazione, forniscono comunque elementi determinanti per la valutazione delle perdite, confrontando i dati con quelli delle erogazioni dell'acquedotto opportunamente trattati con specifici codici di analisi.

Il confronto tra gli stessi dati, nelle medesime ore degli stessi periodi stagionali, negli stessi giorni della settimana, ottenuti in tempo asciutto ed in occasione di forti precipitazioni, consente di valutare la presenza di allacci anomali (bianchi su rete nera) e di perdite in rete.

I valori previsti delle portate, confrontati con i valori rilevati, forniscono inoltre le necessarie informazioni per il controllo delle perdite.

Ove si sospetti la presenza di perdite, si deve provvedere ad effettuare specifiche indagini, ivi comprese prove di tenuta, che possono comunque essere eseguite per controllare la tenuta dei settori di fognatura.

È importante far notare che le valutazioni delle eventuali perdite devono essere eseguite in tempo secco in modo tale da minimizzare l'influenza degli apporti meteorici, ma vanno rapportati all'anno solare.

Per il complesso di impianti e per ciascun impianto gestito debbono essere definiti i valori dei parametri di seguito indicati che consentono una valutazione oggettiva delle perdite¹:

- durata del periodo d'osservazione in giorni: gg (n.)
- popolazione residente servita dalla rete di raccolta: PR (n.)
- popolazione fluttuante in termini di giorni di presenza nel periodo di osservazione di gg giorni: GF (n.)

¹Decreto Ministeriale (D.M.) dei Lavori Pubblici 8 gennaio 1997, n° 99, *il Regolamento per la definizione dei criteri e del metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature* (G.U. n° 90 del 18 aprile 1997).

- volume di reflui neri consegnato complessivamente dagli utenti: F01 (metri cubi)
- volume in uscita dalla rete di raccolta: F05 (metri cubi)
- volume in entrata negli impianti di depurazione: F08 (metri cubi)
- volume di acqua consegnata per il riuso: F12 (metri cubi)
- volume di reflui liquidi consegnato complessivamente nell'ambiente: F13 (metri cubi)
- rendimento alla depurazione: $SD=F01/F08$ (-)
- rendimento primario: $S1=F05/F01$ (-)
- rendimento per l'utenza: $S2=F05/(F01+F02)$ (-)
- rendimento netto: $S3=F05/(F01+F02+F03)$ (-)
- rendimento idraulico del servizio: $S4=(F07+F09+F12+F13+F15)/F18$ (-)
- indice delle perdite totali: $Q1=F19/F18$ (-)
- indice dell'acqua sfiorata: $Q2=F15/F18$ (-)
- indice delle perdite nella rete di raccolta: $Q3=F04/F18$ (-)
- rapporto finanziario: $S5=F20/F18$ (-)
- indice lineare delle perdite totali: $J1=F19/L$ (metri quadri), ove L rappresenta la lunghezza complessiva della rete
- indice superficiale delle perdite totali: $J2=F19/S$ (m), ove S è la superficie totale interna delle condotte della rete
- indice lineare delle perdite in raccolta: $J3=F04/L$ (metri quadri)
- indice di presenza di reflui neri raccolti: $J4=F01/(F01+F02+F03)$ (-)
- indice demografico di smaltimento nero: $J5=F01/(PR+GF/gg)$ (metri cubi/ab), ove gg è il numero di giorni del periodo di osservazione.

CAPITOLO 2

Dinamica delle Rotture nei Sistemi di Drenaggio Urbano

2.1 Guasti del sistema di drenaggio urbano

Assicurare il corretto funzionamento della rete di drenaggio urbano è fondamentale per molteplici aspetti come l'allontanamento di acque piovane, reflui urbani ed evitare lo smaltimento di inquinanti nell'ambiente. Quindi a tale scopo, discutere il meccanismo di rottura delle condotte, i vari tipi di malfunzionamenti e la relazione tra le condizioni della condotta e le sue performance, risultano fondamentali.

In relazione alla valutazione delle condizioni di un impianto di drenaggio urbano, è importante capire le dinamiche di rottura delle condotte come il grado, il tipo e la gravità del meccanismo di fallimento di tale elemento. I meccanismi di malfunzionamento possono includere improvvisi ed importanti collassi della condotta o una limitazione della capacità idraulica.

Lo scopo è quello di individuare i difetti delle condotte, la relazione tra essi e un possibile successivo guasto alla rete in modo tale da garantire il corretto funzionamento dei vari collettori che compongono la rete.

È importante infine capire che rotture e difetti di una condotta sono strettamente collegati da fattori locali interni come la tipologia di materiale, diametro, tipo di fognatura, posa in opera, letto di posa, profondità della fognatura e da fattori locali esterni come carichi superficiali e la tipologia di superficie, disturbi del terreno, interferenza di radici e l'infiltrazione di acque parassite.

2.2 Meccanismi di rottura

La rottura delle condotte può essere raggruppata in tre categorie generiche in relazione alla causa della rottura:

- Limitazioni idrauliche;
- Capacità idraulica;
- Difetti strutturali.

2.2.1 Limitazioni idrauliche

Per limitazioni idrauliche si intendono tutti quegli elementi che in un qualche modo possono alterare il normale funzionamento idraulico di una condotta (la sua capacità idraulica).

La funzione principale di una rete di drenaggio urbano è quello di trasportare le acque reflue. Dunque, l'efficienza idraulica e altri fattori limitanti sono elementi da considerare necessariamente in merito alle varie cause di guasto dei collettori fognari.

Tra gli elementi principali che si possono individuare in un'acqua reflua ci sono accumulo di sedimenti, grasso e altre sostanze che limitano il normale funzionamento idraulico.

Proprio per questo motivo, le limitazioni idrauliche rappresentano l'elemento principale per il mal funzionamento della rete di drenaggio urbano che rende necessaria una costante manutenzione.

In molti casi, ad esempio in collettori di grandi diametri e soprattutto nei collegamenti tra tubazioni, capita che grandi elementi che si sono introdotti in fogna o elevati accumuli di altri materiali incrementino il grado di ostruzione e inducano una rapida limitazione idraulica, che vede come conseguenza un rigurgito da parte della fognatura in strade o, peggio ancora, in stanze situate sotto il piano campagna come ad esempio cantine.

I vari metodi utilizzati per il dimensionamento delle reti di drenaggio urbano come i metodi cinematico e dell'invaso prevedono che attraverso un elemento fisso come, ad esempio, velocità o pendenza fissata si riesca a dimensionare la rete in modo tale da ottenere un livello di sedimentazione molto bassa.

Tuttavia, ci sono molti fattori esterni come l'intrusione di radici, elevate quantità di grasso nel refluo e rotture strutturali della condotta (rotture dei giunti o della volta fognaria), che intralciano il normale funzionamento previsto da calcoli e dal progetto e favoriscono l'accumulo di sedimenti e di conseguenza impediscono il corretto funzionamento idraulico. Risulta dunque di fondamentale importanza attuare una procedura di costante video-ispezione e manutenzione dei collettori fognari in modo tale da limitare al minimo le problematiche di accumulo nei tubi.

Le principali cause di interferenza alla normale funzione idraulica di un collettore di fognatura possono derivare da fattori locali esterni come:

- **Carico superficiale e tipo di superficie:** il modo in cui il carico si distribuisce in una tubazione viene, indipendentemente dal tipo di posa in opera, influenzato dal suolo in prossimità del tubo. Ovviamente, il tipo di utilizzo della superficie sopra la condotta influenzerà il carico che graverà su di essa. Per esempio, in zone urbanizzate il carico principale agente sui collettori di fognatura è quello dovuto al traffico automobilistico, è stato infatti riscontrato, che le vibrazioni indotte da un traffico urbano costante hanno un effetto sulla velocità di formazione e crescita di vuoti nel terreno di rinfianco della condotta.

- **Scoppio/fuoriuscita di acqua dalle reti di adduzione:** è stato riscontrato che in molti casi la rottura della rete di adduzione può comportare alla rottura della rete di drenaggio urbano. Infatti, questa relazione tra le due tipologie di reti è dovuta al fatto che essendo l'acqua all'interno della condotta in pressione, successivamente alla rottura di quest'ultima, si crea un'erosione del suolo che induce la formazione di vuoti nell'intorno della fognatura, che danno origine ad un processo di instabilità strutturale. Rotture derivate da tale fenomeno possono verificarsi sia nel lungo che nel breve periodo e sono legate al grado della perdita idrica. Però nel momento in cui si verifica il collasso, non risulta sempre facile imputare come causa principale lo scoppio della condotta della rete di adduzione/distribuzione, in quanto non è chiaro quale delle due condotte (acquedotto o fognatura), sia ceduta per prima per poi causare la spaccatura del collettore;
- **Disturbi provenienti dal terreno:** I movimenti del terreno dovuti agli scavi per la posa in opera delle condotte e altri elementi (stazioni di sollevamento, sfioratori...), interrati in prossimità della fognatura sono spesso causa di deterioramento strutturale per una tubazione rigida. Inoltre, è stato constatato che durante lo scavo della trincea per la posa in opera di una tubazione si possono verificare quattro stadi di movimento del terreno, ossia: mentre procedono gli scavi e prima che il supporto sia installato, mentre il terreno si muove in contatto col sistema di supporto oppure quando il sistema di supporto si devia sotto la spinta del carico, mentre il supporto di trincea è tolto ed avviene il riempimento della trincea e infine dopo il riempimento.
Altro fattore rilevante è il livello della falda freatica in quanto, l'acqua percolando attraverso i difetti strutturali della tubazione favorisce l'ingresso del materiale di riempimento, comportando la mancanza di supporto per la tubazione. Il fenomeno di infiltrazione si verifica quando il livello naturale dell'acqua di falda si trova costantemente al di sopra del livello della fognatura.
- **Interferenza di radici:** In merito al danneggiamento provocato dalle radici, che ricercano acqua nella tubazione, si è constatato che la pressione esercitata sulla condotta è sufficiente per produrre danni strutturali rilevanti.
L'aggressione che la condotta subisce da parte delle radici arboree può essere facilitata da alcuni fattori interni come:
 - caratteristiche degli scarichi (scarichi con reflui "aggressivi", cioè con $\text{pH} > 5,5$ oppure che contengono un alto valore di solfati in genere maggiore ai 200 mg/l);
 - metodi di pulizia non adeguati;
 - età della fognatura, l'età della fognatura rappresenta infatti un elemento di alta importanza nell'usura delle condotte.
 Esiste infatti una relazione lineare tra l'età della fognatura, divisa in periodi di 20 anni, ed i tubi danneggiati. I collettori realizzati tra il 1918 ed il 1939, hanno la più alta percentuale di difettosità. Il tasso di fallanza per i periodi anteriori al 1945 vanno dal 7.4% ed 11.3%, mentre il tasso per i seguenti 25 anni è del 2.0% mentre in periodi seguenti 0.6% ed 1.2%. Il motivo principale per questo andamento è legato al miglioramento della

tecnologia nella realizzazione dei sistemi di drenaggio che è stato in continua crescita e sviluppo negli anni.

2.2.2 Capacità idraulica

Per capacità idraulica si intendono tutti quei fattori ed elementi (limitazioni idrauliche), che possono creare una variazione della portata della condotta, tali da mettere in discussione le capacità di trasporto della stessa.

Le rotture legate alla capacità idraulica vengono definite come un tratto di collettore che non ha una capacità disponibile adeguata alle condizioni di progetto. Gli elementi che hanno un impatto diretto sulla capacità di convogliare le acque reflue e che generalmente comportano la rottura possono essere dovuti alle acque parassite, cioè un eccessivo flusso in ingresso o di infiltrazione (I/I inflow & infiltration), oppure da deformazioni del collettore e/o da inadeguata pendenza.



Figura 3- infiltrazione di acque parassite in fognatura (<https://www.ingenio-web.it>)

Gli I/I, hanno un impatto diretto sulla capacità disponibile per convogliare le acque reflue, questo perché le acque sotterranee e meteoriche entrano nel sistema di drenaggio attraverso collegamenti diretti o indirettamente attraverso fessure o difetti della tubazione.

Possono infatti causare problemi funzionali del sistema di drenaggio ed aggravare l'impatto degli scaricatori di piena sull'ambiente acquatico dei corpi idrici superficiali. Le acque parassite aumentano la portata transitante nei collettori inducendo sovraccarichi idraulici della rete. L'aumento di portata induce una maggiore diluizione del refluo che transita nella rete e di conseguenza varia la qualità del refluo destinato agli impianti di depurazione generando problemi di funzionamento dei comparti di depurazione biologica (processo a fanghi attivi). Inoltre, a causa della variazione delle

portate l'impianto di drenaggio urbano si trova ad avere un problema di sottodimensionamento.

Immaginare, durante la progettazione delle moderne reti di drenaggio urbano, che il rapporto tra infiltrazione e afflusso sia nullo non è realistico. Negli ultimi anni, infatti, questo fattore viene considerato fin da subito in quanto è fondamentale per un corretto dimensionamento dell'impianto, dato che viene variata la portata del refluo che scorre all'interno della condotta fognaria.

È stato riscontrato che il fenomeno di infiltrazione è legato da tre aspetti principali: stato della fognatura, tipo di superficie al di sopra di essa e caratteristiche idrogeologiche del sottosuolo.

Lo stato della fognatura è un fattore di cui si è già parlato, resta comunque importante evidenziare gli elementi più sensibili che possono amplificare questo fenomeno, come:

- Quota della fognatura rispetto la quota di falda, collettori situati sotto il livello di falda sono più soggetti al fenomeno di infiltrazione;
- Passaggi ravvicinati tra rete di drenaggio e rete di adduzione/distribuzione (si stima che le reti acquedottistiche vecchie abbiano perdite tra il 30-40 % dell'acqua trasportata, buona parte di queste perdite finiscono raccolte dalla rete di drenaggio);
- Vicinanza di piante alla rete di fognatura, le radici arboree sono fortemente attratte dall'acqua transitante all'interno delle condotte e la forza radicale è in grado di penetrare all'interno del collettore di fogna creando spaccature e crepe;
- Quote degli sfioratori di pioggia, capita che le quote di sfioro possano trovarsi ad un livello inferiore rispetto la quota del corpo ricettore, risulta necessario quindi installare delle valvole di non ritorno a clapet;
- Età della condotta, rami vecchi implicano maggiore probabilità di cedimento;
- Strade o aree soggette a cedimenti di terreno.

Altri fattori come deformazione del collettore e la pendenza inadeguata influiscono direttamente sulla capacità idraulica del tubo. A tal proposito, la portata che transita all'interno di una data sezione di un collettore può essere calcolata sulla base dell'equazione di Manning per condizioni normali di flusso:

$$Q = 1/n * A * R_h^{\frac{2}{3}} * S^{1/2}$$

Dove:

- Q è la portata;
- A è la sezione;

- n è il coefficiente di scabrezza (Manning);
- R_h è il raggio idraulico;
- S è la pendenza.

Osservando l'equazione si può notare quanto una deformazione o una variazione della pendenza siano legate all'area (sezione) del tubo. Una diminuzione dell'area di flusso e/o della pendenza del tubo si tradurrà in una diminuzione proporzionale della capacità di portata.

Il cedimento dovuto alla capacità idraulica è spesso conseguenza di altri tipi di difetti strutturali, infatti, le principali fonti di I/I possono essere dovute a crepe, rotture preesistenti del collettore stesso, perdite delle caditoie o da chiusini, giunzioni tra tubi scorrette. Inoltre, cedimenti della condotta e zone di inadeguata pendenza possono essere correlati a predite dal letto della condotta o da inadeguatezze di costruzione.

2.2.3 Difetti strutturali

Spesso il cedimento è causato da difetti della parete della condotta e/o dal letto creato durante la posa in opera (sella) di quest'ultima. Generalmente, i difetti associati al cedimento strutturale includono crepe, rotture disallineate o disallineamento nei giunti fissati, deflessione dei tubi, problemi nelle caditoie o nei chiusini, corrosione interna/esterna.

Spesso la corrosione interna è causata dalla formazione di idrogeno solforato, e la corrosione esterna è dovuta alla tipologia di suolo.

Il primo caso rappresenta la causa principale di usura strutturale delle condotte, la formazione dell'idrogeno solforato (H_2S) ha inizio in condizioni aerobiche dove i batteri solfato riducenti presenti nel refluo riducono il solfato in H_2S . L' H_2S viene successivamente ossidato da batteri aerobi, in presenza di umidità, ad acido solforico, il quale corrode il materiale della condotta (il più soggetto è il calcestruzzo).

La reazione chimica è la seguente: $H_2S + 2O_2 = H_2SO_4$

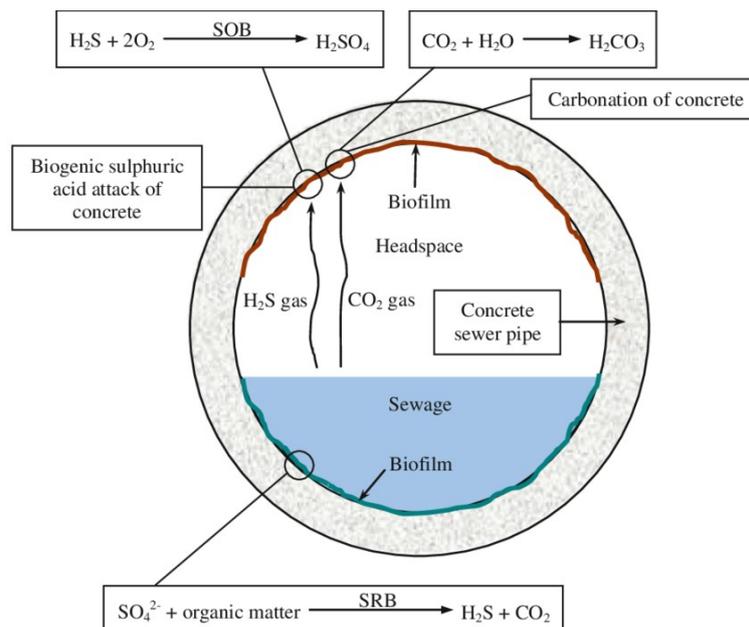


Figura 4- esempio di aggressione chimica in una condotta (www.researchgate.net)

L'efficacia dell'azione corrosiva è legata a diverse variabili come la concentrazione di zolfo, pH, ossigeno disciolto, tempo di residenza, temperatura, velocità del flusso e configurazione della fognatura. Le misure per arginare questo fenomeno possono prevedere:

- l'aggiunta in determinate sezioni della rete di sostanze come calce, capaci di incrementare il pH bloccando la formazione dell' H_2S . Oppure l'iniezione di cloro, ossigeno, ozono e perossido di idrogeno nel liquame;

- aumentare la turbolenza della corrente idrica, la quale permette di separare dal liquame l'H₂S che deve essere successivamente allontanato mediante una ventilazione naturale o artificiale;
- realizzazione di giunti impermeabili, attraverso l'utilizzo di resine poliuretatiche ed epossidiche;
- realizzazione con resine polimeriche di rivestimenti con buona resistenza all'aggressione chimica e all'abrasione.

Viene di seguito proposta, in figura 5, un'immagine relativa ad un cedimento di una condotta, più precisamente della sua volta, probabilmente imputabile ad un fenomeno erosivo dovuto all'aggressione chimica interna.



Figura 5- crollo della volta fognaria di una tubazione, fonte Viacqua spa

Come già citato anche la posa in opera incide molto sulla possibile rottura della condotta, infatti, si è riscontrato che carenze nelle pratiche di posa in opera nel tempo possono indurre in perdite in corrispondenza delle giunzioni, produrre deterioramenti strutturali e quindi favorire il collasso della fognatura.

Tra i principali errori di posa in opera si possono evidenziare:

- la mancata rimozione di rocce e radici di alberi dalle trincee;
- posa in opera di una condotta con pendenza diversa da quella di progetto;

- letto di posa non consolidato uniformemente;
- danneggiamento della tubazione durante la consolidazione del materiale di riempimento per opera di mezzi compattatori.

Le due principali metodologie di posa in opera sono in trincea stretta e larga.

La prima prevede che la larghezza della trincea sia almeno tre volte il diametro esterno del tubo e rappresenta la miglior sistemazione sulla quale collocare una tubazione perché parte del carico sovrastante la condotta si scarica sulle pareti della trincea. Per quanto riguarda lo scavo in trincea larga, questo viene eseguito nel caso in cui il terreno sul quale si lavora è composto prevalentemente da ghiaia e sabbia. Il carico che subisce il collettore in questo caso risulta maggiore rispetto il metodo in trincea stretta perché non c'è la collaborazione con le pareti ai lati dello scavo. Per questioni progettuali di sicurezza quindi, in questo caso si considera che la larghezza della trincea debba variare da tre a dieci volte il diametro esterno del tubo.

Un corretto riempimento della trincea rappresenta l'operazione più importante per la posa in opera delle tubazioni. Deve essere eseguita correttamente per permettere una perfetta interazione tra tubazione e terreno e permettere al collettore di reagire alle sollecitazioni del terreno causate sia dal suo assestamento che dai carichi che vi gravano.

Altre problematiche possono derivare dalla:

- dimensione della condotta: diversi studi hanno investigato sulla relazione tra la dimensione della fognatura e stabilità strutturale. È stato infatti riscontrato, che le tubazioni subiscono sia carichi trasversali che carichi longitudinali, i quali producono distorsioni, tensioni assiali e sollecitazioni di compressione. Anche se gli stress e le distorsioni longitudinali incrementano col diametro, lo fanno con un fattore non proporzionale alla grandezza della sezione del tubo. Non vi è quindi corrispondenza tra la frequenza di difetti ed il diametro del tubo almeno in piccoli tratti di fognatura dell'ordine di qualche km. Mentre, per lunghezze più estese (circa 180 km), si evidenzia che le incidenze di spaccature orizzontali (fratture) aumentano col diametro proprio a causa del loro ingombro e del loro peso.

Si riporta in figura 6, un'immagine di un cedimento strutturale, imputabile ad un sovraccarico, di una condotta di grande diametro.



*Figura 6-cedimento strutturale di un collettore di fogna presso str. di Longara (VI),
fonte Viacqua spa*

- profondità a cui è situata: è stato dimostrato che l'effetto dei difetti decresce fino ad una profondità di 5.5 m, poiché si ha un'influenza decrescente di alcuni fattori di superficie, come ad esempio il traffico stradale. Di contro, oltre i 5 m si verifica un incremento dell'incidenza dei difetti per effetto crescente della pressione in funzione della profondità. Recenti studi hanno evidenziato su un campione di oltre 4400 dati che il 65% di tutti gli eventi di deterioramento strutturale accadevano ad una profondità massima di 2 m e il 25% ad una profondità compresa tra 2 m e 4 m.
- posa in opera, più precisamente il letto di posa: quando si fa riferimento alle fondamenta della condotta (letto), si intende la zona sulla quale è appoggiata la condotta durante la posa in opera e che funge da fondamenta proprio come per una qualsiasi altra struttura. Il letto di posa, che generalmente è rappresentato dal terreno, è la base della tubazione e serve a scaricare e distribuire correttamente il carico verticale che agisce sul collettore.

Il tubo è soggetto a carichi accidentali e carichi del terreno, l'obiettivo principale è quello di distribuire omogeneamente questi carichi e farli assorbire dal letto sotto la condotta in modo tale da evitare il più possibile i carichi puntuali agenti sul collettore che potrebbero indurre rotture. Problemi con il letto dove è situata

la condotta implica zone del collettore più sensibili, infatti, ciò può portare alla flessione del tubo, alla sua deformazione e alla rottura longitudinale. Inoltre, l'aumento del carico del traffico o la perdita di copertura del suolo rappresentano cause di cedimento strutturale.

Tra le principali caratteristiche per le varie tubazioni che la normativa propone, non si può non citare il così detto “bedding factor”, cioè il rapporto dell'azione del tubo all'interno del suo letto di posa rispetto alla resistenza del materiale valutata tramite alcuni test di schiacciamento sempre previsti dalla normativa vigente. Il “bedding factor” viene determinato dall'efficacia con la quale i materiali costituenti la base (materiale di riempimento), permettono la distribuzione dei carichi in prossimità della tubazione. Più pressione e carico sono distribuiti uniformemente, minori saranno le sollecitazioni prodotte e più alto sarà il “bedding factor”. È quindi facile capire che la scelta del materiale di riempimento influenzerà sia la stabilità che il deterioramento di una fognatura.

- tipologia di materiale utilizzato per le giunzioni nonché dai giunti stessi: è importante l'accuratezza nella scelta della tipologia di materiale di cui sono realizzati i giunti, con l'obiettivo di garantire l'impermeabilità dall'acqua, di essere durevole e soprattutto di resistere all'intrusione di radici. Una selezione non appropriata di tipologie e materiali per le giunzioni comporta un gran numero di problematiche strutturali. Si stima che circa il 20% di oltre 200 collassi verificati sono imputabili a giunzioni non conformi, enfatizzando quindi l'importanza di garantire una connessione alle fognature secondo uno standard adeguato. La condizione di “connessione non corretta” è un tipico esempio di difetto iniziale che può eventualmente portare ad un cedimento strutturale completo.



Figura 7- Rottura del giunto tra tubazioni in Via E.Toti (VI), fonte Viacqua spa

Dopo numerosi studi è stato constatato che, spesso, il tipo e il grado di guasto differiscono in base al materiale del tubo. È possibile quindi suddividere i collettori in quattro diverse categorie:

- **Tubazioni in metallo** (ghisa sferoidale con rivestimento interno di malta cementizia, acciaio): la principale tipologia di guasto che coinvolge questo tipo di tubazione è la corrosione interna o esterna, che può portare a rotture o fori nella parete del tubo. La ghisa risulta particolarmente fragile, infatti le tubazioni in ghisa presentano spesso crepe nel momento della rottura. Invece, i tubi in acciaio di grande diametro sono suscettibili a collasso e alla corrosione;
- **Tubazioni in calcestruzzo** (calcestruzzo armato, calcestruzzo armato precompresso, calcestruzzo non armato con o senza rivestimento interno di resine epossicatrarnose): la causa di rottura più frequente è legata all'aggressione chimica subita dalla volta della condotta. Tipicamente il calcestruzzo armato inizia a presentare cedimento dopo che la superficie interna della parete del tubo si è deteriorata a tal punto che l'armatura che compone il tubo è esposta. Man mano che l'armatura si corrode, si gonfia ed inizia a rompere il calcestruzzo circostante provocando successivamente il cedimento. Il calcestruzzo armato precompresso invece, ha un meccanismo di guasto diverso in quanto quest'ultimo si verifica quando i fili precompressi si rompono, questo accade generalmente a causa della corrosione oppure per via di danni fisici diretti alla tubazione;
- **Tubazioni a rivestimento ceramico** (Grès ceramico, argilla VCP): le tubazioni in grès ceramico verificano rotture nel momento in cui le malte che si trovano tra una mattonella (di grès ceramico) e l'altra subiscono aggressione chimica da parte del refluo, mentre, le tubazioni in VCP verificano rottura quando i carichi esterni sulla condotta sono elevati;
- **Tubazioni plastiche** (cloruro di polivinile PVC, polietilene ad alta densità PEad, poliestere rinforzato con fibra di vetro PRFV): la principale causa di rottura delle tubazioni in materiale plastico è rappresentata dallo stress ambientale (variazioni di temperatura, movimenti del terreno...). L'altro elemento che incide nella causa di rottura per questa categoria di tubazioni è un problema nei giunti.

Viene di seguito proposta in figura 8, un'immagine che riporta in forma tabellare le varie tipologie di tubazione e il relativo materiale rispetto i principali tipi di elementi che possono indurre un cedimento.

Defect	Concrete			Ferrous		Ceramic		Plastic	
	Concrete pipe	Asbestos cement	PCCP/CCP	Cast iron/ductile iron	Steel	VCP	Brick	PVC	HDPE
Internal pipe surface									
Root intrusion	•	•	•	•	•	•	•		•
Grease build-up	•	•	•	•		•	•	•	•
Pipe wall condition									
Cracks/ broken pipe	•	•				•			
Internal corrosion		•	•	•	•				
External corrosion			•	•	•				
Leakage									
General	•	•		•		•		•	
Joint leakage			•		•				
Leaking laterals				•					•
Alignment/grade									
Alignment				•				•	•
Joint misalignment	•	•		•		•			
Excessive deflection					•			•	•
Grade								•	•
Other	1						2	3	4

1 – Liner separation, weld failure

3 – Lateral connections

2 – Missing bricks, soft mortar, vertical deflection, collapse

4 – Pressure capacity (force mains only)

*Figura 8- cause di rottura delle condotte per tipologia di materiale
(www.epa.gov/nrmrl)*

CAPITOLO 3

La Composizione della Rete di Drenaggio Urbano del Comune di Vicenza

3.1 La fognatura di Vicenza

Per impianto di fognatura si intende il complesso di canalizzazioni, generalmente sotterranee, per raccogliere e allontanare dagli insediamenti civili e/o produttivi le acque superficiali e quelle reflue prodotte dalle attività umane. Le canalizzazioni funzionano a pelo libero. In alcuni tratti però, il loro funzionamento può essere in pressione (condotte di mandata da stazioni di sollevamento, attraversamenti con sifoni ...).

Una rete di fognatura può essere a sistema unitario o misto quando raccoglie nella stessa canalizzazione sia le acque reflue che quelle di pioggia, e a sistema separato se le acque reflue vengono raccolte in una apposita rete distinta da quella che raccoglie le acque superficiali. Le quali sono anche definite fognature per acque bianche, distinte da quelle per acque reflue definite nere.

Gli impianti di fognatura sono articolati nelle seguenti sezioni:

- **Rete di raccolta:** opere per la raccolta e il convogliamento delle acque nere e bianche nell'ambito delle aree servite;
- **Impianto di trasporto:** opere per il convogliamento, con collettore o emissario, delle acque agli impianti di depurazione (trasporto primario) e al recapito finale, o al loro riuso (trasporto secondario);
- **Impianti di depurazione:** l'insieme delle opere per il trattamento delle acque e per conferire loro caratteristiche compatibili con quelle del ricettore.

Il distretto di fognatura è costituito da una porzione di rete di raccolta per la quale sia misurato con continuità il volume di acqua in uscita.

I settori di fognatura sono le parti di rete di raccolta caratterizzate dalla possibilità di essere intercettate e isolate dal sistema generale, in modo che si possano eseguire misure occasionali di portata in ingresso e in uscita. Un settore può essere una parte di distretto o può comprendere aree appartenenti a più distretti.

Le canalizzazioni, in funzione del ruolo che svolgono nella rete fognaria, sono distinte secondo la seguente terminologia riportata dalle norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di fognatura e depurazione e dalle istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto:

- **fogne:** canalizzazioni elementari che raccolgono le acque provenienti da fognoli di allacciamento e/o da caditoie, convogliandole ai collettori;

- collettori: canalizzazioni costituenti l'ossatura principale della rete che raccolgono le acque provenienti dalle fogne e quelle eventualmente ad essi addotte in modo diretto da caditoie. I collettori a loro volta confluiscono in un emissario;
- emissario: canale che, partendo dal termine della rete, adduce le acque raccolte al recapito finale.

La rete dei collettori di fognatura è completata da un insieme di manufatti che prendono il nome di opere d'arte.

La circolare del ministero dei LL.PP. del 7 gennaio 1974, suddivide le opere stesse in due categorie: ricorrenti e particolari. È bene ricordare che questi manufatti sono realizzati quasi esclusivamente prefabbricati e, nella quasi totalità in calcestruzzo con griglie e chiusini in ghisa sferoidale.

Tra le principali opere ricorrenti troviamo:

- cunette: piccoli canali al lato della strada con lo scopo di raccogliere le acque defluenti dalle strade;
- caditoie: dispositivi che raccolgono le acque defluenti convogliate dalle cunette (caditoie a griglia, a bocca di lupo, a griglia e bocca di lupo, a fessura);
- pozzetti d'ispezione: sono manufatti prefabbricati che vengono inseriti nella rete fognaria con lo scopo di permettere ispezioni e manutenzione;
- pozzetti di alloggio dei sifoni di cacciata: i sifoni come ad esempio quello Contarino, hanno lo scopo di evitare l'accumulo di sedimenti nei collettori di fogna.

Per quanto riguarda le opere particolari:

- impianti di sollevamento: sono utilizzati generalmente quando si vuole trasferire la portata di un punto del collettore ad un altro punto posto ad una quota più alta;
- scolmatori: nelle fognature miste può capitare che per eventi pluviometrici che eccedono un assegnato limite, venga superato il valore di portata massima prefissato. Per evitare ciò grazie agli scolmatori questa portata eccedente viene scaricata con lo scolmatore o sfioratore, in un corso d'acqua nelle vicinanze del manufatto. Gli scolmatori differiscono per forma e tipo di funzionamento, tra i principali tipi possiamo individuare: lo scolmatore a stramazzo laterale e quello a luce di fondo;
- vasche di prima pioggia: raccolgono il primo quantitativo di acqua proveniente dal manto stradale che contiene le varie sostanze derivanti dall'inquinamento atmosferico;
- attraversamenti (di corsi d'acqua, strade e ferrovie);
- dissabbiatori: hanno lo scopo di eliminare materiali grossolani come sabbie che possono indurre in abrasione meccanica di elementi importanti come le pompe degli impianti di sollevamento;

- disoleatori: hanno lo scopo di eliminare la parte grassa del refluo che potrebbe indurre un maggiore accumulo di sedimenti nelle condotte limitandone la capacità idraulica.

L'ultimo componente a valle di una rete di drenaggio urbano è rappresentato dall'impianto di trattamento dei reflui. Questo impianto ha lo scopo di rimuovere tutti gli agenti contaminanti dall'acqua reflua proveniente dall'ambiente urbano e industriale per poi poter rilasciarla ad un corpo idrico superficiale senza che venga compromesso il suo equilibrio naturale.

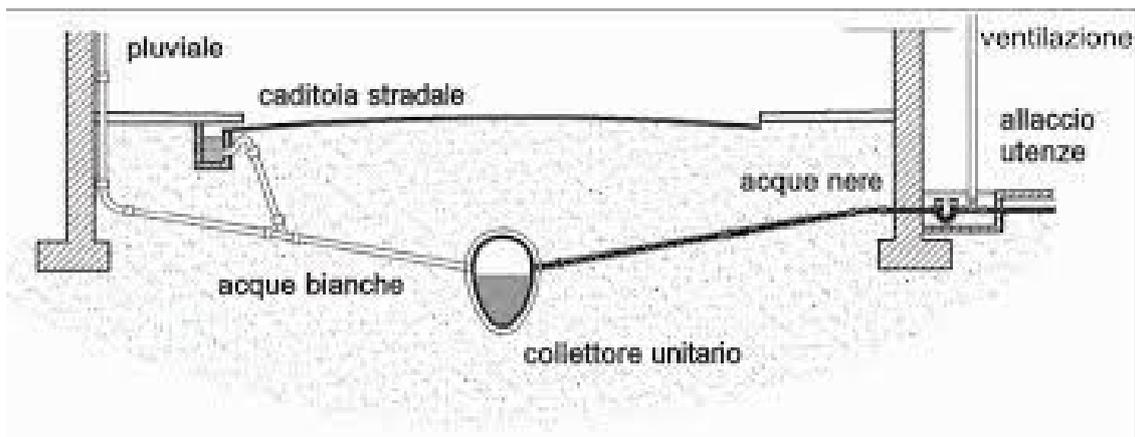


Figura 9-schema di raccolta reflui in condotta fognaria (<https://docs.dicotechpoliba.it>)

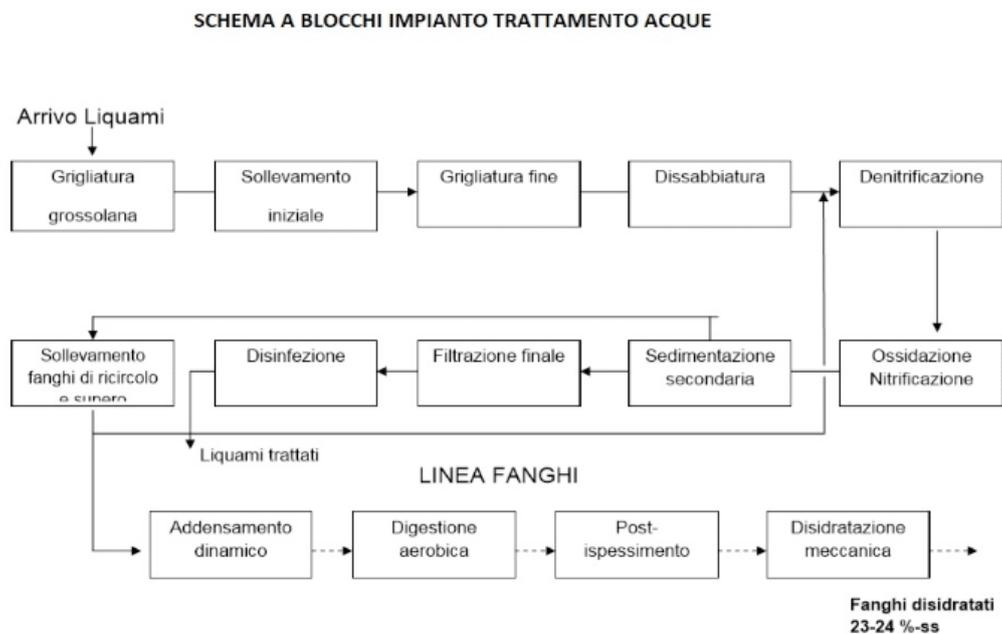


Figura 10- schema a blocchi impianto di trattamento (<https://www.impianto.it>)

La rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza, gestita dalla società Viacqua spa, si estende per 376,5 km e ha a disposizione 3 impianti di depurazione delle acque reflue posti a Sud della città.

La città di Vicenza è attraversata da un corso idrico principale che è rappresentato dal fiume Bacchiglione con il suo affluente Retrone. Altri corsi d'acqua che attraversano il territorio comunale di Vicenza sono: il fiume Astichello (che provenendo da nord-est si getta nel Bacchiglione), il fiume Tesina (che lambisce la città a est) e il torrente Orolo (che discende da nord e si getta anch'esso nel Bacchiglione).

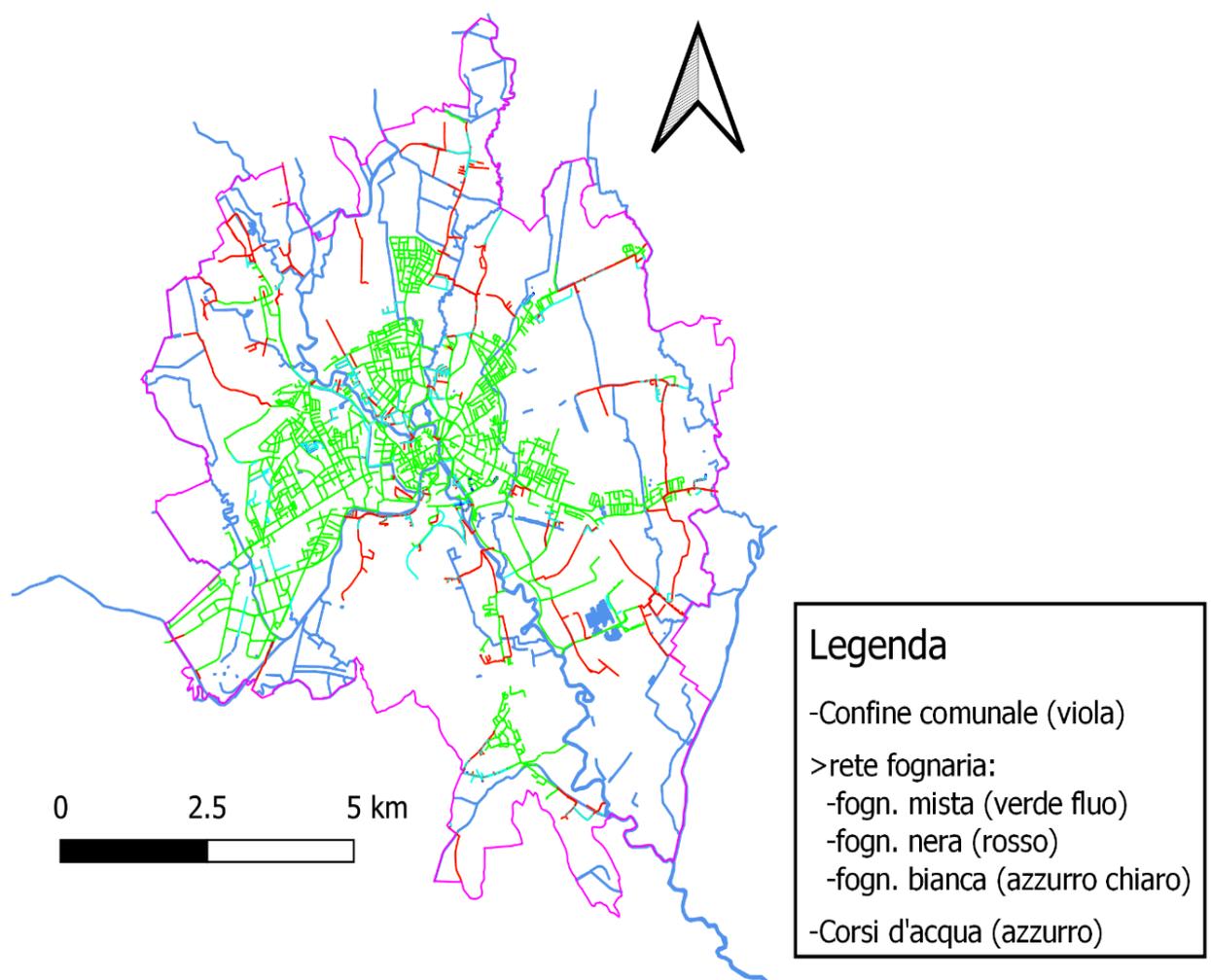


Figura 11- rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza

Gli impianti di trattamento delle acque reflue a cui fa riferimento il sistema fognario di Vicenza sono:

- **Impianto di depurazione di Longara:** ha una potenzialità di progetto pari a 3.500 abitanti equivalenti (A.E.), prevede un trattamento a fanghi attivi di parte dei reflui misti (civile e industriale) dei Comuni di Vicenza (frazione Longara) e Arcugnano con scarico dei reflui depurati nel fosso Longara.
- **Impianto di depurazione Città di Vicenza (località Casale):** tratta i reflui provenienti dalla zona est e nord-est della città, dal villaggio americano e dall'area del mercato, mediante due collettori principali che trasportano i reflui all'impianto. In entrata all'impianto è presente uno sfioratore, al fine di sfiorare le portate eccedenti il valore 5Qm in tempo di pioggia nel fiume Bacchiglione. I reflui in arrivo sono di tipo misto, in parte anche di origine industriale. Il processo di depurazione dei liquami è di tipo tradizionale a fanghi attivi.

Dal 2018 inoltre, sono iniziati lavori di modernizzazione e ampliamento dell'impianto con l'aggiunta di 10 linee biologiche a fanghi attivi e 6 sedimentatori con un ingrandimento di 55 mila metri quadrati.

Attualmente è in grado di accogliere le acque reflue di 92.000 A.E. e con il termine dei lavori (che dovrebbero durare 6 anni), sarà in grado di depurare reflui pari a 280.000 A.E. . Vengono dunque soddisfatte anche le esigenze di comuni limitrofi a Vicenza, basti pensare che Vicenza ha 110.000 abitanti, permettendo quindi di chiudere altri impianti di depurazione ormai obsoleti.



Figura 12-impianto di trattamento acque reflue città di Vicenza (Casale), fonte Viacqua spa

- **Impianto di depurazione di Sant'Agostino:** ha una potenzialità di progetto pari a 100.000 A.E., si trova a sud-ovest del Comune di Vicenza, lungo Viale Sant'Agostino, e scarica i reflui depurati nella roggia Dioma, confluyente nel fiume Retrone che insieme al Bacchiglione rappresentano i corsi idrici superficiali principali della città. L'impianto tratta i reflui provenienti dalla città di Vicenza (zona ovest e nord-ovest), dal Comune di Costabissara (circa 7.000 abitanti) e dal Comune di Altavilla Vicentina (circa 12.000 abitanti), mediante due collettori principali.

I reflui sono di tipo misto, in parte anche di origine industriale e il processo di depurazione dei liquami è di tipo tradizionale a fanghi attivi.

Di seguito, in figura 13, viene proposta l'immagine cartografica con sfioratori, impianti di depurazione e i corsi d'acqua presenti all'interno del territorio comunale di Vicenza.

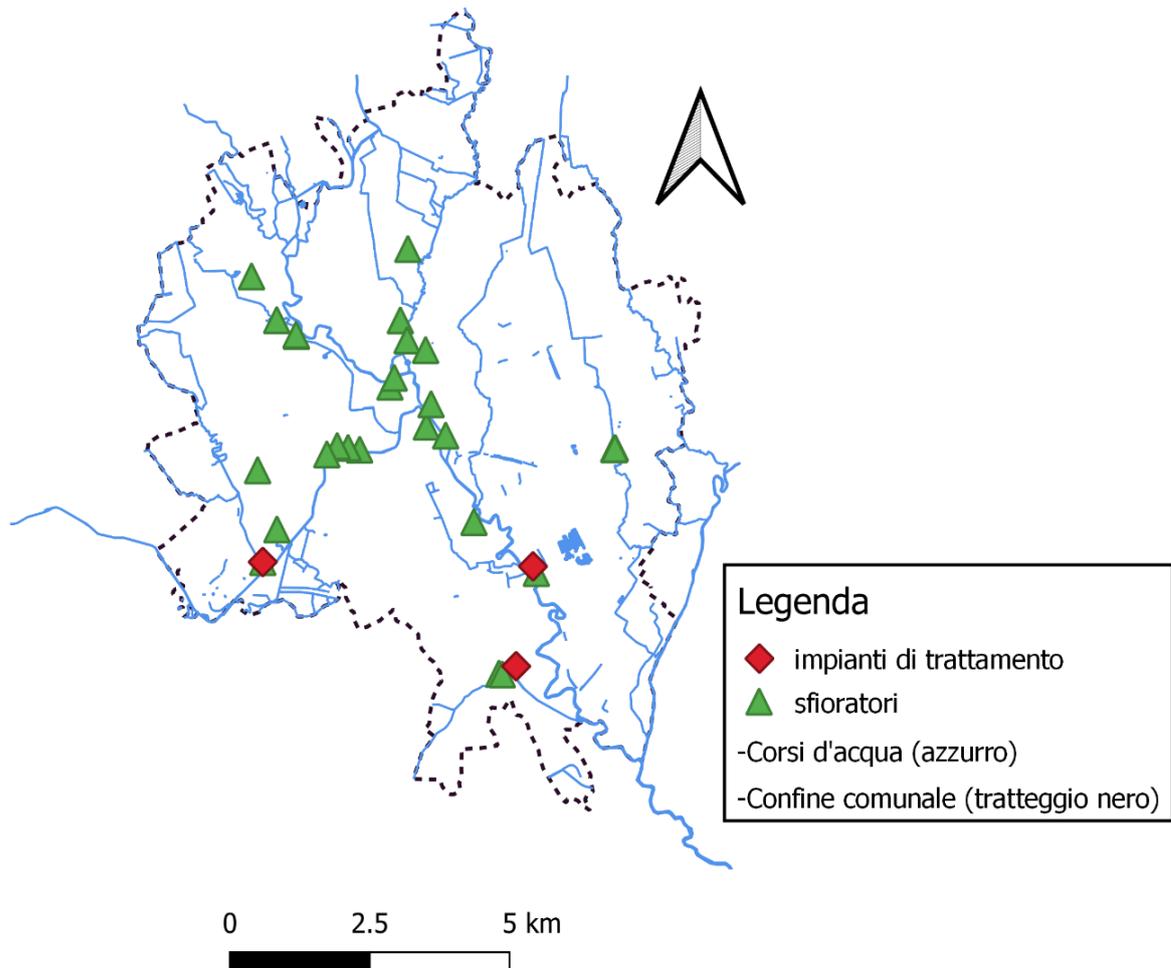


Figura 13- posizione geografica di sfioratori e impianti di depurazione nel comune di Vicenza

I materiali con i quali sono costruite le condotte della rete di drenaggio urbano varia generalmente in base al tipo di reflujo che devono trasportare (fognatura bianca, mista o nera), ma soprattutto dipendono dal tempo in quanto negli anni lo sviluppo industriale e tecnologico ha contribuito alla formazione di nuove tipologie di materiali e quindi di collettori fognari diversi.

Per la rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza possiamo individuare i seguenti materiali:

- **Acciaio:** possono essere senza saldatura o saldati. I modi più comuni per unire le tubazioni in acciaio senza saldarlo possono essere:
 - A bicchiere con anello di tenuta in elastomero;
 - A flange che possono essere fisse saldate di testa o mobili ed orientabili;
 - A manicotto con flangia di serraggio;

Il giunto tra condotte rappresenta il punto debole della tubazione, vengono utilizzate solo per piccoli tratti di rete e non garantiscono un'ottima resistenza all'aggressione chimica e all'abrasione;

- **Fibrocemento:** è una tipologia di materiale utilizzata fin dagli anni 20' con l'impiego dell'amianto come fibra insieme al cemento, questa miscela non è più in uso a causa dei danni alla salute che provoca l'amianto durante la sua lavorazione a secco. È stato infatti sostituito da altri materiali moderni come il polivinilalcol oppure il polietilene misti a cellulosa.

Il giunto più utilizzato è quello a manicotto.

Presenta una discreta resistenza all'aggressione chimica che è migliorabile con l'utilizzo cementi ferrici o pozzolanici mentre la resistenza all'abrasione non è elevata;

- **Calcestruzzo e calcestruzzo armato:** il calcestruzzo non armato ha una resistenza minore rispetto quello armato ai carichi. L'armatura è in genere costituita da tondini disposti lungo le generatrici e da alcune spirali per l'armatura trasversale, che ha lo scopo di assorbire gli sforzi di trazione dovuti ai carichi esterni e all'eventuale pressione interna dell'acqua. Entrambe le tipologie generalmente prevedono giunti a bicchiere con anello elastomerico di tenuta.

Non presentano un'elevata resistenza all'abrasione e nemmeno all'aggressione chimica (nemmeno se vi sono rivestimenti interni con vernici perché la loro azione verrebbe compromessa dall'abrasione), per questi motivi queste tipologie di materiale sono consigliabili solo per fognature bianche;

- **PVC:** è il materiale migliore per le reti di scarico interne degli edifici e per i collegamenti di allaccio con la rete di drenaggio urbano principale, perché rendono molto facile i collegamenti tra loro per mezzo dei giunti a bicchiere con anello elastomerico di tenuta. Presentano inoltre buona resistenza sia all'abrasione che all'aggressione chimica. Infine, per assicurare delle buone prestazioni meccaniche, questa tipologia di materiale necessita di una corretta posa in opera.

- **Ghisa e ghisa sferoidale:** la ghisa utilizzata oggi è prevalentemente sferoidale in quanto garantisce migliori prestazioni. Essa, infatti, è duttile (presenta un elevato allungamento a rottura), ha grande resistenza a trazione ed è più elastica della ghisa normale. Il sistema più utilizzato per le giunzioni è quello a bicchiere con elemento di tenuta in elastomero. Presentano una buona resistenza all'aggressione chimica da parte dei reflui civili purché il pH sia compreso tra 4 e 12. La resistenza all'abrasione interna è discreta, mentre è un materiale suscettibile all'aggressione elettrolitica esterna da parte dei terreni;
- **Grès ceramico:** la materia prima principale è l'argilla, vi è l'utilizzo anche di altri materiali inerti (frammenti macinati di grès, porcellana, mattoni...). Generalmente i giunti sono a bicchiere con anello di tenuta in poliuretano. Presenta un'elevata resistenza all'aggressione chimica sia di sostanze liquide che gassose. La resistenza all'abrasione anch'essa risulta molto elevata. Il grès è un materiale molto resistente anche all'azione abrasiva delle pulizie di condotta effettuate con lavaggi ad alta pressione;
- **Polietilene:** è un materiale molto elastico il che lo rende molto utile per gli allacciamenti. Presenta un'ottima resistenza all'aggressione chimica da parte dei reflui civili, generalmente ottima anche per quelli industriali. È però un materiale molto sensibile sia alla luce che alle temperature elevate, per cui il fluido che trasporta non deve avere valori permanenti al di sopra dei 40 °C. Presenta inoltre un'ottima resistenza all'abrasione meccanica (simile a quella del grès);
- **Polipropilene:** presenta un elevato carico di rottura, una buona resistenza termica e all'abrasione.

In conclusione, per le fognature nere saranno necessari materiali con ottima resistenza all'abrasione meccanica e all'aggressione chimica, il miglior materiale per tale scopo è il grès seguito dai materiali plastici come il polietilene e il PVC.

Per quanto riguarda le fognature bianche, tenendo conto che l'investimento maggiore avverrà per la realizzazione della fognatura nera, può essere posta maggiore attenzione all'aspetto economico e quindi il materiale più adatto per questo tipo di rete fognaria risulta essere il calcestruzzo armato o meno.

Mentre per le fognature miste dove gli andamenti di portata sono molto variabili, è preferibile utilizzare materiali leggermente più sofisticati come i tubi in fibrocemento.

Quando invece si presentano situazioni particolari in cui le fognature devono attraversare ostacoli o infrastrutture di grandi dimensioni che comportano trasmissioni elevate di carichi oppure è previsto un andamento in pressione della portata del refluo, possono essere presi in considerazione tubi in acciaio e in ghisa sferoidale che devono però essere opportunamente protette contro l'aggressione elettrochimica.

CAPITOLO 4

Caso Studio: Il Comune di Vicenza

4.1 Descrizione geometrica della rete

Nel seguente capitolo sarà descritta la composizione geometrica della rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza gestita dalla società Viacqua spa, oggetto di studio del seguente lavoro di tesi.

In particolare, la rete di condotte del comune in esame si sviluppa per 376.5 chilometri ed è composta da 9086 tubazioni. Viene sviluppata una descrizione dello stato strutturale della rete attraverso l'elaborazione dei dati ottenuti dal database cartografico.

Per il caso studio sono state raccolte e analizzate le seguenti tipologie di dato: criticità idraulica, tipologia di condotta, anno intervento (voragine), anno posa in opera, data dell'evento pluviometrico più vicino e intenso alla data di rottura, pioggia cumulata nella settimana antecedente la rottura, tipo di fognatura, rivestimento interno, funzione idraulica, materiale, forma sezione, diametro, quota di posa in opera, quota estradosso, classificazione stradale e quota di falda.

Tra tutte le tipologie di dato raccolte per la descrizione geometrica della rete di drenaggio è stata posta l'attenzione sulle seguenti caratteristiche delle condotte:

- Diametro;
- Materiale;
- Tipologia fognatura;
- Anno di posa;

Ogni tipologia di dato disponibile ad eccezione della data di posa in opera è stata analizzata in termini di numero di condotte ed estensione chilometrica, individuando delle classi di valori. Sono state calcolate le percentuali di appartenenza alle classi rispetto il totale per poter disporre di una più immediata visione delle caratteristiche delle condotte. Queste caratteristiche sono riportate in maniera tabellare e mediante grafici a torta e a barre.

È bene sottolineare che per quanto riguarda la data di posa in opera delle condotte di fognatura non era presente alcun dato se non per le condotte più recenti (anni 2000), è stato dunque associata la stessa data di posa in opera delle condotte di acquedotto partendo dal presupposto che nel momento in cui un quartiere o una particolare zona comunale viene edificata si provvede sia alla fornitura idrica che quella di drenaggio urbano. Così facendo si è riusciti ad associare una data di posa in opera per ciascuna tubazione e quindi capire quali siano quelle più "anziane".

4.1.1 Diametro

Il diametro come già discusso nei capitoli precedenti, rappresenta una caratteristica fondamentale per il comportamento idraulico e strutturale di una condotta di fognatura.

Relativamente al comune di Vicenza, i diametri variano soprattutto in base alla tipologia di condotta (circolare, ovoidale, ellittica e rettangolare). Le condotte di tipo circolare sono quelle che compongono principalmente la rete di drenaggio del comune, i diametri di condotte circolari maggiormente presenti in rete sono quelli compresi tra i DN250 e DN400 e quelli tra i DN550 e DN700. Diametri più piccoli corrispondono generalmente alle maglie di rete più interne in quanto trasportano meno reflui, maglie più esterne saranno composte da diametri più grandi (DN700 >), per il trasporto di reflui provenienti dalle maglie più interne al comune oltre che a quelli provenienti dalla zona esterna stessa.

Tabella 2- Analisi delle condotte circolari suddivise per classi di diametro

Diametro [mm]	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° Condotte	N° Condotte [%]	Lunghezza totale [%]	N° Condotte totale [%]
100-250	53.31	16.36	1705	22.17	14.2	18.77
250-400	77.23	23.71	1915	24.90	20.5	21.08
400-550	46.72	14.34	1183	15.38	12.4	13.02
550-700	74.4	22.84	1549	20.14	19.8	17.05
700-850	25.84	7.93	521	6.77	6.9	5.73
850-1000	14.83	4.55	250	3.25	3.9	2.75
1000 >	33.44	10.26	568	7.39	8.9	6.25
TOT	325.77	100.00	7691	100.00	86.5	84.65

Nella tabella 2, così come per le successive, sono state riportate le percentuali in termini di lunghezza e numerosità rispetto sia il totale di tutte le tipologie di tubazioni (circolari, ovoidali, ellittiche e rettangolari), e sia rispetto il totale delle sole condotte circolari.

È facile verificare che le condotte di forma circolare siano quelle che compongono principalmente la rete, sia in termini di lunghezza (86.5%), che in termini di numerosità (84.65%).

Mentre la classe di diametro principale è quella DN250-400.

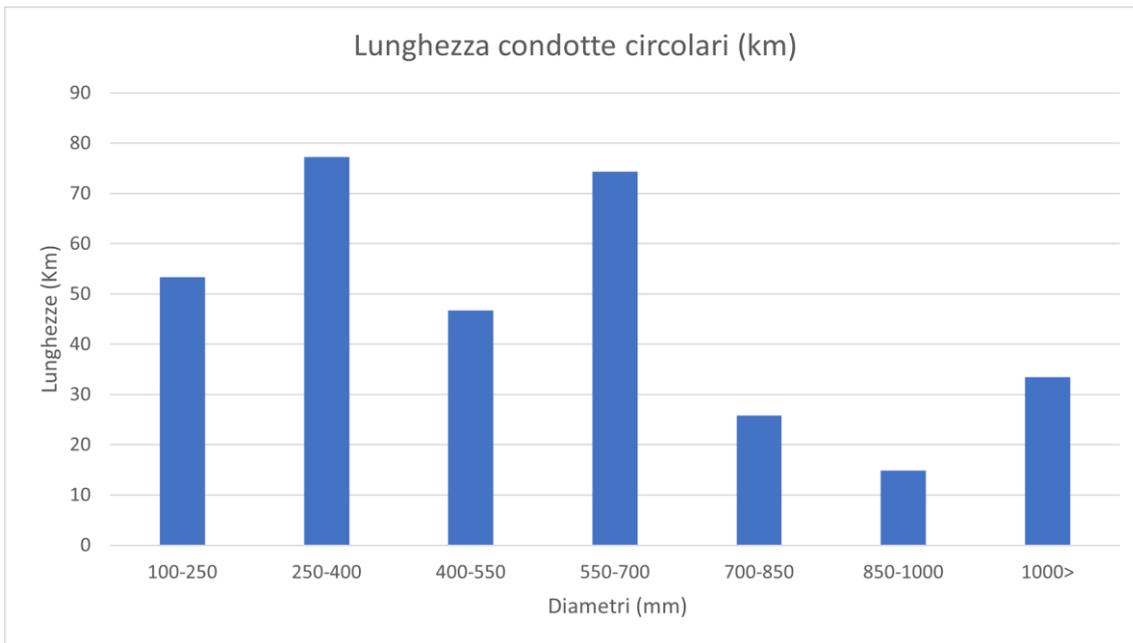


Figura 11- distribuzione in chilometri delle condotte circolari suddivise per classi di diametro

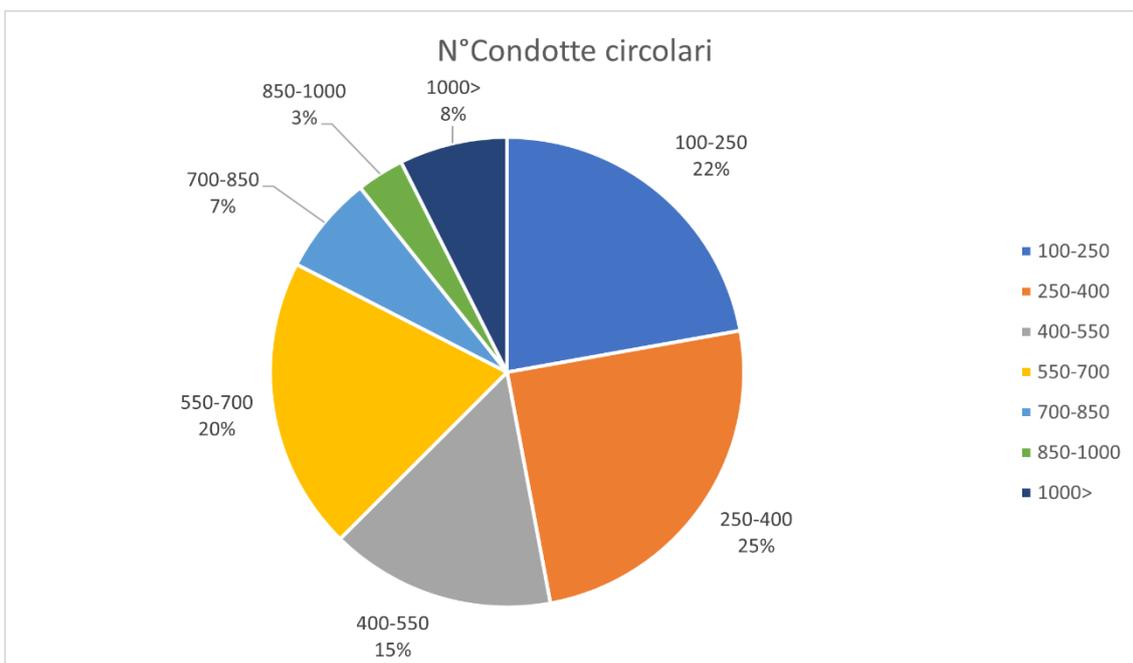


Figura 12- Suddivisione delle condotte circolari in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

Il grafico di figura 13, fa riferimento al totale delle sole condotte circolari.

Di seguito viene invece proposto, in figura 14, il grafico delle percentuali delle condotte circolari relativo al totale delle tubazioni.

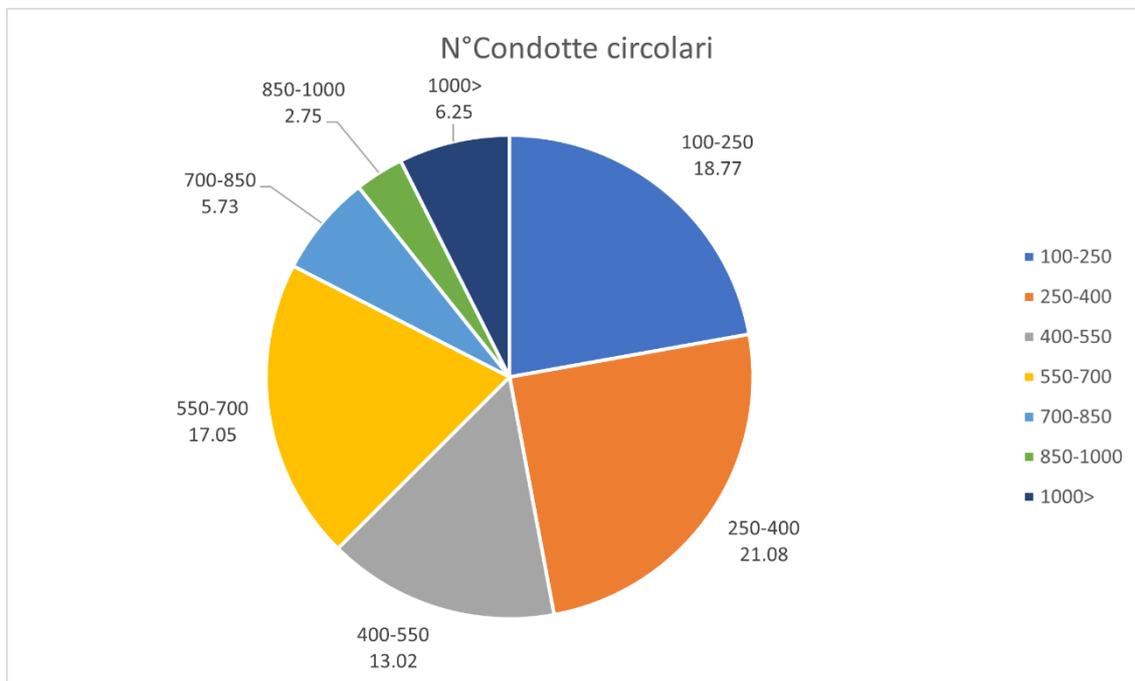


Figura 13- Suddivisione delle condotte circolari in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

Viene riportato in tabella 3, l'analisi delle condotte di forma ovoidale che compongono la rete.

Si osserva facilmente che quelle presenti maggiormente sono quelle di DN700x1050.

Tabella 3-Analisi delle condotte ovoidali suddivise per classi di diametro

Diametro [mm]	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° Condotte	N° Condotte [%]	Lunghezza totale [%]	N° Condotte totale [%]
600x900	2.99	18.27	80	19.85	0.8	0.9
700x1050	7.39	45.15	188	46.65	2.0	2.1
800x1200	4.16	25.38	104	25.81	1.1	1.1
900x1350	0.71	4.34	13	3.23	0.2	0.1
1000x1500	1.1	6.72	17	4.22	0.3	0.2
470x700	0.0256	0.16	1	0.25	0.0	0.0
TOT	16.377	100.00	403	100.00	4.3	4.4

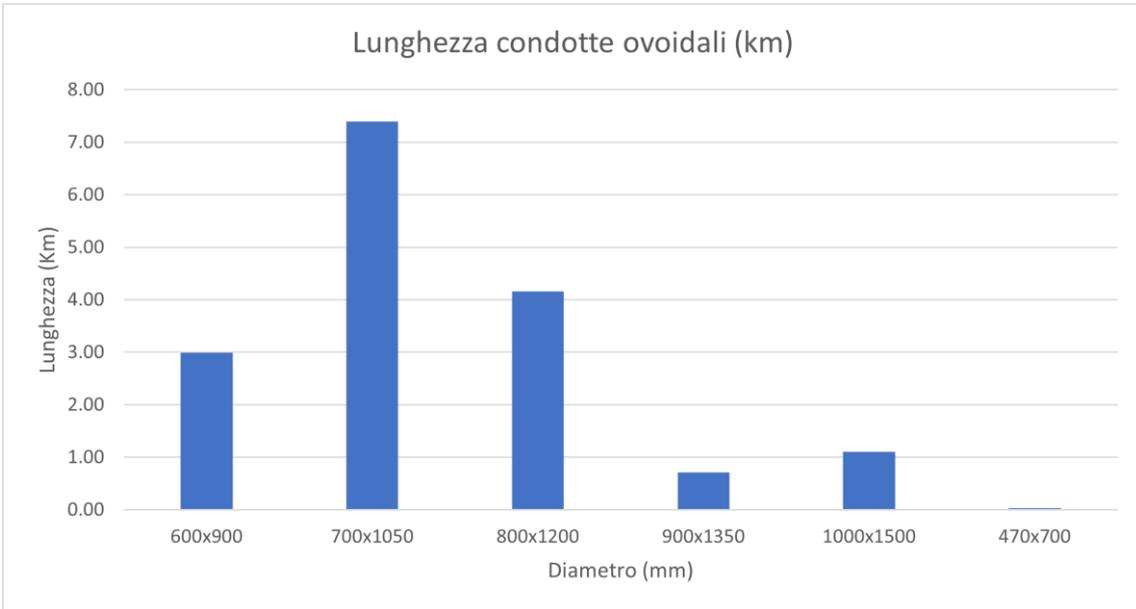


Figura 14- distribuzione in chilometri delle condotte ovoidali suddivise per classi di diametro

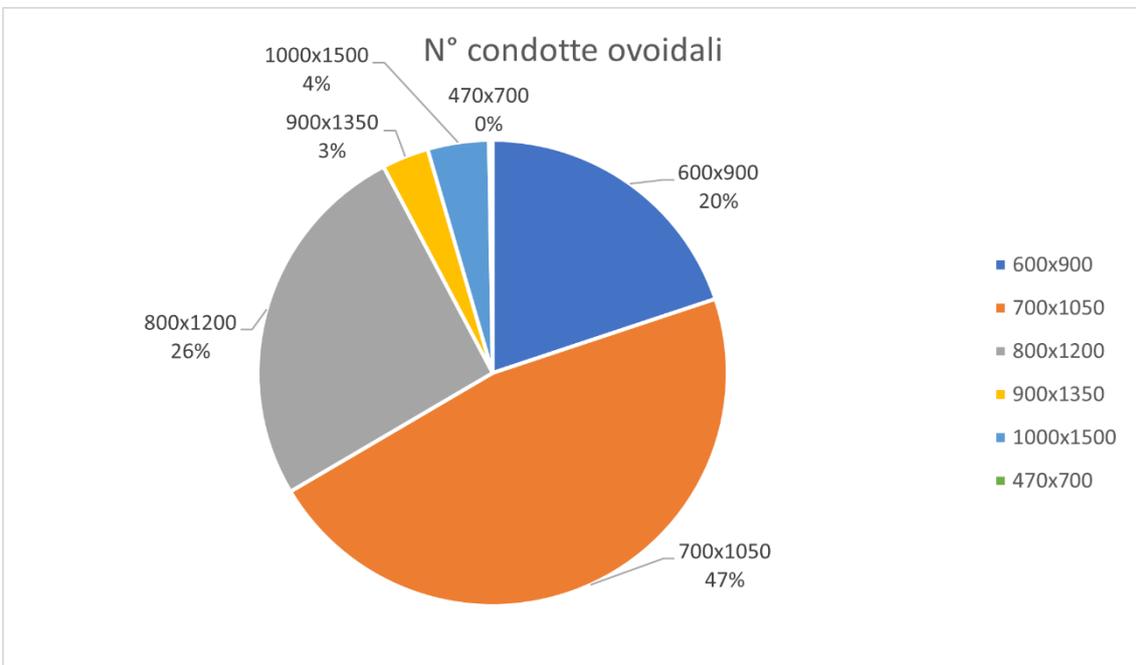


Figura 15- Suddivisione delle condotte ovoidali in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

In figura 16, si può osservare il grafico delle numerosità in termini percentuali riferito al totale delle sole condotte ovoidali. Mentre di seguito, in figura 17, è proposto il grafico delle numerosità totali delle condotte ovoidali rispetto il totale delle condotte.

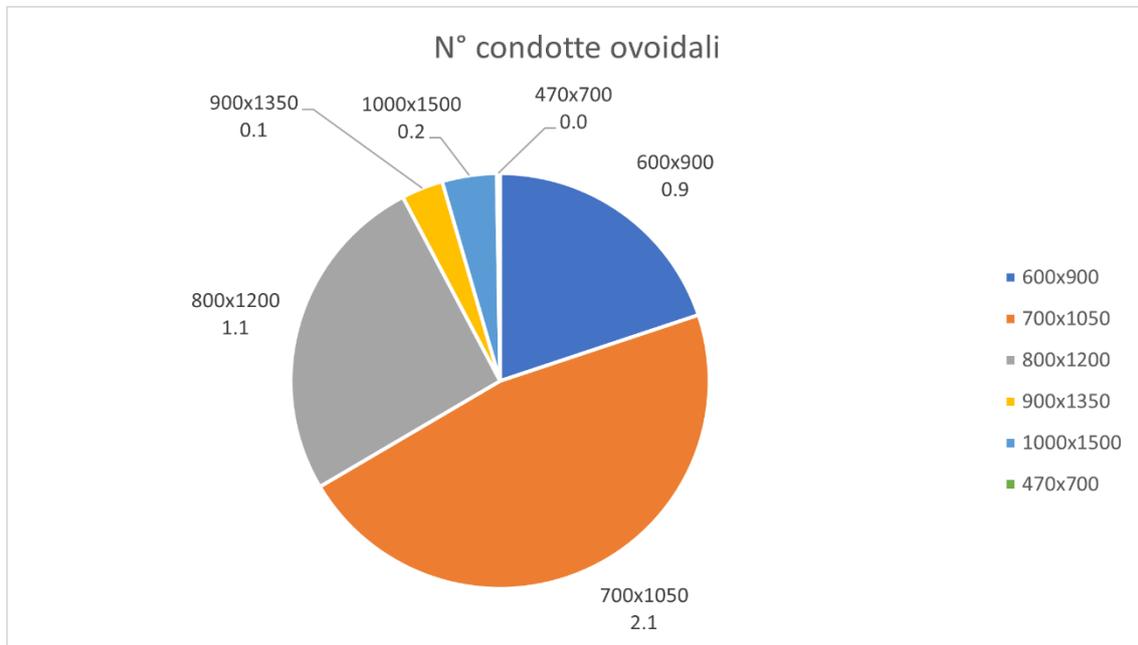


Figura 17-Suddivisione delle condotte ovoidali in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

Tabella 4-Analisi delle condotte ellittiche suddivise per classi di diametro

Diametro [mm]	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° Condotte	N° Condotte [%]	Lunghezza totale [%]	N° Condotte totale [%]
800x1200	0.762	19.744	21	24.419	0.20	0.23
1500x200	0.253	6.555	6	6.977	0.07	0.07
1500x400	0.204	5.286	6	6.977	0.05	0.07
1800x400	0.927	24.019	14	16.279	0.25	0.15
500x1000	0.27	6.996	4	4.651	0.07	0.04
600x800	0.762	19.744	21	24.419	0.20	0.23
1200x1600	0.3854	9.986	9	10.465	0.10	0.10
1000x400	0.296	7.670	5	5.814	0.08	0.06
TOT	3.8594	100	86	100.000	1.03	0.95

Si osserva, dalla tabella 4, che le principali condotte ellittiche presenti in rete sono quelle di DN800X1200 e quelle di DN600X800. Inoltre, si nota come sia in termini di lunghezza (1.03%), che di numerosità totale (0.95%), le condotte ellittiche compongano in inferiorità rispetto le altre tipologie di tubazioni la rete.

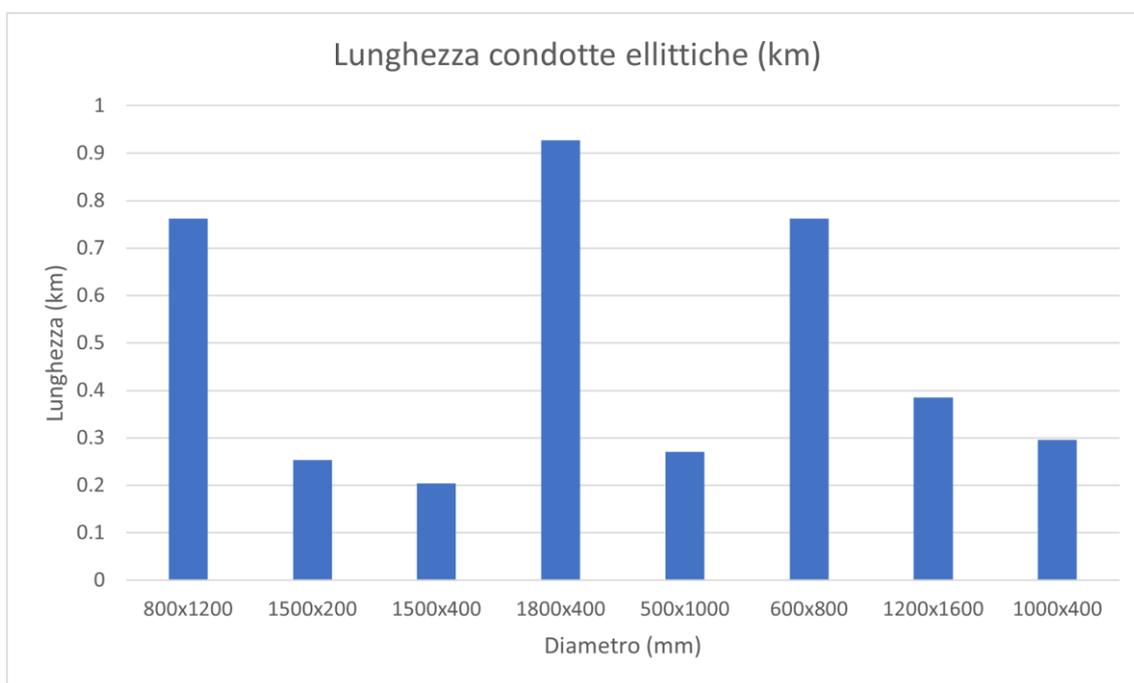


Figura 18-distribuzione in chilometri delle condotte ellittiche suddivise per classi di diametro

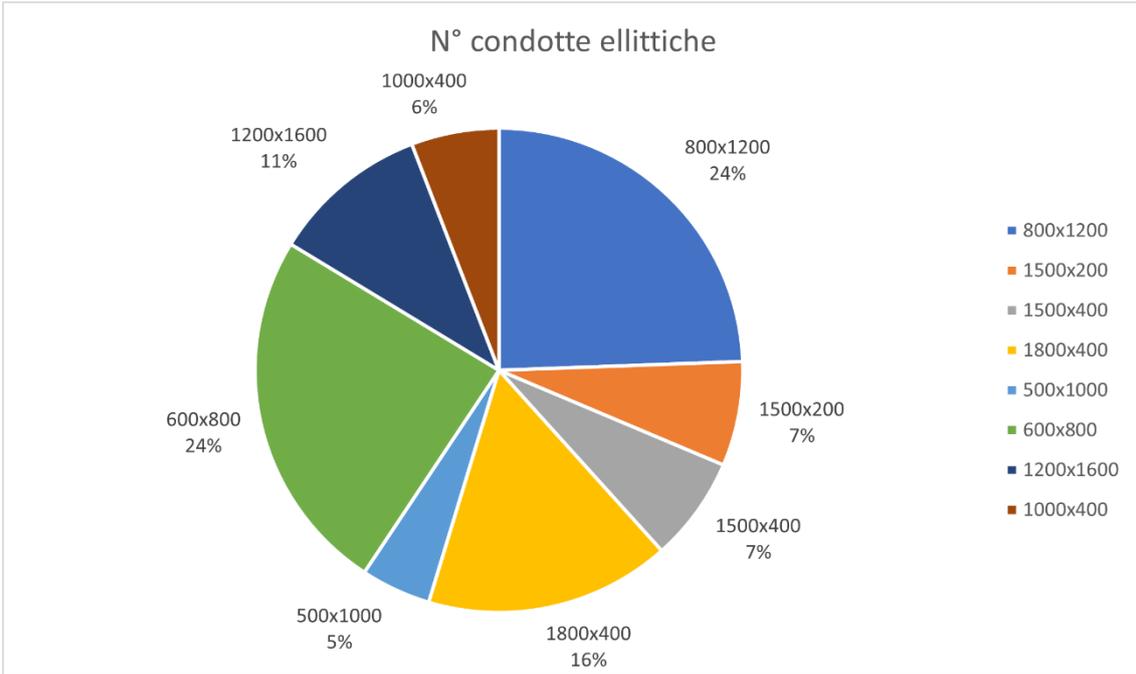


Figura 19-Suddivisione delle condotte ellittiche in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

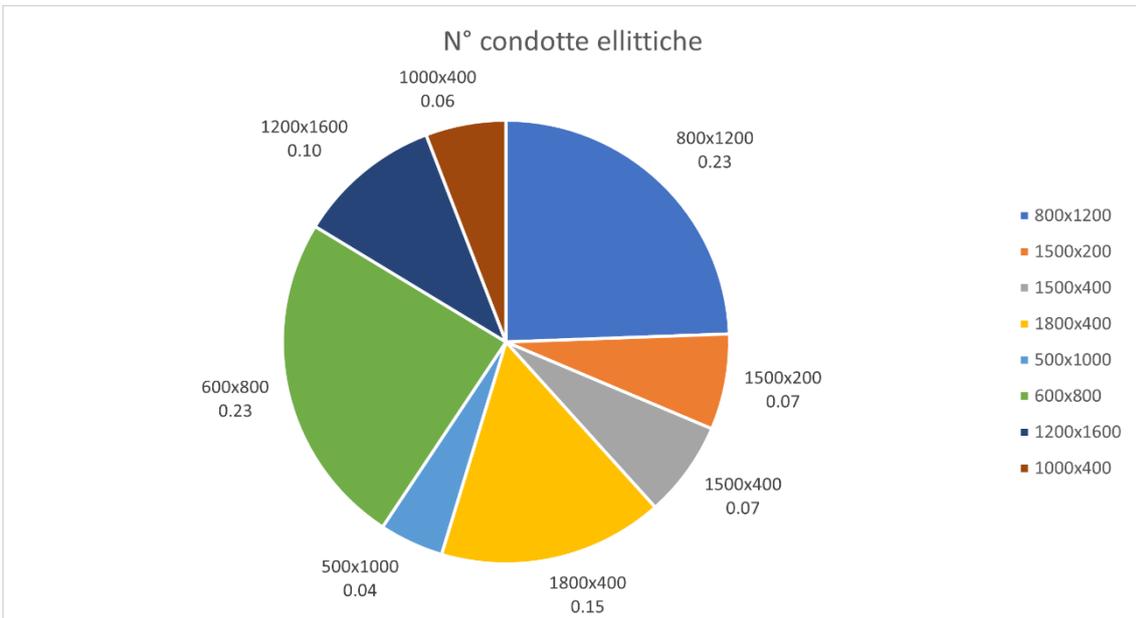


Figura 20-Suddivisione delle condotte ellittiche in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

In figura 19, vengono riportate le numerosità percentuali delle condotte ellittiche riferite al totale delle condotte della stessa tipologia. Invece, per quanto riguarda la figura 20, si riportano le numerosità percentuali delle condotte ellittiche rispetto il totale delle tubazioni che compongono la rete.

Tabella 5-Analisi delle condotte rettangolari suddivise per classi di diametro

Diametro [mm]	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° Condotte	N° Condotte [%]	Lunghezza totale [%]	N° Condotte totale [%]
1350x700	0.04	3.876	1	3.571	0.01	0.04
1300x1700	0.07	6.783	1	3.571	0.02	0.04
500x750	0.31	30.039	10	35.714	0.08	0.39
500x1050	0.005	0.484	1	3.571	0.00	0.04
600x700	0.215	20.833	6	21.429	0.06	0.24
800x800	0.03	2.907	1	3.571	0.01	0.04
900x1500	0.007	0.678	1	3.571	0.00	0.04
900x1700	0.355	34.399	7	25.000	0.09	0.28
TOT	1.032	100.000	28	100.000	0.27	1.10

Dalla tabella 5, si intuisce come le condotte di forma rettangolare siano le meno presenti nella rete, infatti la compongono per meno dell'1%.

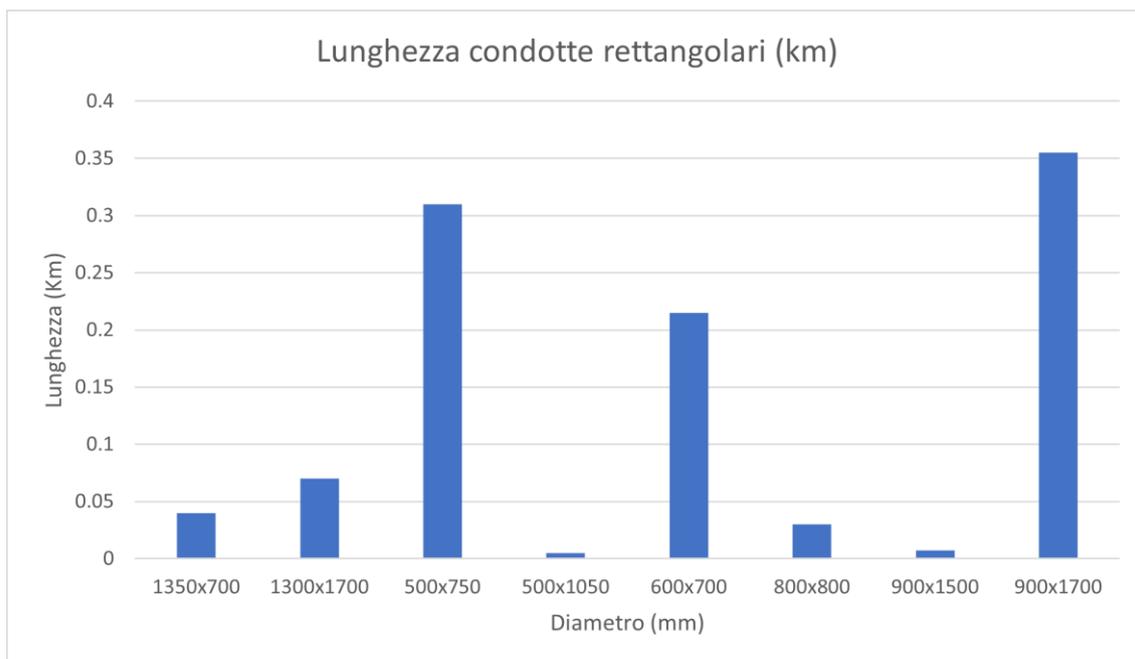


Figura 21-distribuzione in chilometri delle condotte rettangolari suddivise per classi di diametro

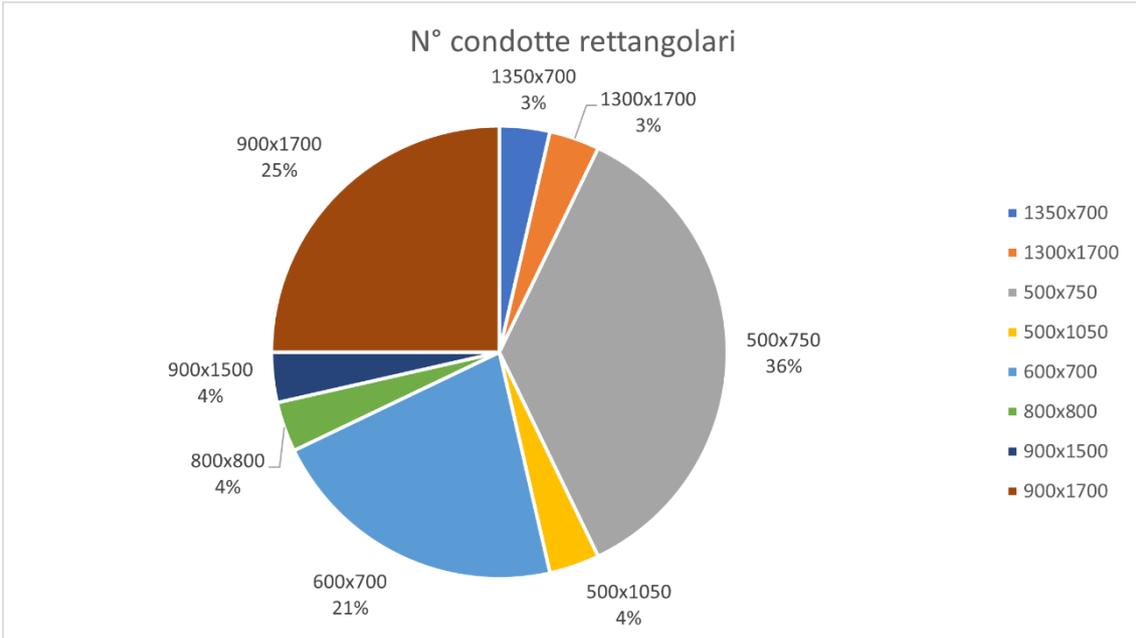


Figura 22-Suddivisione delle condotte rettangolari in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

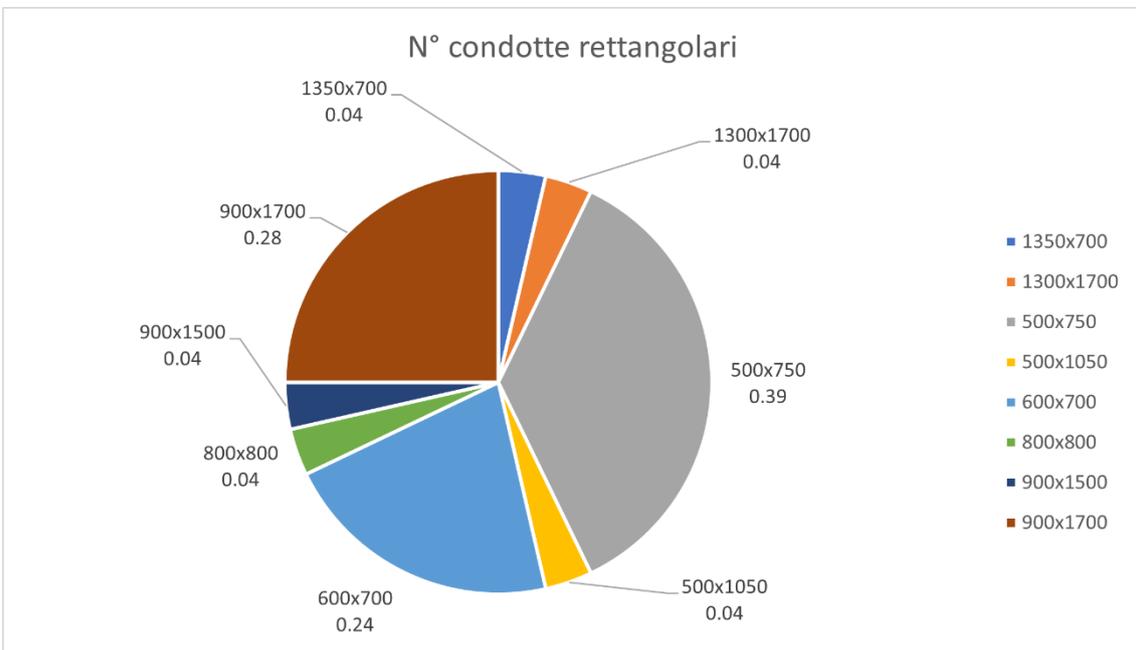


Figura 23-Suddivisione delle condotte rettangolari in classi di diametri e rappresentazione delle percentuali

La figura 22 rappresenta la numerosità in termini percentuali rispetto il totale delle sole condotte rettangolari. Per quanto riguarda la figura 23 invece, si riporta la numerosità in termini percentuali delle condotte rettangolari rispetto il totale delle tubazioni che compongono la rete di drenaggio del comune di Vicenza.

Dai grafici e tabelle sopra riportati è facile constatare come le condotte di forma circolare siano quelle presenti maggiormente nella rete di drenaggio urbano, infatti in termini di lunghezza con 325.77 km, compongono la rete per l'86.5%. Invece in termini di numerosità, con 7691 tubazioni, compongono l'84.6% della rete.

È bene evidenziare inoltre che, nel caso in cui vengano sommati i valori di ogni singola tabella qui sopra riportata sia per i termini di lunghezza che di numerosità percentuale non si raggiunge il valore di 100%. Il valore che si ottiene sommando il totale delle lunghezze percentuali per le condotte circolari (86.5%), ovoidali (4.3%), ellittiche (1.03%) e rettangolari (0.27%) è pari a 92.1%. Il restante 7.9% è legato al fatto che dal database cartografico e dagli archivi della società Viacqua non è possibile risalire alle informazioni di alcune condotte in quanto i dati sono mancanti.

Il discorso è analogo per quanto riguarda le numerosità percentuali totali dove per le condotte circolari (84.6%), ovoidali (4.4%), ellittiche (0.95%) e rettangolari (1.10%), si ottiene un totale di 89.95%.

4.1.2 Materiale

Come si è potuto osservare nel capitolo precedente, la tipologia di materiale influenza in maniera diretta il comportamento delle tubazioni ma soprattutto caratterizza diversi comportamenti di risposta alle varie “aggressioni” che la condotta può subire da parte sia del refluo che vi scorre internamente e sia da fattori esterni. Infatti ogni materiale ha delle proprietà fisiche, chimiche e meccaniche che caratterizzano diversi comportamenti.

I materiali più utilizzati per le reti di drenaggio urbano sono:

- Tipo cementizio (calcestruzzo, calcestruzzo non armato, fibrocemento);
- Tipo ceramico (Grès, argilla, VCP);
- Tipo plastico (PVC, PE).

La scelta di un materiale è legata principalmente alle necessità progettuali (tipologia di fognatura) e a quelle economiche dove un eventuale risparmio comporterebbe la scelta di materiali più economici e, a volte, anche più “deboli”.

Come già visto infatti reflui “aggressivi” deteriorano con maggior facilità condotte non rivestite internamente che non a caso sono le più economiche.

Viene riportata di seguito la tabella (tabella 6), che racchiude la suddivisione delle condotte per classi di materiale, con le percentuali di appartenenza e le lunghezze in chilometri.

Tabella 6-Analisi delle condotte suddivise per classi di materiale

Materiale	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° condotte	N° condotte [%]
CLS	275.98	73.30	6342	69.80
ACC	4.15	1.10	41	0.45
GHISA	6.78	1.80	134	1.47
GRES	30.81	8.18	562	6.19
PE	13.10	3.48	117	1.29
PVC	23.79	6.32	1568	17.26
NON NOTO	21.89	5.81	33	0.36
TOT	376.50	100.00	8797	96.82

È facile osservare dalla tabella 6, come il calcestruzzo (CLS), sia il materiale presente maggiormente nella rete (73.3% in termini di lunghezza). Questo può essere dovuto soprattutto ad un fattore economico.

Seguono poi con l'8.18% il grès e con il 6.32% il PVC, il grès è usato principalmente per le fognature nere, cioè che trasportano reflui più “aggressivi”, ed è un materiale costoso. Per quanto riguarda il PVC principalmente viene utilizzato per gli allacci alla

fognatura da parte di abitazioni e/o caditoie, viene utilizzato anche per i collegamenti tra piccoli pozzetti.

Per quanto riguarda i materiali di tipo metallico (acciaio e ghisa), il loro utilizzo viene spesso associato a tratti di condotte in pressione (stazioni di sollevamento).

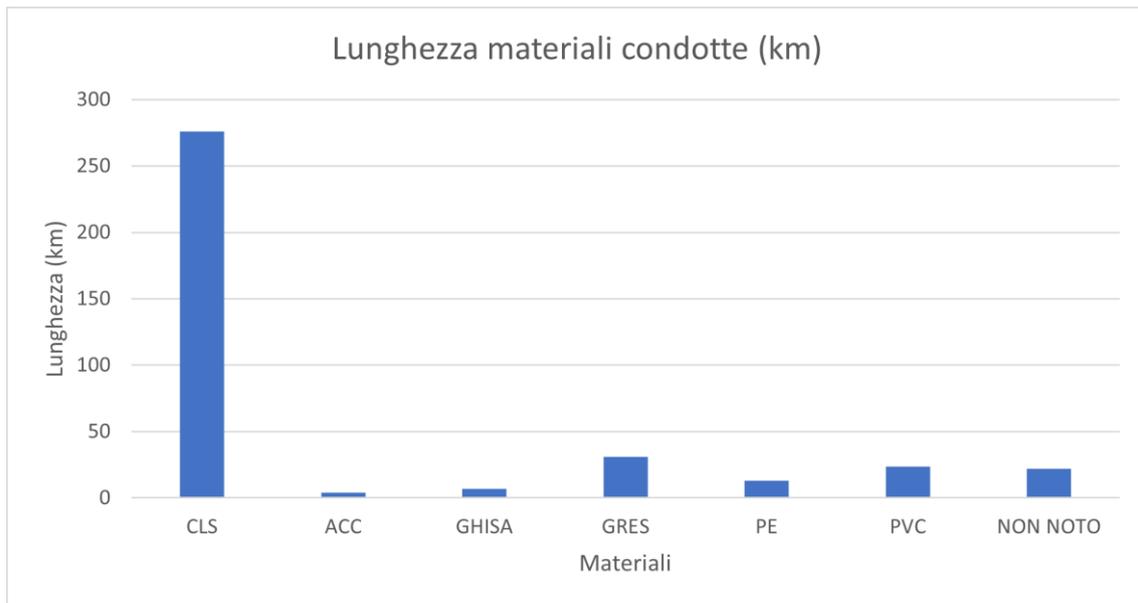


Figura 24-distribuzione in chilometri delle condotte suddivise per classe di materiale

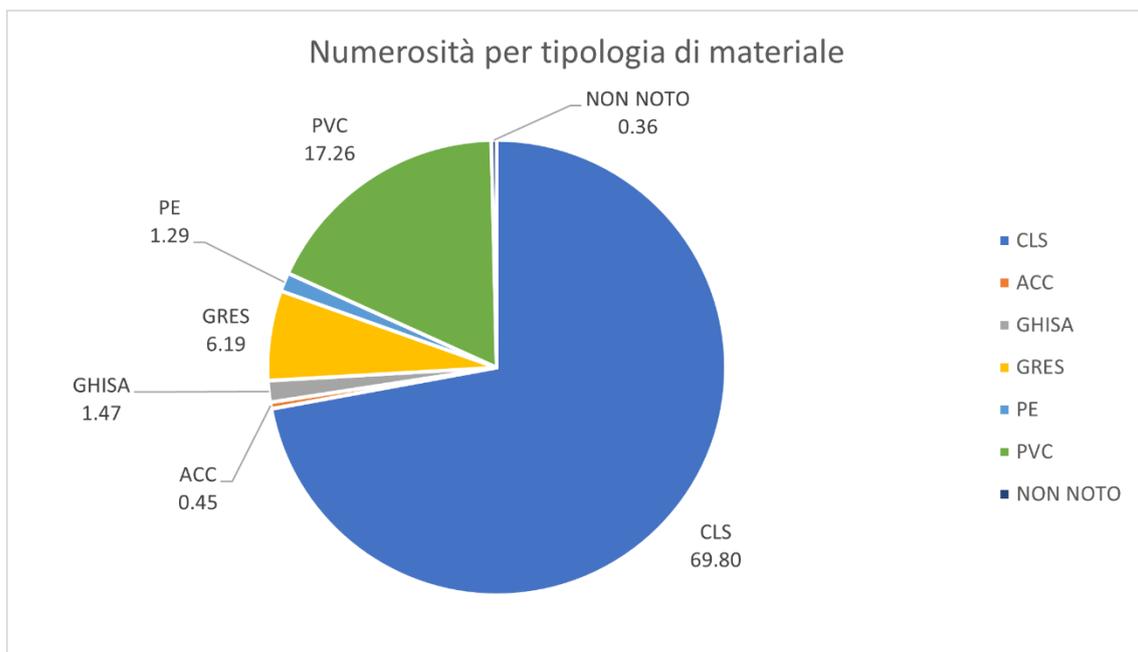


Figura 25-Suddivisione delle condotte per classe di materiale e rappresentazione delle percentuali

4.1.3 Tipologia Fognatura

La tipologia di fognatura come già detto può essere di tre tipi: nera, bianca e mista.

Rappresenta una caratteristica fondamentale per le reti di drenaggio urbano, in quanto proprio in base al tipo di fognatura varia la caratteristica del refluo trasportato e quindi le sue caratteristiche che possono essere più o meno dannose per l'ambiente e/o la condotta stessa.

Reflui trasportati su condotte appartenenti alla fognatura nera e mista necessitano di essere convogliate ad un impianto di trattamento dove, dopo esser state depurate, possono essere rilasciate al corpo idrico superficiale più vicino.

Viene proposta di seguito la tabella 7 che descrive le caratteristiche geometriche della tipologia di fognatura del comune di Vicenza.

Tabella 7-Analisi delle condotte suddivise per tipologia di fognatura

Tipo Fognatura	Lunghezza [km]	Lunghezza [%]	N° Condotte	N° Condotte [%]
Bianca	47.86	12.71	1118	12.30
Nera	97.97	26.02	2249	24.75
Mista	230.67	61.27	5719	62.94
TOT	376.50	100.00	9086	100

È chiaro come la fognatura di tipo misto con il 61.27% della lunghezza totale sia la più diffusa sulla rete di drenaggio urbano comunale. Si può notare però come la fognatura bianca (12.71%) e soprattutto quella nera (26.02%), abbiano percentuali di composizione della rete in termini di lunghezza comunque rilevanti e sono dati destinati a crescere con il passare del tempo in quanto le normative in termini di acque reflue sono via, via sempre più esigenti e prediligono una suddivisione efficace della fognatura.

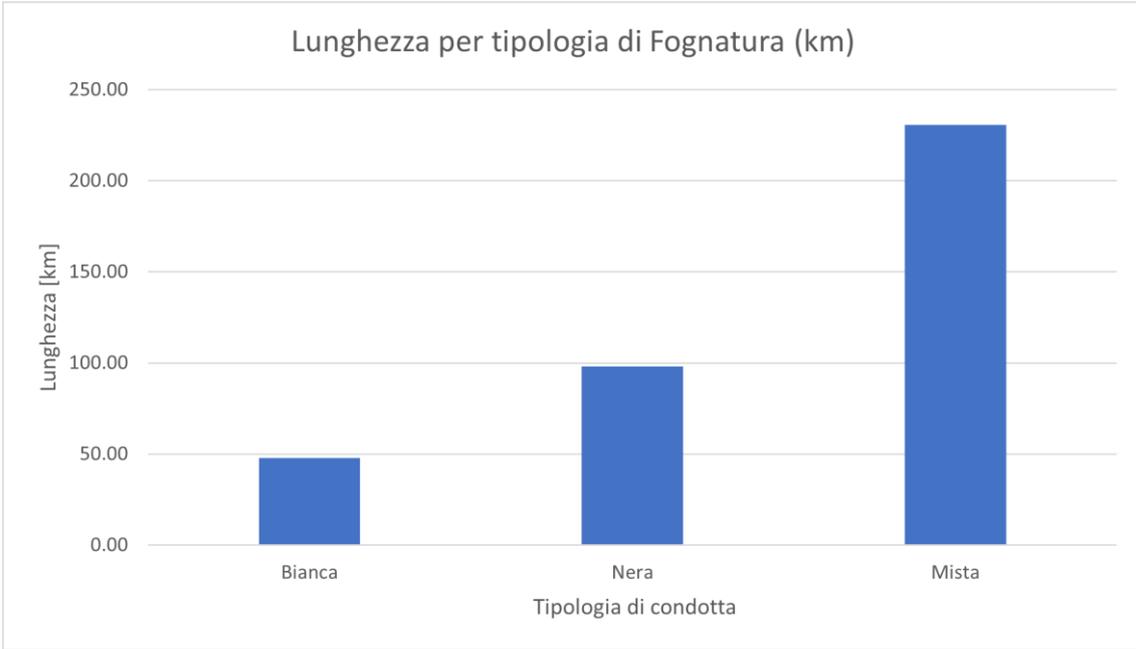


Figura 27-Distribuzione in chilometri delle condotte suddivise per tipologia di fognatura

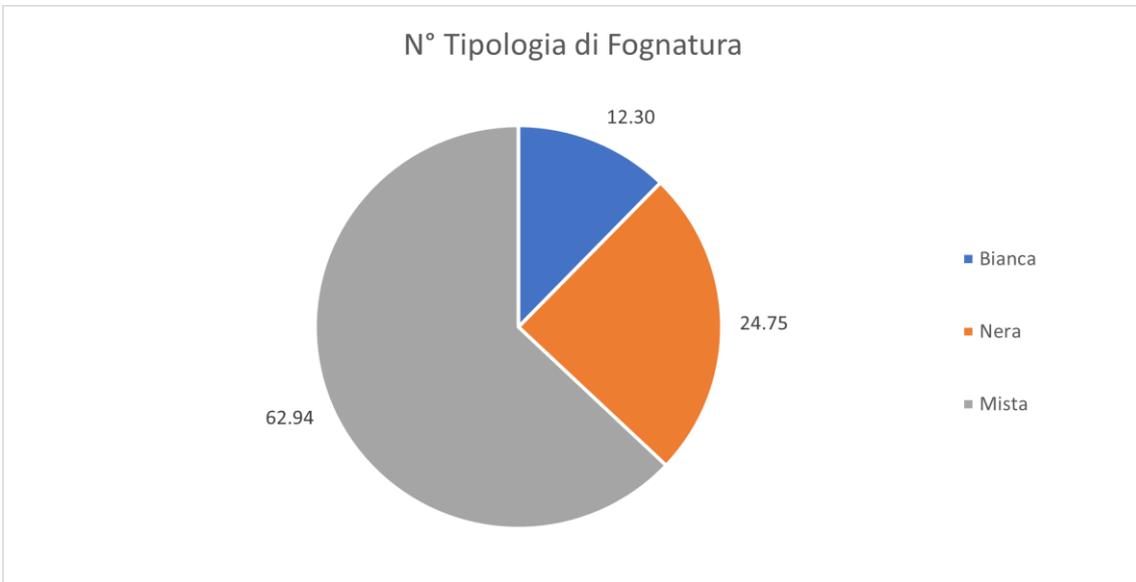


Figura 28- Suddivisione delle condotte per tipologia di fognatura e rappresentazione delle percentuali

4.1.4 Anno di Posa

Per anno di posa si intende l'anno in cui la tubazione è stata posata in trincea e dunque verosimilmente l'anno in cui inizia il suo funzionamento. Si hanno informazioni sull'anno di posa in opera di tutte le tubazioni in quanto come già anticipato è stato associato lo stesso anno di posa delle condotte di acquedotto nel momento in cui dagli archivi o dal portale cartografico non fosse stato possibile stabilirne la data. Per quanto riguarda le lunghezze associate alle date di posa in opera in questo caso non sono state riportate in quanto dal portale cartografico non è stato possibile risalirne in maniera diretta così come è avvenuto per le altre classi (diametro e materiale).

Viene quindi riportata di seguito la tabella 8, che riporta le condotte suddivise per classi di anno di posa (ogni 20 anni).

Tabella 8-Analisi delle condotte suddivise in classi di anno di posa

Ventennio di Posa	N° Condotte	N° Condotte [%]
1895-1915	85	0.94
1915-1935	306	3.37
1935-1955	872	9.60
1955-1975	4128	45.43
1975-1995	501	5.51
1995-2015	2494	27.45
2015>	602	6.63
Sconosciute	98	1.08
TOT	9086	100

I dati in tabella 7 hanno fatto emergere chiaramente come la maggior parte delle condotte (45.43%), sia stata posata in trincea nel ventennio 1955-1975. Questo può essere legato al fatto che in quegli anni si è verificato un vero e proprio “boom edilizio”.

Infatti, il patrimonio edilizio italiano aumentò in maniera sproporzionata nel dopoguerra. Tanto che, nel 1951 erano stati costruiti 10,7 milioni di abitazioni che via, via si videro raddoppiare fino al 1991 raggiungendo la cifra di 19,7 milioni di unità.

È logico pensare quindi che, se c'è un'edificazione quest'ultima comporta alla necessità di avere una rete idrica e di drenaggio urbano che garantisca un servizio alla popolazione che in quegli anni era in continua crescita.

Lo si può infatti osservare facilmente anche dai grafici di figura 28 e figura 29.

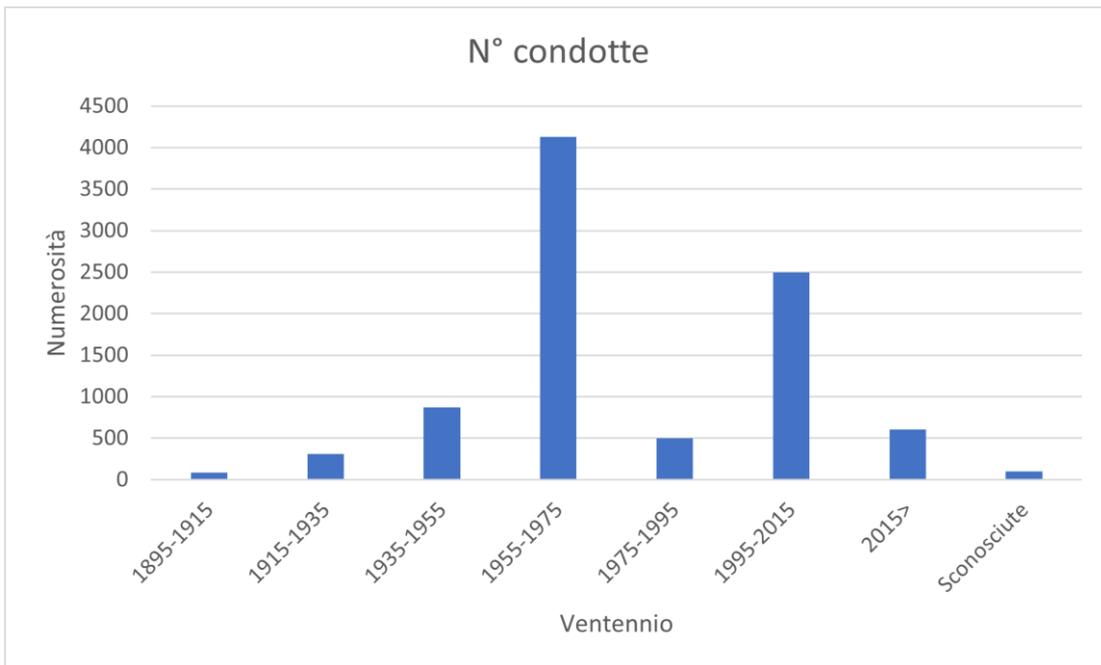


Figura 28- Numerosità delle condotte suddivise per anno di posa

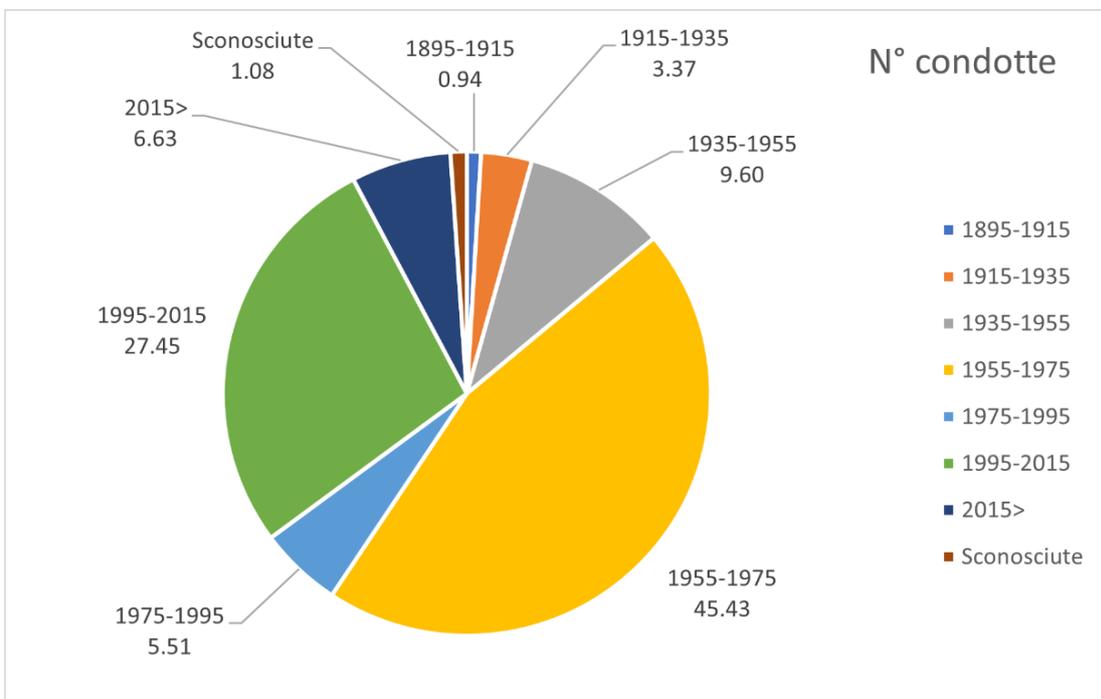


Figura 29-Suddivisione delle condotte per anno di posa e rappresentazione delle percentuali

4.2 Conclusioni

In questo capitolo è stata riportata e analizzata la rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza, prendendo in esame i dati messi a disposizione dall'ente gestore (Viacqua spa), riguardanti diametro, materiale, tipologia di fognatura e anno di posa dei collettori della rete fognaria.

Da questa analisi iniziale è emerso che i materiali predominanti sono in ordine: calcestruzzo (70%), PVC (17.3%) e grès (6.2%).

L'84.65% delle tubazioni sono di forma circolare con DN250-400, DN100-250 e DN550-700 prevalenti.

Con il 61.27 % della lunghezza totale e il 62.94 % della numerosità totale, le condotte adibite alla fognatura di tipo misto sono le principali della rete di drenaggio comunale.

Infine, il dato sulle pose in opera ha fatto emergere che il 45.43% delle tubazioni risale al ventennio 1955-1975 mentre il 27.45% a quello 1995-2015.

CAPITOLO 5

Analisi delle Rotture

5.1 Voragini fognarie

Dall'analisi condotta sul comune di Vicenza nel periodo di osservazione 2014 – settembre 2021, sono state identificate ben 270 casistiche di rottura fognaria.

Queste rotture prendono il nome di voragine in quanto capita spesso che il guasto della tubazione inneschi un meccanismo erosivo del terreno posto sopra la condotta che, con il passare del tempo, si manifesta come una vera e propria voragine in superficie.

Nella figura 30 è possibile osservarne un esempio.



Figura 30- Voragine fognaria in Via Parini (VI), fonte Viacqua spa

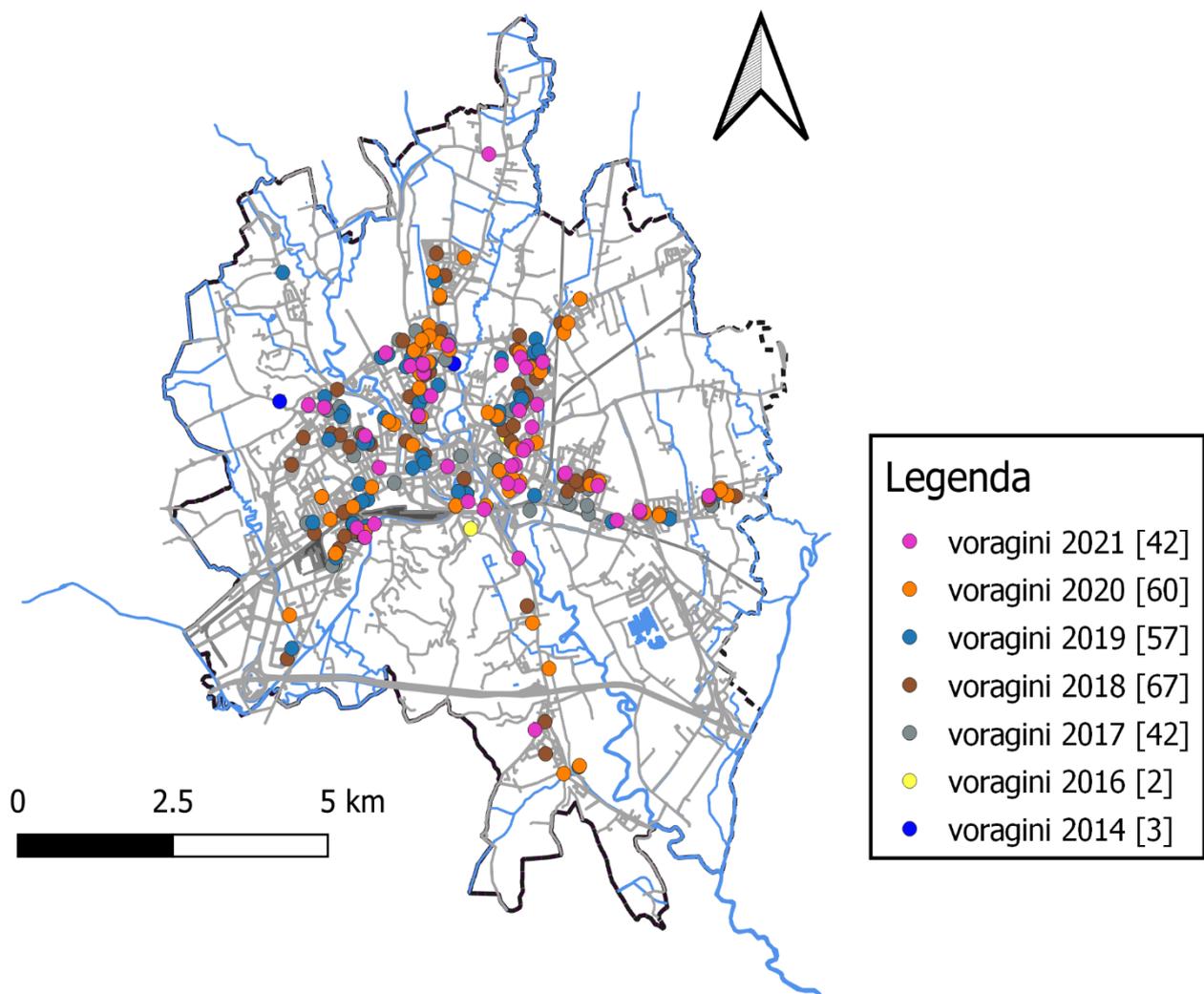


Figura 31- Rappresentazione cartografica delle voragini avvenute nel comune di Vicenza

Nella figura 31 si può osservare la progressione e la distribuzione negli anni dei fenomeni di voragini fognarie nel territorio comunale con le zone della città più soggette. In realtà, nel corso delle analisi sulle rotture avvenute in questi 8 anni è stato riscontrato che i guasti siano 270 e non 273 come riportato nella rappresentazione cartografica di figura 31. Ciò è dovuto al fatto che durante l'analisi dei dati raccolti è stato scoperto che tre dati di rotture identificati come voragini non erano in realtà dovuti a un guasto nella rete di drenaggio urbano ma derivanti da altri fattori e non sono stati quindi considerati nello studio.

Sempre dalla figura 31 si nota come quello delle voragini nel comune di Vicenza sia un problema di grande importanza. Infatti, si vede chiaramente come negli anni il numero di rotture delle condotte sia via via aumentato fino a raggiungere un livello medio di quasi 50 rotture l'anno negli ultimi 4 anni.

5.2 Analisi del Tasso di Fallanza

Analizzando le rotture avvenute lungo la rete di drenaggio urbano oggetto dello studio è possibile fare alcune considerazioni con l'obiettivo di capire a cosa sia dovuto l'aumento dei casi di voragine negli ultimi anni.

A tale scopo di seguito verranno riportati e analizzati dati, in corrispondenza del numero di rotture, riguardanti vari fattori che possono appunto in un qualche modo incidere sul guasto delle condotte come: pioggia cumulata (settimana antecedente la rottura), quota di falda, quota posa in opera e quota estradosso, anno di posa, diametro (forma sezione), materiale e tipologia di fognatura. Con lo scopo di calcolarne il tasso di rottura (tasso di fallanza) e riuscire a capire quali condotte o tratta di rete siano più o meno soggette a rottura.

5.2.1 Calcolo del Tasso di Rottura

Il tasso di rottura o tasso di fallanza è un indicatore che permette di valutare le prestazioni delle condotte idriche (fognatura e acquedotto). Fa capire attraverso i suoi risultati come si possano attuare misure di miglioramento della rete idrica e/o di drenaggio.

L'equazione alla base del metodo è la seguente:

$$\Delta(\text{tasso di rottura}) = \frac{N}{L * T}$$

Dove:

- N è il numero di rotture;
- L è la lunghezza della rete e/o condotta (espressa in km);
- T è il periodo di osservazione (espresso in anni).

Quindi dimensionalmente l'espressione sarà:

$$\Delta = \frac{N^{\circ} \text{ rotture}}{\text{km} * \text{anno}}$$

Il tasso di rottura è stato eseguito suddividendo in classi i diametri (forma sezione delle condotte), i materiali e la tipologia di fognatura. Per prima cosa sono state suddivise le condotte nelle categorie appena citate, successivamente per ogni classe è stata calcolata la lunghezza complessiva delle condotte e il numero di rotture che le appartengono per poi applicare la relazione del tasso di rottura ottenendo così il tasso di fallanza per ogni classe.

5.2.2 Numero di Rotture

L'analisi condotta riguarda le rotture avvenute in un periodo di 8 anni dal 2014 a settembre 2021. I dati raccolti derivano sia da supporto informatico che cartaceo, la combinazione di entrambi gli strumenti ha permesso di rilevare dati come ad esempio diametri o materiali, che attraverso il solo metodo informatico (geo portale), non era possibile ottenere.

Come già detto inizialmente le voragini avvenute in questo periodo sono state 273, dopo alcune verifiche ed accertamenti i casi confermati in questi 8 anni di osservazione risultano essere 270 e vengono riportati di seguito in figura 32.

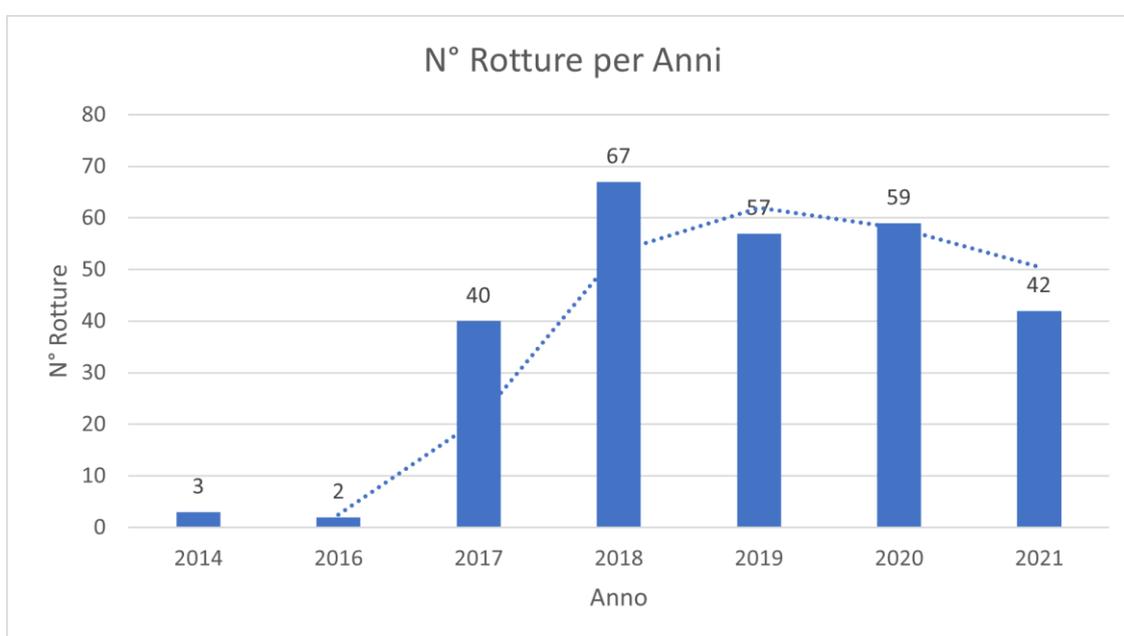


Figura 32-Andamento delle rotture della rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza nel periodo di osservazione 2014-2021

Inoltre, è stato verificato come le rotture non abbiano interessato la sola rete in esame ma anche sfioratori e allacci (fognoli o tubazioni di collegamento a zone interne residenziali). La ripartizione delle rotture è avvenuta come riportato in tabella 9.

Tabella 9- Suddivisione in classi di rete delle rotture

Tipo di Condotta	N° Rotture
Tratta di Rete	250
Allaccio	19
Sfioratore	1

Per semplicità di analisi e calcolo la rottura avvenuta nello sfioratore viene considerata nel gruppo di rotture di tratta di rete. Dunque, si avranno 251 rotture avvenute sulla tratta di rete e 19 sugli allacci. Di seguito vengono quindi riportate le tabelle con le rotture e i relativi tassi di fallanza suddivisi prima per tratta di rete e allacciamenti e successivamente, in tabella 12, attraverso una considerazione complessiva di tutta la rete.

Tabella 10-suddivisione del numero totale di rotture per tubazioni di tratta di rete (a) e allacciamenti (b)

Anno di Osservazione	Rotture in Rete	Rotture [%]
2014	3	0.033
2015	0	0.000
2016	2	0.022
2017	35	0.385
2018	62	0.682
2019	54	0.594
2020	56	0.616
2021	39	0.429
Media	31.38	0.345

Anno di Osservazione	Rotture Allaccio	Rotture [%]
2014	0	0.000
2015	0	0.000
2016	1	0.000
2017	5	0.055
2018	5	0.055
2019	3	0.033
2020	2	0.022
2021	3	0.033
Media	2.38	0.025

Si può capire come il fenomeno oggetto dello studio abbia interessato principalmente la sola tratta di rete in maniera progressiva negli anni. Infatti, le rotture avvenute sugli allacciamenti hanno percentuali di rotture molto basse.

Tabella 11- Calcolo del tasso di fallanza per la rete fognaria del comune di Vicenza

Anno	Lunghezza [km]	N° Rotture	Rotture / km	Rotture / km*anno
2014	376.502	3	0.0080	0.0010
2015	376.502	0	0.0000	0.0000
2016	376.502	2	0.0053	0.0007
2017	376.502	40	0.1062	0.0133
2018	376.502	67	0.1780	0.0222
2019	376.502	57	0.1514	0.0189
2020	376.502	59	0.1567	0.0196
2021	376.502	42	0.1116	0.0139
Media	376.502	33.75	0.0896	0.0112

Di seguito in figura 33 viene riportato l'andamento del tasso di fallanza della rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza lungo gli anni di osservazione.

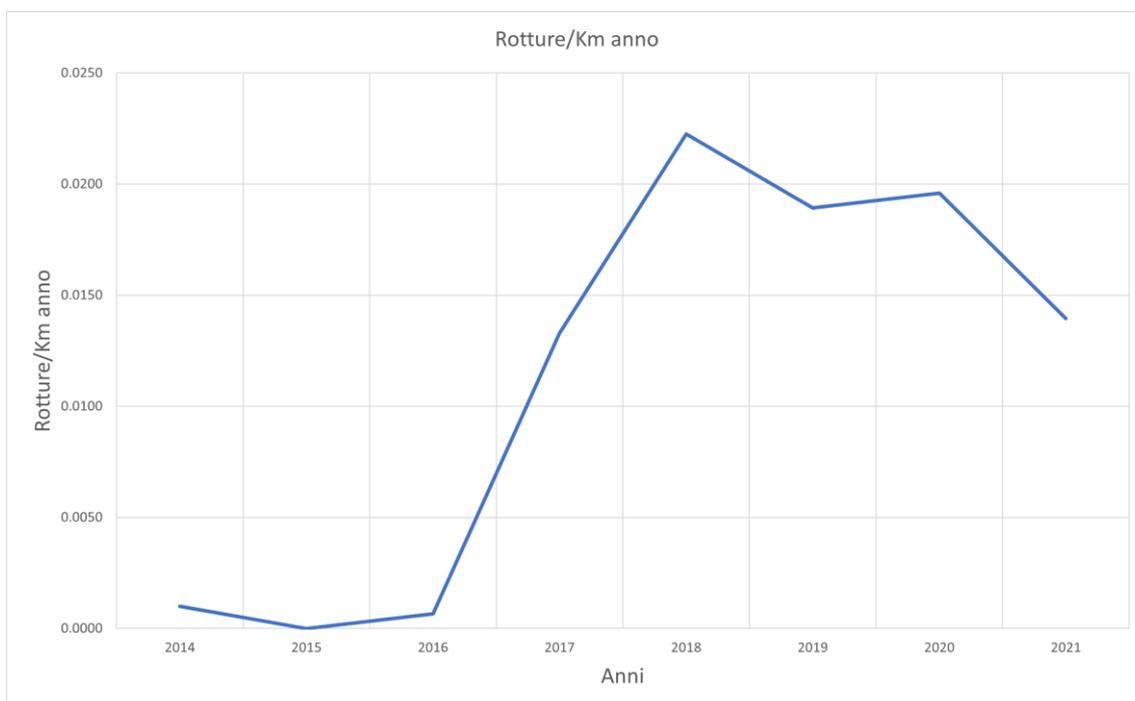


Figura 33-Andamento del tasso di fallanza della rete di drenaggio urbano di Vicenza nel periodo di osservazione 2014-2021

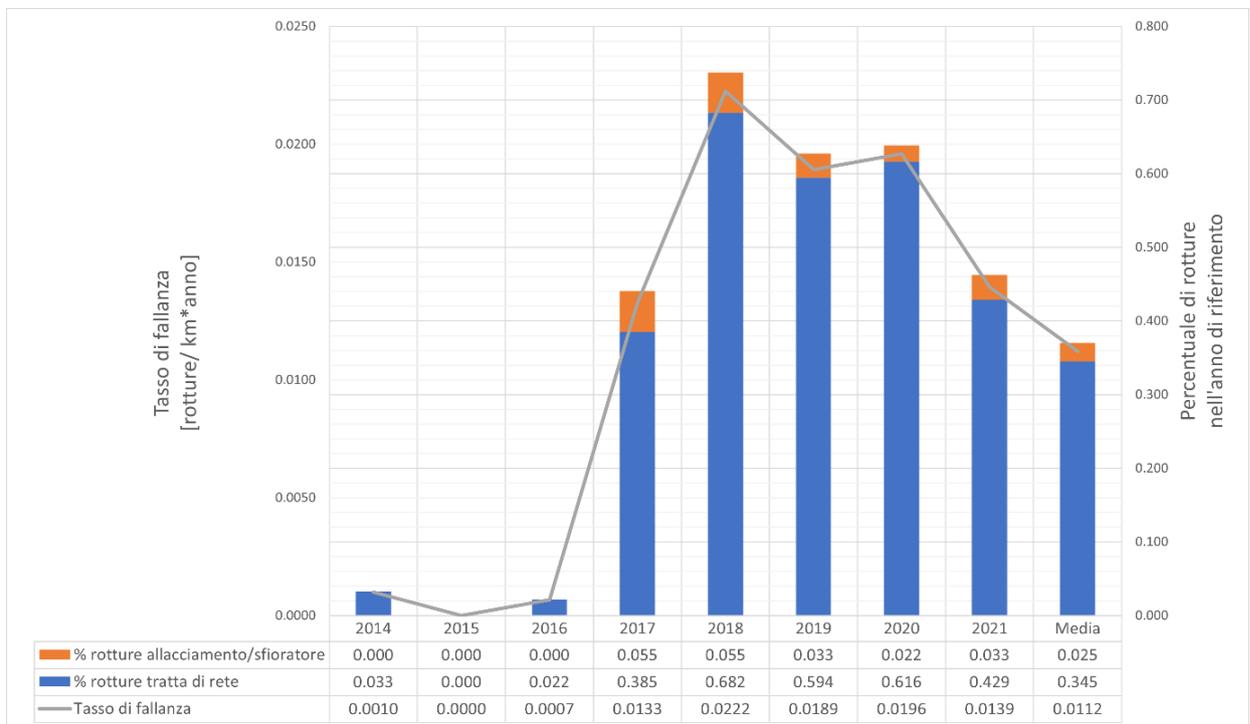


Figura 34- Combinazione dell'andamento del tasso di fallanza con la distribuzione delle percentuali di rotture delle tubazioni suddivise in allacciamenti e tratta di rete nei periodi di osservazione 2014-2021

Osservando il grafico di figura 34, si capisce subito come la maggior parte delle rotture sia avvenuta sulle condotte appartenenti alla sola tratta di rete. Infatti, si possono osservare piccolissimi tassi di fallanza per quanto riguarda gli allacciamenti, un dato prevedibile se si pensa al semplice fatto che le rotture per gli allacci alla rete sono state solo 19 su un totale di 270 guasti.

Altro fattore che può suscitare interesse è la pendenza della linea che rappresenta il tasso di fallanza che dall'anno 2016 in cui aveva un valore prossimo allo zero ha raggiunto un tasso di 0.2 rotture al chilometro.

La pendenza della linea del tasso di rottura è sicuramente legata anche al fatto che dal 2016 in avanti le rotture annuali hanno raggiunto un valore medio di circa 55 rotture l'anno fino al 2020 per poi calare nel 2021 con 42 rotture.

5.2.3 Calcolo del Tasso di Rotture – Tipologia Fognatura

Si procede con l'analisi in merito alla tipologia della fognatura.

Di norma le reti di fognatura possono essere di tre tipi: nera, bianca e mista.

La tipologia è strettamente legata al tipo di refluo che la condotta dovrà trasportare e come già detto, le fognature nere richiedono investimenti economici più alti rispetto le altre due categorie sopracitate.

Di seguito in tabella 12 vengono riportate le rotture suddivise per tipologia di fognatura.

Tabella 12-Calcolo del tasso di fallanza per tipologia di fognatura dell'intera rete per il periodo di osservazione 2014 - 2021

Tipologia Fognatura	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/ km	N° Rotture / km * anno
Bianca	2	47.86	0.005	0.001
Nera	9	97.97	0.024	0.003
Mista	259	230.67	0.688	0.086
TOT	270	376.50		

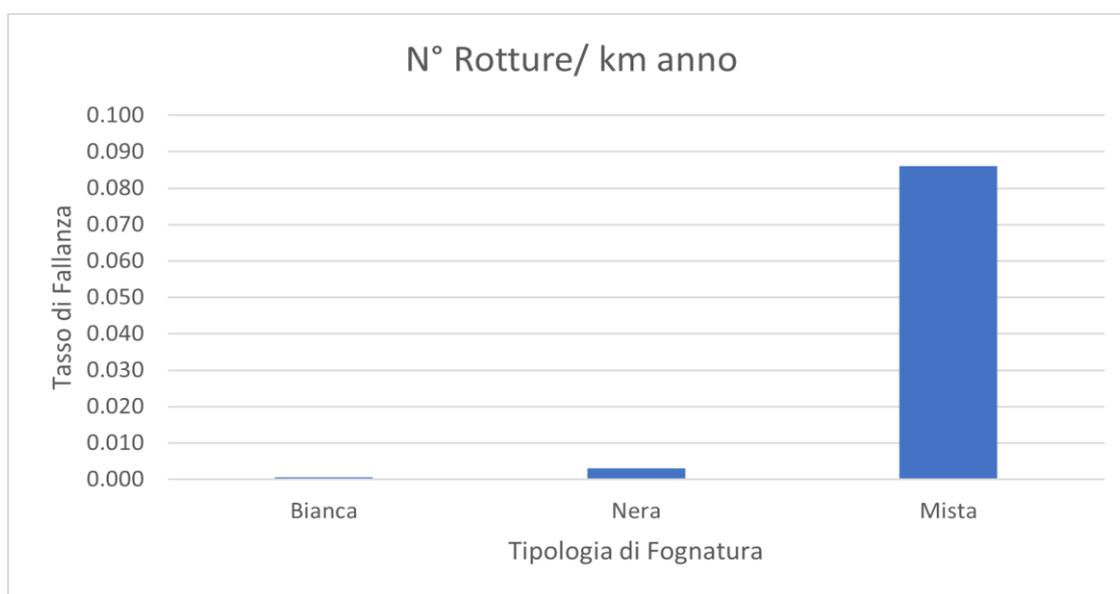


Figura 35-Andamento del tasso di fallanza per tipologia di fognatura dell'intera rete nel periodo di osservazione 2014 – 2021

È possibile notare subito come la fognatura bianca abbia un tasso di fallanza prossimo allo zero, essa infatti presenta solo 2 rotture circa lo 0.74% del totale. Discorso analogo lo si può fare per quanto riguarda la fognatura nera che con sole 9 rotture su 270 totali presenta un tasso di fallanza di 0.003 anch'esso prossimo allo zero.

Il tasso di fallanza più alto lo presentano le condotte di fognatura appartenenti alla rete di tipo misto che con un tasso di circa 0.1 e 259 rotture si posizionano al primo posto tra le condotte più soggette.

Ciò è sicuramente legato al fatto che la maggior parte della rete di drenaggio urbano di Vicenza è di tipo misto; infatti, la rete mista rappresenta il 61.27% del totale.

5.2.4 Calcolo del Tasso di Rotture – Diametro

Verrà ora trattato l'andamento del tasso di fallanza in relazione al diametro delle condotte. È bene segnalare che delle 270 casistiche di rotture non è stato possibile analizzarle tutte, in quanto dal database cartografico non è stato possibile risalire né alla forma né al diametro di alcune condotte.

I diametri che sono stati soggetti a rottura e di cui verrà quindi calcolato il tasso di fallanza sono legati al tipo di sezione. Tra le 270 rotture verificate sono state studiate le seguenti sezioni: circolare, ovoidale, ellittiche e rettangolari.

Vengono quindi calcolati i tassi di fallanza suddivisi per forma di sezione.

Tabella 13-Calcolo del tasso di fallanza dei diametri delle condotte circolari della rete nel periodo di osservazione 2014 - 2021

DN [mm]	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/ km	N° Rotture / km * anno
160	1	8.301	0.003	0.000
200	2	9.416	0.005	0.001
250	1	29.691	0.003	0.000
300	13	11.396	0.035	0.004
400	63	61.845	0.167	0.021
500	56	46.606	0.149	0.019
600	51	63.977	0.135	0.017
700	4	10.336	0.011	0.001
800	7	25.594	0.019	0.002
1000	1	11.474	0.003	0.000
1200	1	3.382	0.003	0.000
1300	2	6.051	0.005	0.001
1500	1	4.260	0.003	0.000
1700	2	0.675	0.005	0.001
TOT	205	293.006		

Dalla tabella 13 è possibile capire subito come le condotte di forma circolare siano quelle che hanno subito più rotture (205), ciò è anche legato al fatto che sono le più presenti sull'intera rete. Si può inoltre notare come al crescere del diametro le rotture diminuiscano infatti, la maggior parte delle rotture si hanno per diametri compresi tra i 300 e i 600 (mm).

Dal solo numero di rotture non è possibile affermare la vulnerabilità di una condotta rispetto un'altra, si può semplicemente constatare che il DN400 con 63 casi di rottura è quello che ha presentato più guasti. Si può quindi eseguire un solo confronto numerico.

Per capire la vulnerabilità della singola condotta è necessario considerare non più la lunghezza totale della rete (376.5 km), bensì le lunghezze per tipologia di condotta e diametro.

Se per esempio prendessimo le tre condotte circolari più soggette al fenomeno e le confrontassimo:

- DN400, N° Rotture 63, Lunghezza 61.845 km. Si otterrebbe un N° Rotture / km pari a 1.02;
- DN500, N° Rotture 56, Lunghezza 46.606 km. Si otterrebbe un N° Rotture / km pari a 1.2;
- DN600, N° Rotture 51, Lunghezza 63.977 km. Si otterrebbe un N° Rotture / km pari a 0.8.

È facile quindi capire come in realtà il solo numero di rotture non possa fornirci un dato valido se preso singolarmente. Infatti, confrontando i tre diametri che hanno presentato più rotture, il DN500 è quello con il tasso di vulnerabilità più elevato (1.2), pur non avendo il numero di rotture più elevato dei tre elementi confrontati.

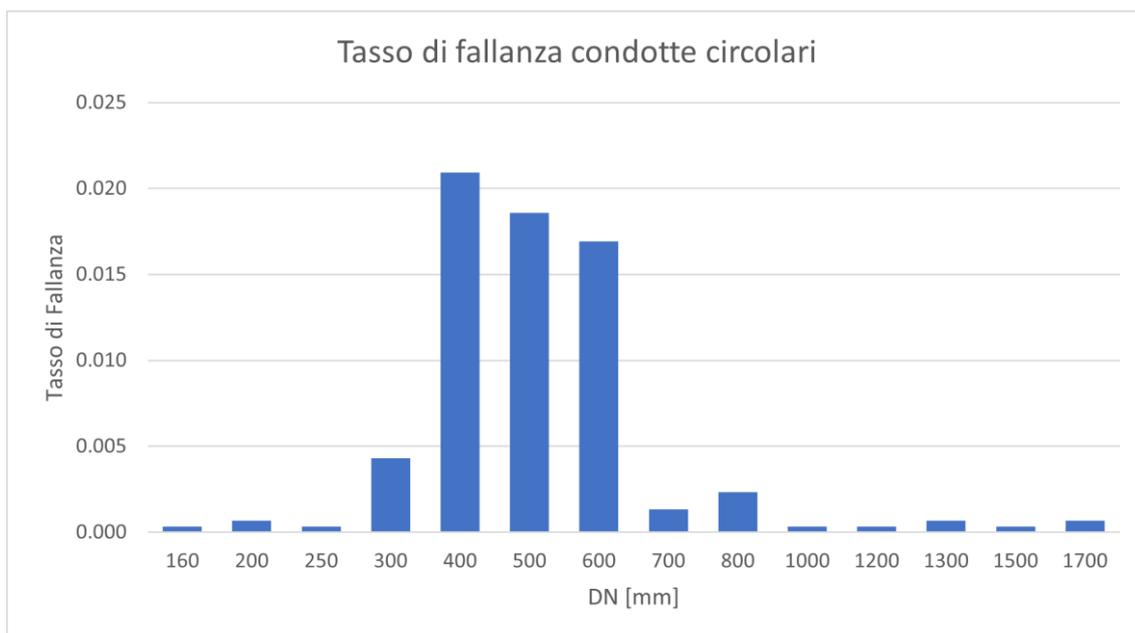


Figura 36-Andamento del tasso di fallanza per classi di diametro delle condotte circolari nel periodo di osservazione 2014-2021

Di seguito vengono proposte le analisi sul tasso di fallanza per condotte ovoidali, ellittiche e rettangolari.

Tabella 14-Calcolo del tasso di fallanza dei diametri delle condotte ovoidali della rete nel periodo di osservazione 2014 - 2021

DN [mm]	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/ km	N° Rotture / km * anno
600x900	12	2.99	0.032	0.004
700x1050	18	7.39	0.048	0.006
800x1200	6	4.16	0.016	0.002

Anche in questo caso è possibile, osservando tabella 14, fare un discorso analogo a quello delle condotte circolari. Confrontando infatti i DN600x900 e DN700x1050, il primo presenta 12 rotture, mentre il secondo ne presenta 18. Se si considerasse la lunghezza singola si otterrebbe:

- DN600x900, 12 rotture, 2.99 km e un N° rotture/ km pari a 4.01;
- DN700X1050, 18 rotture, 7.39 km e un N° rotture/km pari a 2.44.

Quindi le condotte ovoidali di DN600x900 anche se presentano meno rotture hanno una vulnerabilità più alta.

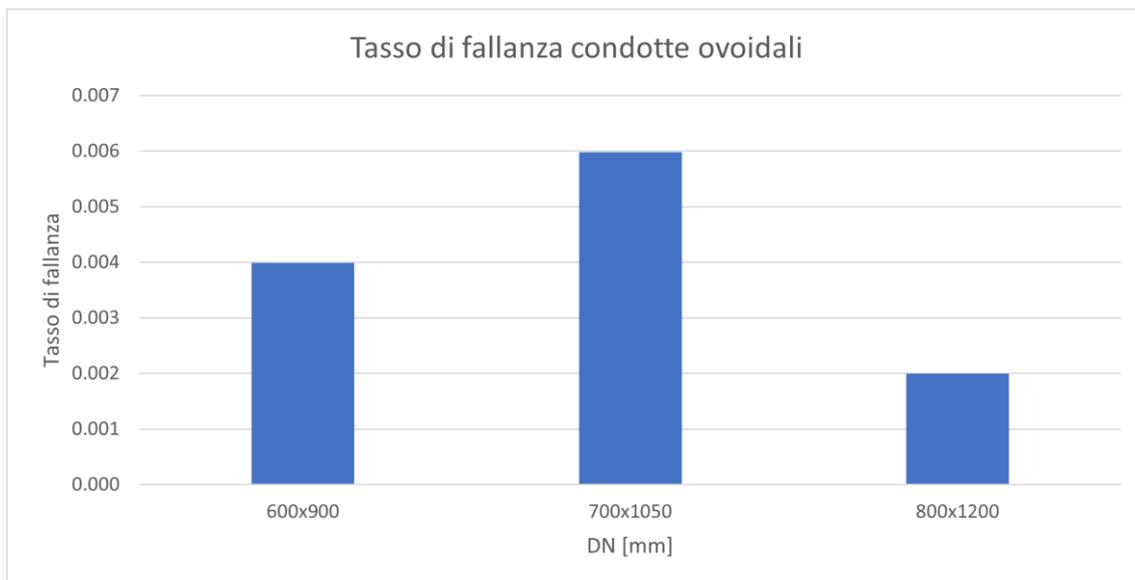


Figura 37-Andamento del tasso di fallanza per classi di diametro delle condotte ovoidali nel periodo di osservazione 2014-2021

Per quanto riguarda le rotture avvenute sulle condotte ellittiche (a) e rettangolari (b) di seguito vengono riportati i rispettivi dati e tassi di fallanza.

Tabella 15- Calcolo del tasso di fallanza dei diametri delle condotte ellittiche (a) e rettangolari (b) della rete nel periodo di osservazione 2014 - 2021

DN [mm]	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/km	N° Rotture / km * anno	(a)
1200x1600	1	0.39	0.003	0.0003	
600x800	1	0.76	0.003	0.0003	

DN [mm]	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/km	N° Rotture / km * anno	(b)
600x700	1	0.215	0.003	0.0003	

5.2.5 Calcolo del Tasso di Rotture – Materiale

In questo paragrafo viene riportata l'analisi del tasso di rottura svolta sui materiali.

Principalmente le condotte che compongono la rete, come già visto, sono di forma circolare e di materiali di tipo cementizio.

La prevalenza di questo tipo di materiale è legata al fatto che dai primi del 900' non si avevano conoscenze adeguate allo sviluppo di altri materiali più tecnologici e prestanti. Per questo motivo la maggior parte delle condotte, che ancora oggi risiede nella rete di drenaggio urbano, sono di calcestruzzo in fibrocemento dove l'amianto è la fibra più utilizzata.

Successivamente negli anni grazie allo sviluppo industriale e tecnologico, vennero scoperti nuove tipologie di materiale più prestante come, ad esempio, il grès (largamente utilizzato per le fognature di tipo nero), materiali plastici più efficienti (PVC, PE) e nuovi composti cementizi che rendono le condotte circolari in calcestruzzo meno vulnerabili ad aggressioni interne ed esterne.

Per comprendere al meglio la vulnerabilità di un materiale è necessario utilizzare lo stesso metodo adottato per quanto riguarda il diametro. Le tubazioni soggette a rottura sono state quindi suddivise in classi di materiale e sono state calcolate le lunghezze e le occorrenze delle rotture di ogni classe.

I risultati ottenuti sono riportati in tabella 16.

Tabella 16-Calcolo del tasso di fallanza dei materiali presenti nella rete per il periodo di osservazione 2014-2021

Tipologia Materiale	N° Rotture	Lunghezza [km]	N° Rotture/ km	N° Rotture / km * anno
CLS	245	275.9763	0.651	0.081
GRES	4	30.8118	0.011	0.001
MATTONI	3	20.6139	0.008	0.001
PE	13	11.7926	0.035	0.004
PVC	5	23.7940	0.013	0.002

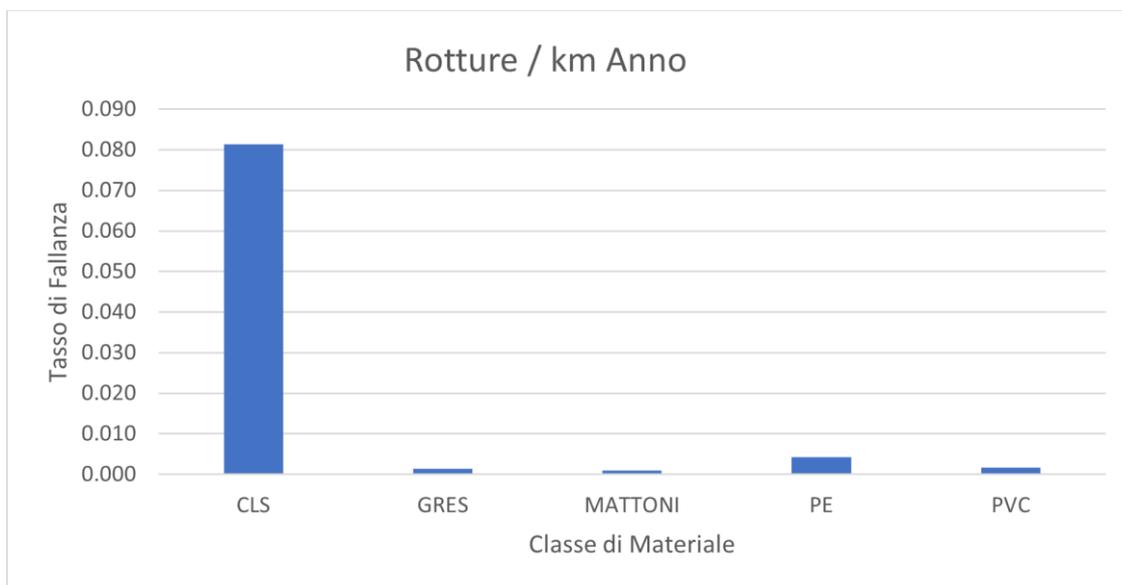


Figura 38-Andamento del tasso di fallanza per classi di materiale delle condotte nel periodo di osservazione 2014-2021

Dal confronto combinato tra tabella 16 e figura 38, si intuisce chiaramente come le condotte in calcestruzzo (CLS), siano le più soggette a rottura durante il periodo di osservazione. Esse presentano un tasso di fallanza prossimo a 0.1 pur avendo una grande estensione in termini di chilometri.

Questo può essere legato al fatto che molte condotte in calcestruzzo siano obsolete o non composte da materiali di ottima qualità, il quale le rende molto più vulnerabili rispetto le condotte di altre tipologie di materiale che presentano tassi di rottura molto più bassi.

Sempre osservando la tabella 16 si può capire come in termini di estensione le altre tipologie di materiale siano meno presenti in rete, come ad esempio il grès. Questo può essere legato ad un fattore temporale, infatti, storicamente le prime tubazioni di fognatura erano prettamente in calcestruzzo.

5.3 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato

In questa sezione verranno analizzate le rotture in riferimento a diversi dati come:

- pioggia cumulata (settimana antecedente la rottura);
- quota di posa e quota estradosso;
- quota di falda;
- anno di posa in opera.

Questa sezione risulta diversa dalle precedenti in quanto non è stato possibile risalire in maniera precisa alle lunghezze in termini di chilometri dei dati delle condotte così come è avvenuto per tipologia, diametro e materiale.

Vengono quindi riportati i dati in termini di unità di misura dell'oggetto in questione per numero di rotture, in modo tale da poter comunque applicare un ragionamento sui dati a disposizione.

5.3.1 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Pioggia Cumulata

Il primo elemento che viene analizzato per questa categoria è la pioggia cumulata, questo dato deriva dai registri ARPAV per l'anno di riferimento in cui è avvenuta la voragine. Lo scopo è quello di calcolare la pioggia al suolo in mm, cumulata la settimana antecedente la constatazione dell'avvenuta rottura, con l'obiettivo di capire se questo dato sia una quantità eccessiva rispetto la media tale da causare il funzionamento in pressione (funzionamento critico), o a pelo libero (funzionamento ideale), di una condotta di fognatura.

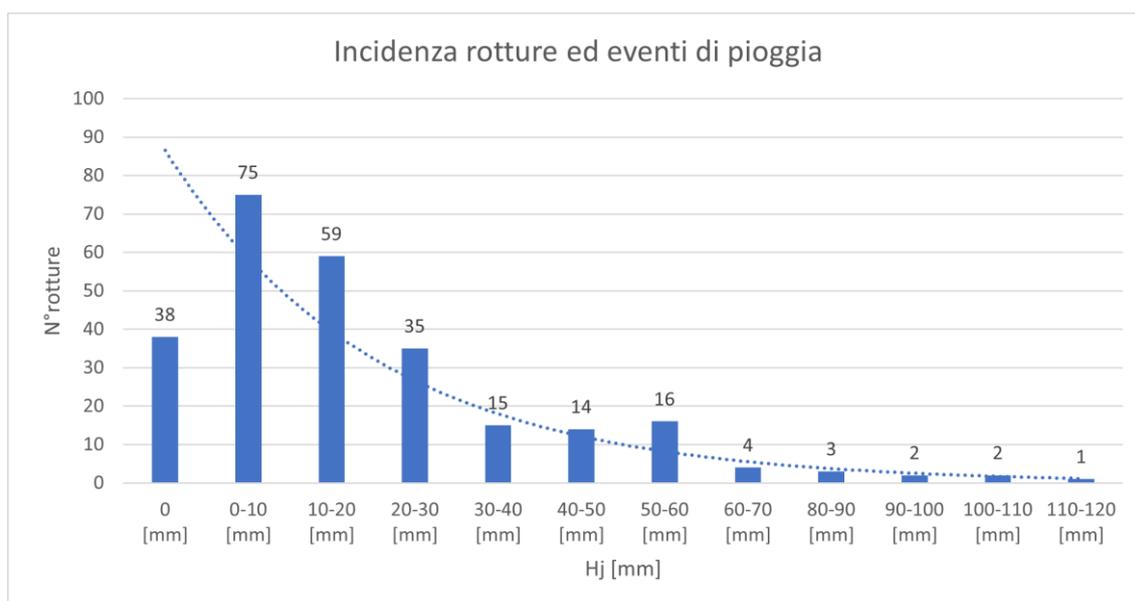


Figura 39- Andamento delle rotture in riferimento alla pioggia cumulata nel periodo di osservazione 2014-2021

Dalla figura 39 si capisce subito e chiaramente come il fattore pioggia non abbia inciso in maniera diretta sull'andamento delle rotture nel periodo di osservazione.

Infatti, si può notare come più aumenti in maniera crescente il quantitativo d'acqua caduta al suolo meno casi di rotture si hanno negli anni. Il maggior numero di rotture è avvenuto per settimane in cui la pioggia cumulata al suolo era inferiore ai 20 mm.

Un altro elemento da considerare è il coefficiente di deflusso che è legato alla tipologia di superficie e ci indica quanta acqua al suolo verrebbe effettivamente raccolta dalla rete di drenaggio, però per grandi quantitativi di pioggia caduta al suolo si hanno pochissime rotture e dunque come già detto non sono guasti riconducibili a questo fenomeno.

5.3.2 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Quote

Vengono di seguito riportate le rotture avvenute in relazione alle varie quote: di falda, posa in opera e di estradosso.

Il motivo dall'analisi di questi dati varia dalla tipologia.

Conoscere la quota di falda è importante in relazione alle acque parassite. Infatti, condotte poste al di sotto della quota di falda sono più soggette ad infiltrazione di acque parassite e quindi al fenomeno di rottura e di conseguenza di voragine.

Grazie ai dati ARPAV, raccolti nel pozzo di Torri di Quartesolo (il pozzo più vicino al comune di Vicenza), è stato possibile realizzare il grafico di figura 40.

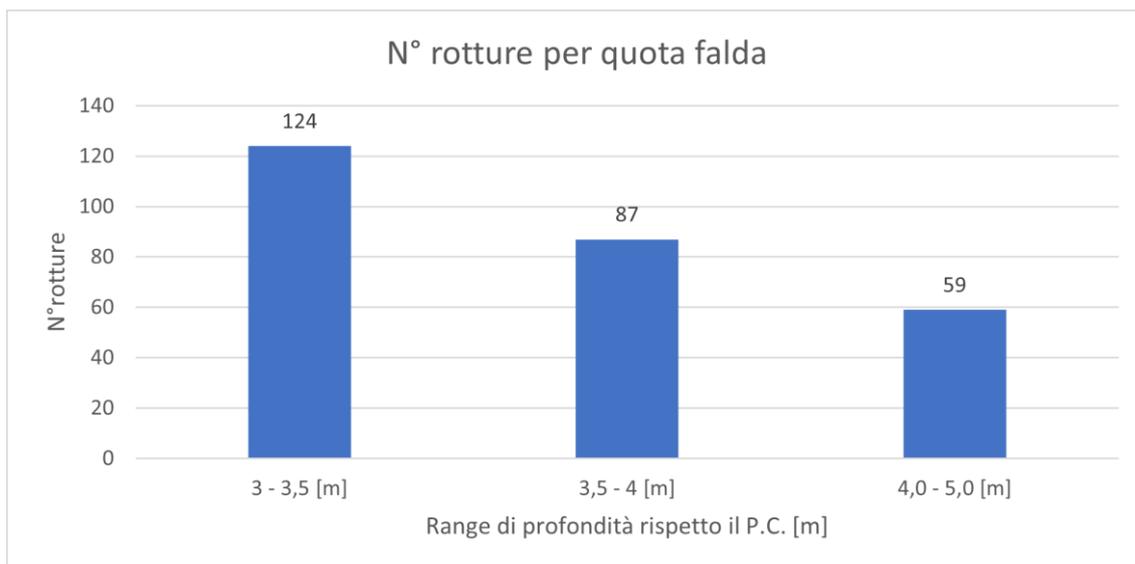


Figura 40-Andamento delle rotture in relazione alla quota di falda nel periodo di osservazione 2014-2021

Inoltre, grazie al controllo incrociato tra il database cartografico e archivi cartacei (profili longitudinali), è stato possibile realizzare i grafici inerenti alle quote di posa e di estradosso delle condotte che hanno presentato guasti nel periodo di osservazione 2014-2021. Il tutto viene riportato rispettivamente in figura 41 e 42.

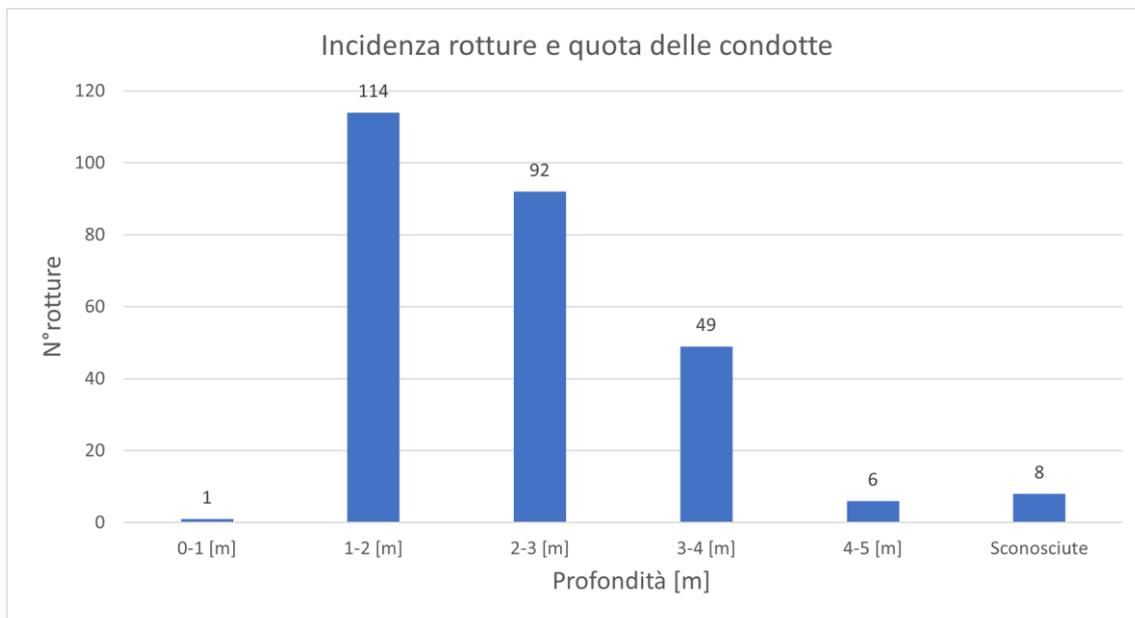


Figura 41-Analisi delle rotture in relazione alla quota di posa nel periodo di osservazione 2014-2021

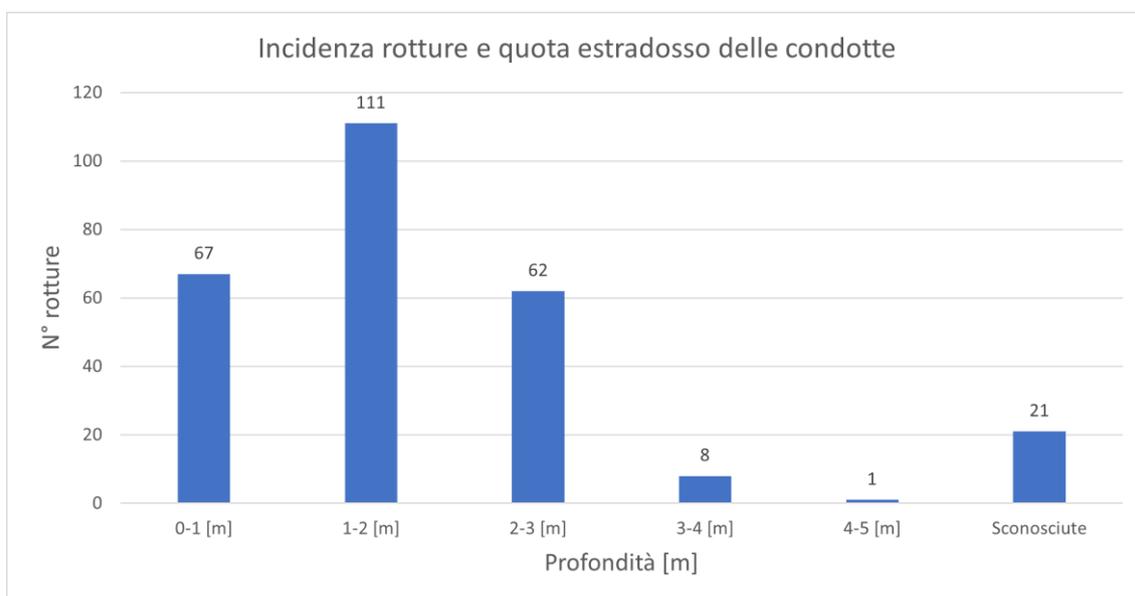


Figura 42-Analisi delle rotture in relazione alla quota di estradosso nel periodo di osservazione 2014-2021

Come già discusso al capitolo 2, l'effetto delle rotture decresce fino ad una profondità di 5.5 m, poiché si ha un'influenza decrescente di alcuni fattori di superficie, come ad esempio il traffico stradale. Al contrario però, oltre i 5 m si verifica un incremento dell'incidenza dei difetti per effetto crescente della pressione in funzione della profondità.

Osservando il grafico di figura 42, sono 67 le rotture avvenute per condotte con una quota di estradosso prossima al piano campagna (0-1 m). Mentre le restanti rotture sono avvenute a quote maggiori e nella media, quindi non riconducibili a fenomeni di sovraccarico.

Per quanto riguarda la quota di falda e la quota di posa in opera, confrontando rispettivamente i grafici di figura 40 e 41, emerge che la maggior parte delle rotture è avvenuta ad una quota tra 1-3 metri di profondità mentre la quota di falda non è mai scesa sotto i 3 metri. Infatti, dal grafico di figura 40 emerge che nel periodo di osservazione dei livelli di falda dal pozzo, quando il livello era ad una quota compresa tra i 3-3.5 metri dal piano campagna sono avvenute 124 rotture.

È facile capire quindi come la quota di falda abbia inciso molto poco per quanto riguarda le rotture in quanto solo 55 condotte si ritrovano ad una quota maggiore di 3 metri di profondità rispetto il piano campagna.

5.3.3 Analisi Rotture per Altre Tipologie di Dato – Anno di Posa

L'invecchiamento strutturale di una rete di drenaggio urbano comporta l'incremento del tasso di rottura, della scabrezza della condotta e di conseguenza delle perdite.

Come già discusso nel capitolo 2, in uno studio realizzato sulla data di posa in opera delle condotte di fognatura del 900' è stato riscontrato come condotte con posa a inizio secolo abbiano tassi di rottura molto elevati rispetto a quelle di fine 900'. Il motivo principale di questo andamento è legato al miglioramento della tecnologia nella realizzazione dei sistemi di drenaggio che è stato in continua crescita e sviluppo negli anni.

Tabella 17-Analisi delle rotture per classi di anno di posa in opera nel periodo di osservazione 2014-2021

Ventennio di Posa	N° Rotture	N° Condotte	N° Condotte [%]	N° Rotture / N° condotte [%]	N° Rotture / N° condotte tot [%]
1895-1915	31	85	0.94	36.47	0.003
1915-1935	19	306	3.37	6.21	0.21
1935-1955	63	872	9.60	7.22	0.69
1955-1975	147	4128	45.43	3.56	1.62
1975-1995	7	501	5.51	1.4	0.077
1995-2015	2	2494	27.45	0.08	0.02
2015>	1	602	6.63	0.2	0.01
Sconosciute		98	1.08		
TOT	270	9086	100		

È ragionevole pensare, osservando i dati della tabella 17 che, sebbene la maggior parte delle rotture avvenga nel ventennio 1955-1975, il dato che suscita maggior interesse è quello relativo alle condotte posate nel periodo 1895-1915 dove con 31 rotture si ha un tasso di rottura elevato in quanto le condotte posate in quel periodo sono solo 85 su un totale di 9086 condotte.

Viene di seguito riportata in figura 43, l'andamento del numero di rotture in base alla data di posa in opera suddivisa ogni 20 anni.

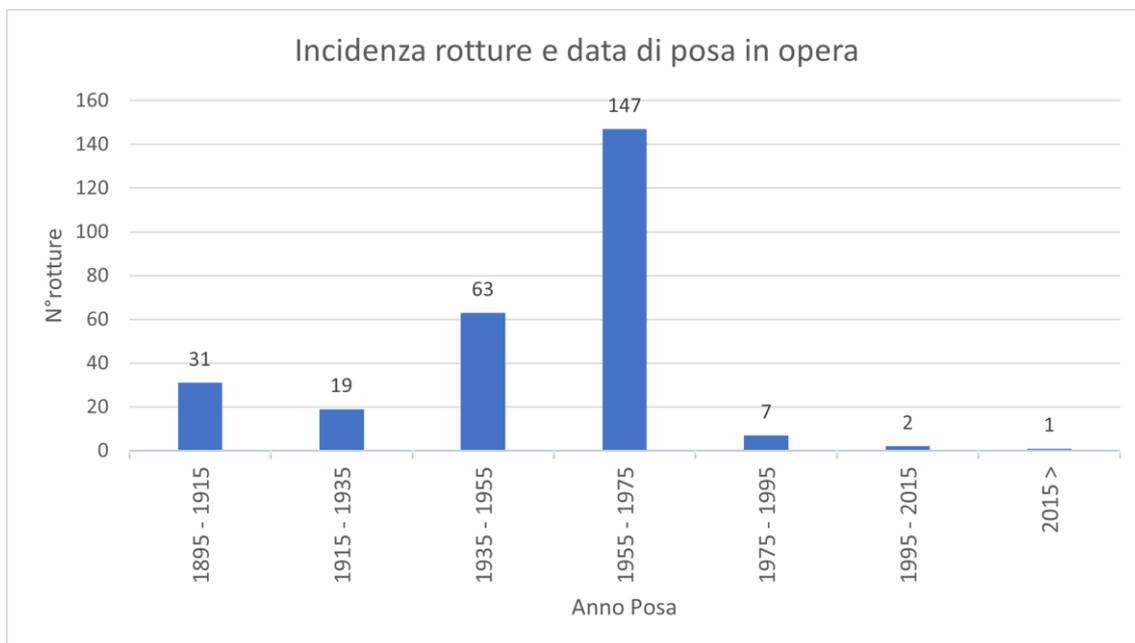


Figura 43-Andamento del numero di rotture in relazione alla data di posa in opera nel periodo di osservazione 2014-2021

È chiaro come le principali rotture (147), avvengano nel ventennio 1955-1975 per poi via via diminuire. Questo andamento, del grafico di figura 43, è legato al fatto che la maggior parte della posa in opera delle condotte della rete è avvenuta in quegli anni che non a caso coincidono con il periodo di “boom edilizio”.

L'alta numerosità di guasti per condotte risalenti a quel periodo può essere dovuta a diversi fattori come sovraccarichi, infiltrazioni, giunti mal realizzati, posa in opera non adeguata, diametro, tipo di fognatura e così via.

Non è da escludere però, che sia la stessa qualità del materiale ad avere inciso, ad esempio, risparmi economici nella realizzazione delle condotte potrebbero aver indotto l'utilizzo di materiali con bassa affidabilità che nel tempo peggiorano le loro prestazioni fino al raggiungimento della rottura.

Infine, nonostante le rotture avvenute nei ventenni 1895-1915 (31 rotture), 1915-1935 (19 rotture) e 1935-1955 (63 rotture), presentino minor numerosità rispetto altre classi, non significa che sia un fattore trascurabile. Infatti, in tutta rete le condotte posate nel ventennio 1895-1915 sono 85 su un totale di 9086 e presentano ben 31 rotture. Quindi il tasso di rottura per condotte di questo periodo è molto alto e la rottura è quasi sicuramente riconducibile all'anzianità elevata della condotta.

5.4 Conclusioni

Nel seguente capitolo sono state trattate e analizzate le informazioni riguardanti le rotture avvenute sulla rete di drenaggio urbano del comune di Vicenza nel periodo 2014 - settembre 2021.

Attraverso il calcolo del tasso di fallanza, la combinazione del dato di rottura con varie categorie e la suddivisione in più classi delle condotte della rete analizzate è stato possibile ottenere più risultati e confrontarli, ottenendo così indicazioni su quale o quali possano essere le principali problematiche.

Nello specifico è stato calcolato il tasso di fallanza e lunghezza complessiva in relazione a tipologia di fognatura, diametri e tipologia di materiale.

Il calcolo del tasso di fallanza è stato inizialmente suddiviso per allacciamenti e tubazioni di tratta di rete, per poi per le altre categorie venire calcolato considerando la totalità delle rotture (tratta di rete e allaccio).

Dai risultati ottenuti è possibile affermare che:

- Il 2018 con 67 rotture è stato l'anno con più casi nel periodo di osservazione 2014-2021;
- La tipologia di fognatura più soggetta al fenomeno di rottura è quella di tipo misto, dove con 259 guasti si ha un tasso di circa 0.7 rotture/km e un tasso di fallanza di circa 0.1;
- Per quanto riguarda i diametri le condotte più soggette al fenomeno sono state quelle circolari e ovoidali. Per le condotte circolari i diametri più colpiti sono stati: DN400 con 63 rotture, 0.167 rotture/km e tasso di fallanza 0.021; DN500 con 56 rotture, 0.149 rotture/km e tasso di fallanza 0.019; DN600 con 51 rotture, 0.135 rotture/km e tasso di fallanza 0.006. Il diametro più colpito delle condotte ovoidali è stato il DN700x1050 con 18 rotture, 0.048 rotture/km e un tasso di fallanza di 0.006;
- Per i materiali dall'analisi è emerso che il calcestruzzo è il materiale più soggetto a rottura, con 245 guasti, 0.651 rotture/km e un tasso di fallanza di 0.081;
- Per quanto riguarda l'anno di posa in opera: le condotte con anno di posa compreso tra il 1935-1955 hanno presentato 63 rotture, mentre quelle posate tra il 1955-1975 hanno presentato 147 guasti;

Ringraziamenti

Questa tesi e il mio percorso di studi sono sicuramente un lavoro individuale reso possibile dal mio impegno e dalla mia caparbia, ma non posso esimersi dal ringraziare tutte le persone che mi sono state accanto e che indirettamente hanno contribuito al raggiungimento di questo traguardo.

Desidero infatti ringraziare il mio relatore, il Prof. Paolo Salandin dell'Università degli studi di Padova, per avermi concesso l'opportunità di intraprendere questo lavoro nel suo insegnamento, per la disponibilità e i consigli dati. Un grazie particolare all'Ing. Mattia Celotto per avermi accompagnato durante il periodo di tirocinio con professionalità e per avermi aiutato, fornendomi materiale e consigli, per il seguente lavoro di tesi.

“I successi l'amicizia li rende più splendidi, le avversità le rende più lievi, perché le condivide e le mette in comune” (Cicerone).

Con questa frase vorrei invece ringraziare tutti i miei amici che hanno arricchito questo mio viaggio e lo hanno reso più leggero. Un ringraziamento particolare alla mia amica Silvia che mi ha sempre saputo dare ottimi consigli e con il quale mi sono sempre potuto confrontare e confidare. Un grazie anche al mio grande amico Giovanni (Sape) con il quale ho un forte legame fin dalle superiori, con il quale mi sono sempre divertito e che mi ha sempre spronato in qualsiasi momento ne avessi bisogno.

Un grande ringraziamento a tutti i miei amici e amiche della mia numerosa compagnia: Edoardo (Edo), Tomas (Tommy), Marco (Leo), Andrea (Andrew), Marco (Manzi), Antea, Filippo (CC), Mattia, Elia (Gull), Martina e Luca (Galga). Persone sul quale ho sempre potuto contare e con il quale passo sempre bellissimi momenti.

Un ringraziamento speciale ai miei coinquilini Alberto (Azzo), Francesco (Bonny) e Simone (Berto) con il quale ho passato uno dei periodi più belli del mio percorso di studi.

Un enorme grazie alla mia famiglia per aver reso possibile tutto questo, a mio papà Guido persona di estrema saggezza, a mia mamma Paola per avermi trasmesso grinta e determinazione e a mia sorella Maria esempio e punto di riferimento costante.

Un grazie finale alla mia ragazza Henny per avermi sempre sostenuto e per il bene che mi vuole.

Bibliografia

L. Da Deppo, C. Datei, P. (2011). *Fognature*.

EPA, P. (2009). *Condition Assessment of Wastewater Collection Systems (White Paper)*.

Prof. Ing. P. Bertola. *GRES TECNICA, Materiali per Condotte di Fognatura*.

M. Vurro, R. Ermini, P. (2004). *Indagine bibliografica sui fenomeni di infiltrazione e di perdita nelle reti di fognatura urbana (PON Aquatec)*.

C. Ciaponi, S. Papiri, P. (2000). *Diagnosi dei problemi funzionali di sistemi di drenaggio urbano e definizione degli interventi correttivi ottimali*.

<https://www.teknoring.com/news/inquinamento/acque-reflue-testo-unico-ambiente/>

https://www.researchgate.net/publication/291361525_Improving_Concrete_Durability_for_Sewerage_Applications

https://www.oppo.it/normative/decr_min_n99-97.htm

<https://www.teknoring.com/news/inquinamento/acque-reflue-testo-unico-ambiente/>

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1976/05/29/076U0319/sg>

<https://www.dorabaltea.com/trattamento-acque-reflue-ricapitoliamo-le-normative/>

<https://www.gazzettaufficiale.it/eli/id/1994/01/19/094G0049/sg>

https://it.wikipedia.org/wiki/Servizio_idrico_integrato

[https://it.wikipedia.org/wiki/Ambito_territoriale_ottimale#:~:text=L'ambito%20territoriale%20ottimale%20\(ATO,36%2F94\).](https://it.wikipedia.org/wiki/Ambito_territoriale_ottimale#:~:text=L'ambito%20territoriale%20ottimale%20(ATO,36%2F94).)

<https://www.arpa.veneto.it/temi-ambientali/acqua/acque-interne/acque-potabili/aato>

https://www.gazzettaufficiale.it/atto/serie_generale/caricaDettaglioAtto/originario?atto.dataPubblicazioneGazzetta=1997-04-18&atto.codiceRedazionale=097G0136&elenco30giorni=false

https://www.oppo.it/normative/decr_min_n99-97-all3.htm

<https://www.ingenio-web.it/articoli/metodologie-per-la-ricerca-perdite-nelle-fognature/>

<https://www.researchgate.net/publication/301789229>

<https://it.wikipedia.org/wiki/Scolmatore>

https://it.wikipedia.org/wiki/Trattamento_delle_acque_reflue

<https://www.viacqua.it/it/azienda/news/un-piano-di-riqualificazione-delle-reti-fognarie-per-una-maggiore-adequatezza-ed-efficenza-del-sistema>

<https://www.arpa.veneto.it/dati-ambientali/open-data/idrosfera/acque-sotterranee/acque-sotterranee-livello-piezometrico-delle-falde>

<https://www.ambienteveneto.it/dati/datiSensOrari.php?cd=8276&an=2023>