

Paper n° 15

**ANALISI DEI RISCHI AMBIENTALI E STRUTTURALI DELLE RETI
FOGNARIE DELLA PROVINCIA DI MONZA E BRIANZA – PROGETTO
CO.C.I.T.O.**F. Marigo¹, A. Banfi¹¹ Brianzacque s.r.l. Monza**1. INTRODUZIONE**

Brianzacque s.r.l. è il soggetto incaricato della gestione del Servizio Idrico Integrato (SII) per il territorio della Provincia di Monza e Brianza e ha la responsabilità di una rete fognaria di circa 2.900 km, distribuita su 55 Comuni della provincia. Il Servizio Idrico Integrato comprende i servizi di acquedotto, fognatura e depurazione, ed è regolato a livello nazionale dal decreto legislativo n. 152/2006 e, a livello regionale, dalla legge regionale Lombardia n. 26/2003.

Gli obiettivi principali della legislazione nazionale e regionale sono:

- **Integrare la gestione** dei tre segmenti del SII (acquedotto, fognatura, depurazione).
- **Razionalizzare la gestione**, mediante l'istituzione di un gestore unico per ogni ATO, superando la frammentazione.
- **Garantire lo sviluppo delle infrastrutture** e il superamento delle lacune esistenti.
- **Assicurare la qualità del servizio** e la **tutela degli utenti**.

Dal 2017, Brianzacque ha avviato una strategia per la gestione del rischio legato ai danni causati dallo stato di degrado delle condotte, implementando il progetto **CO.C.I.T.O.**. Questo progetto ha permesso di strutturare un programma di videoispezioni per la rete di fognatura, con l'obiettivo di individuare il grado di rischio associato a ciascuna condotta e ottimizzare le priorità di intervento.

2. IL PROGETTO CO.C.I.T.O.

Alla luce del contesto normativo e gestionale delineato, Brianzacque ha avviato un percorso strutturato per affrontare le criticità legate allo stato delle infrastrutture fognarie. Tale percorso ha trovato concretezza operativa nel progetto CO.C.I.T.O., che rappresenta il fulcro della strategia di gestione preventiva e data-driven della rete.

Il **progetto CO.C.I.T.O.** (Codifica Condotti Interrati e Trattamento delle Osservazioni) è stato lanciato a seguito dell'affidamento della prima gara d'appalto nel **2017**. Il principale scopo del progetto è la raccolta sistematica di informazioni tramite **videoispezioni** sulla rete di fognatura, con codifica conforme alla **norma UNI EN 13508-2:2011**, che riguarda l'indagine e la valutazione degli impianti di raccolta e smaltimento di acque reflue esterni agli edifici. La norma stabilisce un sistema di codifica per le ispezioni visive, fondamentale per raccogliere dati omogenei e standardizzati.

Il trattamento dei dati raccolti attraverso queste ispezioni è poi finalizzato a soddisfare i requisiti della **norma UNI EN 752:2017**, che regola la gestione del Servizio Idrico Integrato (SII). Questa norma stabilisce gli obiettivi, i requisiti funzionali e i principi per le attività strategiche e politiche che devono orientare la gestione del SII, favorendo l'integrazione e la razionalizzazione della rete di acquedotto, fognatura e depurazione.

Il progetto CO.C.I.T.O. è quindi un passo importante per garantire la qualità e l'efficienza della rete fognaria, permettendo una gestione basata su dati oggettivi e aggiornati, che ottimizzano la manutenzione e gli interventi. Le attività previste nell'ambito del progetto CO.C.I.T.O. non si esauriscono nella sola videoispezione delle condotte, ma comprendono una fase preliminare di prequalifica dei pozzetti ubicati a monte e a valle dei tratti di rete oggetto di indagine. Tale fase è finalizzata alla verifica delle condizioni di accessibilità e al rilevamento del grado di

occlusione delle infrastrutture, al fine di valutare la fattibilità degli interventi e l'eventuale necessità di operazioni di spurgo preliminare. L'esecuzione degli interventi avviene sulla base di specifici ordini di servizio, ciascuno dei quali interessa un tratto di rete fognaria di estensione pari a circa 1,2 km.

I dati acquisiti durante le attività di prequalifica e videoispezione vengono codificati secondo la norma UNI EN 13508-2:2011, la quale definisce un formato univoco finalizzato a garantire un'elaborazione omogenea e standardizzata delle informazioni rilevate in campo.

L'intero set informativo viene restituito sotto forma di documentazione tecnica, costituita da un file in formato XML, conforme ai requisiti della norma UNI, corredato da **fotografie**, **report descrittivi** e **registrazioni video** delle ispezioni.

Il file XML è articolato in tre sezioni principali:

- **Blocco ZA:** contiene le informazioni generali e di base;
- **Blocco ZB:** include i dati relativi all'intestazione di ciascuna videoispezione effettuata;
- **Blocco ZC:** riporta ogni singola osservazione rilevata e registrata in campo.

L'elaborazione e l'analisi dei dati avvengono mediante il software **InfoAsset**, sviluppato da **HR Wallingford®**, che consente l'importazione e la gestione strutturata dei file XML secondo i criteri definiti dalla norma.

3. CLASSIFICAZIONE DELLE CONDOTTE E VALUTAZIONE DEL RISCHIO

La grande mole di dati raccolti tramite il progetto CO.C.I.T.O. ha reso necessario l'impiego di metodologie rigorose per l'analisi, la classificazione e la valutazione dei difetti rilevati. In questa sezione vengono illustrati i criteri adottati per attribuire un punteggio oggettivo ai diversi tipi di danno e definire il rischio associato a ciascuna condotta.

Codifica

Nel corso delle videoispezioni, i difetti strutturali rilevati vengono classificati in conformità alla norma UNI EN 13508-2:2011, la quale prevede un sistema di codifica oggettivo e standardizzato per la registrazione delle diverse osservazioni. A ciascun difetto viene assegnato un **Main Code**, che ne identifica le caratteristiche principali, includendo informazioni relative alla **tipologia**, alla **quantificazione del danno**, alla **posizione longitudinale** lungo la condotta e alla **localizzazione oraria** (riferita al quadrante interno della tubazione).

Attribuzione punteggio

Per l'attribuzione del punteggio ai difetti rilevati, è stata adottata la metrica definita dal metodo anglosassone **SRM® (Sewerage Risk Management)** (3). Tale scelta è motivata dall'equivalenza concettuale tra i quattro settori del diagramma di processo sviluppato dal SRM® e le **quattro principali attività** individuate dalla norma europea **UNI EN 752:2008**, relativa alla gestione dei sistemi di drenaggio urbano nell'ambito del **Servizio Idrico Integrato**.

Tale corrispondenza consente di integrare efficacemente le logiche di valutazione del rischio e di priorità d'intervento all'interno del framework normativo europeo, come evidenziato nella figura seguente:

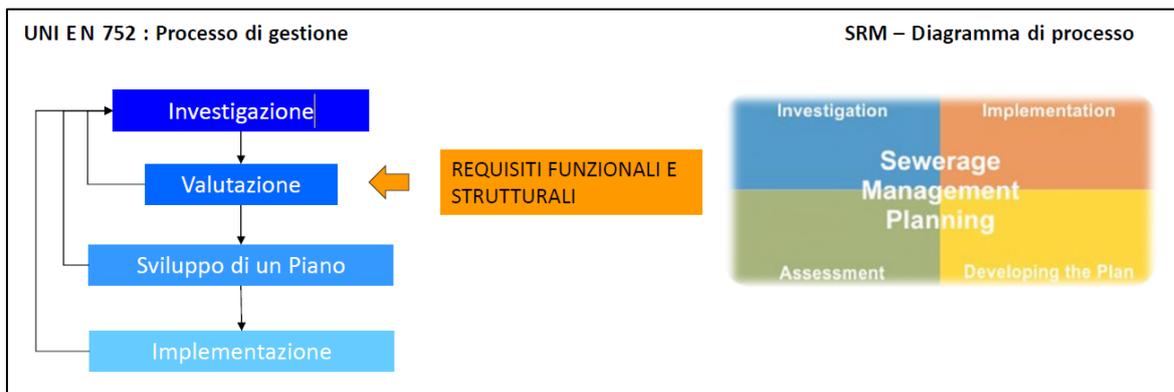


Figura 1. Equivalenza diagramma di processo UNI EN 752 - SRM®

La codifica dei difetti osservati durante le videoispezioni si basa sul **Manual of Sewer Condition Classification (MSCC)**, strumento riconosciuto a livello internazionale e pienamente compatibile con la codifica definita dalla norma europea **UNI EN 13508-2:2011**.

L'adozione di tale metodologia consente di assegnare a ciascun difetto un **SRM Score**, articolato in due componenti distinti:

- un **punteggio strutturale**, attribuito ai difetti potenzialmente compromettenti l'integrità fisica della condotta;
- un **punteggio di servizio**, associato alle osservazioni che possono influenzare negativamente la funzionalità del sistema o generare impatti ambientali.

È importante sottolineare che non tutte le osservazioni prevedono necessariamente l'assegnazione di entrambi i punteggi; la classificazione è infatti legata alla natura specifica del difetto rilevato.

L'SRM Score assegnato a ciascun difetto rappresenta la base per la determinazione del **grado strutturale e di servizio complessivo** della condotta indagata, fornendo così un indicatore sintetico e oggettivo del suo stato di conservazione e del livello di rischio associato.

Analisi dei rischi

Al fine di procedere con una valutazione sistematica del **rischio** associato ai difetti rilevati durante le attività di videoispezione, e in conformità con i principi stabiliti dalla norma **ISO 31000** in materia di **risk management**, si è optato per la costruzione di **matrici di probabilità**.

Queste matrici rappresentano uno strumento operativo per correlare, in modo strutturato, la **probabilità di accadimento** di un evento indesiderato con la **gravità delle conseguenze** associate, consentendo così una classificazione oggettiva dei livelli di rischio.

Tale approccio agevola il processo decisionale per la **prioritizzazione degli interventi**, orientando le scelte gestionali verso le situazioni a maggiore criticità, sia in termini **strutturali** che **di servizio**.

			GRADO DI DANNO (G)			
			Basso	Medio	Alto	
PROBABILITÀ (P)	SRMscore		(1)	(5)	(10)	
	1	Bassa	(1)	1	5	10
	2	Medio - Bassa	(2)	2	10	20
	3	Media	(5)	5	25	50
	4	Medio - Alta	(8)	8	45	80
	5	Alta	(10)	10	50	100

R1 Rischio Basso

R2 Rischio Medio Basso

R3 Rischio Medio

R4 Rischio Medio Alto

R5 Rischio Alto

Figura 2. Matrice di probabilità rischio strutturale

			GRADO DI IMPATTO (G)						
			ESTERNO AREA RISPETTO POZZI			INTERNO AREA RISPETTO POZZI			
			Basso	Medio	Alto	Basso	Medio	Alto	
PROBABILITÀ (P)	SRMscore		(1)	(2)	(3)	(5)	(8)	(10)	
	1	Bassa	(1)	1	2	3	5	8	10
	2	Medio - Bassa	(2)	2	4	6	10	16	20
	3	Media	(5)	5	10	15	25	40	50
	4	Medio - Alta	(8)	8	16	24	40	64	80
	5	Alta	(10)	10	20	30	50	80	100

R1 Rischio Basso

R2 Rischio Medio Basso

R3 Rischio Medio

R4 Rischio Medio Alto

R5 Rischio Alto

Figura 3. Matrice di probabilità rischio ambientale

Attraverso l'applicazione di specifiche **matrici di probabilità**, sviluppate tenendo conto del **contesto territoriale** e delle **caratteristiche fisiche** della rete (quali **dimensione, posizione e forma della sezione** delle condotte), è possibile associare a ciascun tratto ispezionato un **grado di rischio strutturale e ambientale**.

Nella figura 2 viene rappresentata la matrice di probabilità associata alla valutazione degli aspetti di stabilità strutturale il cui danno potenziale è direttamente correlato alle caratteristiche geometriche delle tubazioni.

Nella figura 3 viene rappresentata la matrice di probabilità associata, sia alla valutazione degli aspetti di stabilità strutturale e sia alla valutazione dell'impatto ambientale il cui danno potenziale è direttamente correlato alle caratteristiche geometriche delle tubazioni, nonché alla localizzazione interna o esterna all'area di rispetto dei pozzi la cui risorsa idrica è destinata a consumo umano.

Tale valutazione si basa sull'integrazione del **grado strutturale** e di **servizio** determinato secondo il metodo **SRM**, con i parametri di probabilità e danno, secondo la seguente formula: $R = P \times D$

dove:

- **P** rappresenta la **probabilità** di accadimento, derivata direttamente dal grado strutturale o ambientale della condotta;
- **D** indica il **danno potenziale**, valutato in funzione del **diametro** della condotta e considerato ad esso direttamente proporzionale.

Il risultato del calcolo consente di classificare le condotte in cinque classi di rischio crescente:

- **R1 – Rischio Basso**
- **R2 – Rischio Medio-Basso**
- **R3 – Rischio Medio**
- **R4 – Rischio Medio-Alto**
- **R5 – Rischio Alto**

Questa classificazione costituisce un supporto oggettivo alla pianificazione degli interventi di manutenzione, risanamento o sostituzione, ottimizzando la gestione del patrimonio infrastrutturale in un'ottica di prevenzione e sostenibilità.

Sulla base della valutazione del rischio strutturale e ambientale, è stato possibile impostare un sistema di priorità per la pianificazione degli interventi. La sezione che segue descrive il processo attraverso cui Brianzacque individua le tratte su cui intervenire in via prioritaria, distinguendo le tipologie di intervento più adeguate.

4. DEFINIZIONE DELLA PRIORITA' DI INTERVENTO

La **prioritizzazione degli interventi** è definita sulla base del **grado di rischio** associato a ciascuna condotta. Le tratte classificate con **grado di rischio R5 (alto)** vengono considerate prioritarie, in quanto presentano condizioni strutturali o ambientali critiche.

Nel dettaglio, la **valutazione delle priorità** si differenzia in funzione della tipologia di rischio:

- per il **rischio strutturale**, si analizzano specifici difetti quali **deformazioni, fratture, rotture significative**;
- per il **rischio ambientale**, vengono considerate **presenza di radici, giunti disallineati, sedimentazioni, infiltrazioni ed esfiltrazioni**.

Attraverso l'applicazione di **query strutturate** e personalizzate, che integrano le osservazioni rilevate per ciascun tratto e la **gravità dei difetti** secondo le classificazioni normative, è stato possibile associare a ogni condotta il **tipo di intervento più adeguato**.

Le categorie di intervento sono identificate da specifici codici:

- **A – Sostituzione**: per condotte con difetti gravi e compromissione strutturale, secondo i criteri definiti dalle norme **DWA 143-2** e **UNI 11681**;
- **B – Risanamento**: per condotte degradate ma recuperabili mediante tecniche di riabilitazione;
- **C – Monitoraggio**: per condotte in condizioni non critiche, che non richiedono interventi immediati.

Processo di datazione e affinamento delle priorità

A seguito dell'analisi di una porzione estesa di rete, è emersa la **difficoltà nella selezione delle tratte prioritarie** in presenza di uguale grado di rischio. Per affinare il processo decisionale, è stata avviata una **metodologia di stima dell'epoca di posa** delle condotte prive di tale informazione, articolata in più fasi:

Fase 1 – Analisi dell'espansione urbana

Si è fatto ricorso ai dati **DUSAF** (Destinazione d'Uso del Suolo Agricolo e Forestale) forniti da Regione Lombardia (1), utilizzando le **ortofoto** disponibili per gli anni **1954, 1980, 1999, 2007, 2009, 2012, 2015, 2018 e 2021**. L'analisi delle trasformazioni del territorio ha permesso di associare a ciascun tratto non datato un **intervallo temporale di posa**, in base alla localizzazione all'interno delle aree urbanizzate nei diversi periodi.

Fase 2 – Analisi morfologica e materica delle condotte

Successivamente, si è proceduto con l'analisi delle **immagini video** acquisite durante le ispezioni, ipotizzando che le condotte posate nella stessa **decade** presentino **caratteristiche costruttive omogenee** e riconoscibili visivamente (forma della sezione, tipo di materiale, finitura interna, tipologia di giunto, ecc.).

A oggi, ogni condotta ispezionata è dotata sia di un **grado di rischio** sia di una **datazione presunta**. L'incrocio di questi due parametri consente di determinare con maggiore precisione le **priorità d'intervento**, dando precedenza ai tratti che presentano **rischio elevato e anzianità maggiore**.

Programmazione del monitoraggio

Le condotte che **non richiedono interventi immediati**, né sono incluse in programmi di risanamento o sostituzione, vengono inserite in **piani di monitoraggio periodico**. La frequenza dei controlli è stabilita in funzione del **grado di rischio** associato, variando da un minimo di **12 mesi** a un massimo di **10 anni**.

Sebbene il sistema di classificazione e prioritizzazione abbia portato a risultati significativi, sono emerse alcune criticità legate alla soggettività nella rilevazione dei difetti. Per affrontare queste sfide e migliorare ulteriormente l'affidabilità delle analisi, Brianzacque ha avviato una riflessione sull'uso dell'intelligenza artificiale e delle tecniche di machine learning. La prossima sezione esplora queste prospettive di automazione.

5. AUTOMAZIONE DEL PROCESSO

Monitoraggio evolutivo e prospettive di automazione nell'analisi dei difetti

Le attività di **monitoraggio ricorrente** effettuate sui tratti con **grado di rischio elevato** hanno permesso la raccolta di una notevole mole di dati relativi a condotte già oggetto di ispezione. Tali dati risultano fondamentali per l'**analisi dell'evoluzione del degrado** nel tempo.

L'osservazione comparata dei **gradi di rischio** associati alla **medesima condotta in tempi differenti** ha evidenziato che l'andamento non segue sempre una traiettoria stazionaria o peggiorativa, come sarebbe teoricamente atteso. Questo ha reso necessaria un'**analisi di secondo livello**, finalizzata a individuare le cause di tali variazioni apparentemente "anomale".

Dall'analisi dei dataset è emerso che, in numerosi casi, uno **stesso difetto** veniva **classificato in modo difforme** a seconda dell'operatore incaricato dell'attività di videoispezione. Ciò ha comportato l'attribuzione di punteggi diversi e, conseguentemente, un grado strutturale variabile e non sempre coerente con l'effettivo stato evolutivo della condotta.

Per rispondere a questa criticità, BrianzAcque ha avviato una **valutazione preliminare delle esperienze internazionali** nell'ambito dell'applicazione di metodologie di **machine learning** finalizzate all'automatizzazione del processo di identificazione e classificazione dei difetti.

L'obiettivo è verificare l'efficacia dell'intelligenza artificiale nel trattamento e nella standardizzazione dei **dati video raccolti dal 2017**, che ad oggi ammontano a oltre **230.000 immagini** e **2.700 ore di filmati video**.

Un importante riferimento in tale direzione è costituito dallo **studio danese** presentato nell'articolo *Sewer-ML* (2), che analizza in dettaglio l'applicazione di tecniche di apprendimento automatico nel contesto delle videoispezioni fognarie.

Il progetto ha utilizzato un **dataset di circa 1.300.000 immagini**, raccolte nell'arco di nove anni da tre diversi gestori di rete, ciascuna etichettata da esperti secondo uno **standard nazionale danese** di classificazione dei difetti. A ciascuna **classe di difetto** è stato associato un **punteggio economico (CIW – Consequence Impact Weight)**, determinato da professionisti del settore, e successivamente **normalizzato** su scala unitaria.

Il processo descritto prevede due fasi principali:

1. **Calibrazione** dei modelli di machine learning mediante un campione etichettato da operatori esperti;
2. **Validazione** dei modelli su nuovi dati per verificarne l'accuratezza nella rilevazione e classificazione automatica dei difetti.

I risultati dimostrano un'elevata potenzialità nell'automatizzare, standardizzare e velocizzare il **processo di censimento dei difetti**, contribuendo alla riduzione della variabilità soggettiva e migliorando la qualità complessiva dei dati raccolti.

Code	Description	CIW
VA	Water Level (in percentages)	0.0310
RB	Cracks, breaks, and collapses	1.0000
OB	Surface damage	0.5518
PF	Production error	0.2896
DE	Deformation	0.1622
FS	Displaced joint	0.6419
IS	Intruding sealing material	0.1847
RO	Roots	0.3559
IN	Infiltration	0.3131
AF	Settled deposits	0.0811
BE	Attached deposits	0.2275
FO	Obstacle	0.2477
GR	Branch pipe	0.0901
PH	Chiseled connection	0.4167
PB	Drilled connection	0.4167
OS	Lateral reinstatement cuts	0.9009
OP	Connection with transition profile	0.3829
OK	Connection with construction changes	0.4396

Figura 4. Codifica dei difetti da normativa danese e relativo peso della classe di importanza

Analisi comparativa dei difetti strutturali nelle videoispezioni

L'analisi del **database** messo a disposizione dallo studio danese ha rivelato che una **minima percentuale delle fotografie** raccolte mostrava **difetti strutturali significativi** utili per la valutazione degli aspetti **strutturali** delle condotte.

Considerando che i **dati raccolti da Brianzacque** attraverso il monitoraggio delle reti in gestione potrebbero essere analoghi a quelli dello studio danese, è stata condotta una **comparazione** tra le **percentuali di fotografie** che riportano difetti relativi a **crepe, fessure, rotture, difetti superficiali e deformazioni** rilevati durante le **videoispezioni** effettuate negli ultimi 8 anni e i risultati derivanti dall'analisi del **dataset danese**.

La **Tabella 1** riporta i risultati comparativi tra i due dataset, evidenziando la **frequenza** di difetti strutturali nelle immagini raccolte da Brianzacque rispetto a quelle dello studio danese.

Tabella 1. Confronto % dati con difetti più gravosi da studio danese e dati Brianzacque.

Cod. Difetto (DAN)	Descrizione	% Sewer- LM	Cod. Difetto (UNI)	% dati BA
OB	Difetti della superficie	16%	BAF	4%
RB	Fessure, Crepe e rotture	4%	BAC, BAB	7%
DE	Deformazione	2%	BAA	1%

Considerazioni sull'analisi comparativa dei difetti strutturali

Come mostrato nella **Tabella 1**, i difetti relativi a **crepe, fessure, rotture e deformazioni** risultano essere **simili** tra i dati raccolti da **Brianzacque** e quelli dello **studio danese**. Tuttavia, si osserva che i **difetti superficiali** risultano essere **sottostimati** nei rilievi effettuati da Brianzacque rispetto a quanto registrato nello studio danese. A seguito di un'**analisi manuale preliminare** dei dati, è stato evidenziato che **raramente gli operatori registrano difetti superficiali** durante le videoispezioni, probabilmente perché tali difetti vengono **sottovalutati** o non ritenuti di rilievo durante l'ispezione. Questa prassi potrebbe **portare a una sottostima** degli effetti **strutturali a medio e lungo termine**, dato che i difetti superficiali, se non adeguatamente monitorati, potrebbero evolvere in problematiche più gravi nel tempo.

Limiti della videoispezione e applicazione di modelli di Machine Learning

Le **videoispezioni** sono uno dei metodi più utilizzati per la valutazione del degrado delle infrastrutture sotterranee, ma, come evidenziato dalle **differenze nelle percentuali** di identificazione dei difetti, presentano **limitazioni intrinseche legate alla soggettività dell'operatore**. Questa soggettività può portare a **interpretazioni non uniformi**, con conseguenti discrepanze nell'attribuzione dei difetti e nella loro classificazione.

Una delle principali **limitazioni** emerse nell'applicazione dei modelli di **machine learning** sviluppati nello studio danese riguarda la **variabilità nell'attribuzione dei codici di difetto** da parte degli stessi operatori. In particolare, lo studio evidenzia la difficoltà nella **rilevazione e codifica delle fessure** (classe RB – rotture, fratture e collassi) nel **dataset Sewer-ML**. La classe **RB**, che nella normativa UNI EN 13508-2:2011 si distingue per una **notevole varianza intra-classe**, comprende una vasta gamma di manifestazioni visive, dalle **micro-fessurazioni** ai **cedimenti strutturali gravi**. Questa ampia eterogeneità visiva rende estremamente difficile definire **criteri visivi univoci** per la classificazione, anche da parte di ispettori esperti.

Un ulteriore ostacolo riguarda la **bassa varianza inter-classe**, ossia la somiglianza visiva tra **fessurazioni** e altri fenomeni, come la presenza di **radici sottili** (classificate come **RO** o **BBA** secondo la codifica europea), che possono portare a **confusioni** durante l'etichettatura manuale. Questo fenomeno dimostra come anche gli **operatori esperti** incontrano **difficoltà** nel fornire una classificazione coerente e precisa, specialmente in condizioni operative reali e complesse all'interno delle condotte fognarie.

La **qualità dei dati di training** destinati ai modelli di **machine learning** risulta inevitabilmente compromessa quando le etichette sono inconsistenti o ambigue. Un **dataset di apprendimento** con etichette incerte conduce, infatti, allo sviluppo di modelli con **performance subottimali** e una **scarsa affidabilità predittiva**, come evidenziato nei **risultati non ottimali** ottenuti per la classe RB nel benchmark riportato nell'articolo *Sewer-ML* (Figura 5).

Questo approccio evidenzia come la **soggettività dell'operatore** e le **limitazioni nella codifica visiva** siano problemi rilevanti sia nelle **videoispezioni** che nell'**applicazione di modelli di machine learning**, con implicazioni importanti sulla **qualità dei dati** e sulla **precisione delle analisi**.

Table 18: **Per-class AP score - Validation Split**. The metrics are presented as percentages, and the highest score in each column is denoted in bold.

	Model	RB	OB	PF	DE	FS	IS	RO	IN	AF	BE	FO	GR	PH	PB	OS	OP	OK
Sewer	Xie <i>et al.</i> [80]	29.82	83.81	83.82	63.25	87.48	31.80	62.03	54.60	60.44	66.43	48.39	84.66	78.56	68.85	61.24	77.41	86.25
	Chen <i>et al.</i> [7]	48.30	73.98	49.98	45.03	83.03	56.31	78.12	45.85	61.99	71.01	42.94	74.62	78.27	56.95	51.00	56.89	80.80
	Hassan <i>et al.</i> [28]	7.20	32.00	1.09	0.26	37.38	1.26	5.90	6.25	7.71	11.05	1.44	10.27	4.34	0.00	0.00	5.85	19.14
	Myrans <i>et al.</i> [58]	0.05	0.62	0.10	0.64	2.57	0.13	0.12	0.19	1.02	0.28	0.00	0.35	0.00	1.17	0.00	0.00	1.96
General	ResNet-101 [32]	54.54	90.21	84.15	76.73	93.56	49.33	81.88	67.13	74.85	80.20	64.11	90.83	87.63	66.49	59.77	81.58	93.57
	KSSNet [75]	56.86	90.74	85.42	76.50	94.05	56.75	83.43	68.86	75.14	81.40	65.51	91.27	89.20	66.49	64.58	79.66	93.87
	TResNet-M [66]	57.22	90.90	87.74	77.69	93.98	58.68	80.56	69.94	76.17	82.39	60.67	91.55	89.90	69.27	65.58	84.39	94.32
	TResNet-L [66]	56.76	90.75	88.32	78.36	93.95	60.42	80.88	69.21	75.64	81.99	64.62	91.37	89.38	69.75	69.39	83.57	94.44
	TResNet-XL [66]	57.15	90.81	87.36	78.34	94.04	56.91	80.92	69.84	76.01	82.00	63.28	91.69	88.97	69.66	68.16	82.09	94.23
	Benchmark	56.68	90.93	90.12	80.30	94.06	60.55	80.79	69.45	75.99	82.27	65.32	92.06	89.89	75.70	72.97	84.81	94.57

Figura 5. Risultati Sewer - LM

Ostacoli e prospettive nell'implementazione del Machine Learning

La **manca**za di una **codifica completamente oggettiva** nella definizione manuale dei difetti da parte degli **operatori** rappresenta un **ostacolo significativo** nell'efficace implementazione di **tecniche di machine learning** per l'automazione del rilievo delle osservazioni. Tale variabilità nell'attribuzione dei difetti compromette la qualità e la coerenza dei dati, rendendo difficile l'addestramento di modelli predittivi affidabili.

Il superamento di questa criticità richiede, come passo preliminare e imprescindibile, l'**adozione di protocolli di codifica** più dettagliati e **rigorosi**, che garantiscano la massima **uniformità** e **accuratezza** nelle etichettature. Solo con un "ground truth" solido, ovvero una base di dati affidabile e coerente, sarà possibile ottenere sistemi di **intelligenza artificiale** che operano in modo efficace, migliorando l'efficienza, la precisione e la tempestività delle ispezioni fognarie.

In assenza di questi presupposti, il potenziale dell'automazione nel settore delle videoispezioni fognarie rimarrebbe significativamente **limitato**, e il miglioramento delle prestazioni non sarebbe completamente realizzabile.

Ad oggi, l'**applicazione di tecniche di machine learning** per automatizzare il processo di **classificazione dei difetti** non è stata ancora implementata sui dati raccolti nell'ambito del progetto **CO.C.I.T.O.** Tuttavia, si prevede di **valutare ulteriori studi** nei prossimi anni, con l'obiettivo di utilizzare i dati a disposizione per sviluppare un sistema che superi almeno in parte le **limitazioni dovute alla soggettività** nel rilievo dei difetti.

Questo approccio sottolinea l'importanza di avere una **base dati solida e coerente** per sfruttare appieno il potenziale dell'**automazione** e del **machine learning** nelle ispezioni fognarie.

6. ULTERIORI IMPLEMENTAZIONI

L'integrazione del machine learning nel processo di ispezione rappresenta un'evoluzione importante, ma non l'unica. Parallelamente, Brianzacque ha sviluppato strategie operative per indirizzare gli sforzi ispettivi verso le aree a più alto rischio, introducendo strumenti avanzati per una valutazione più mirata e territoriale del rischio.

Focus sulle aree a rischio e sviluppo di una matrice di rischio strutturale

Negli ultimi anni, le **videoispezioni** sono state indirizzate principalmente verso le **condotte situate in zone ad alto rischio**, ossia quelle che potrebbero presentare problematiche più gravi in caso di danni. Queste aree comprendono, in particolare, le **interferenze con infrastrutture critiche**, quali **strade a alta percorrenza**, **reti idriche** e **tracciati ferroviari**. L'attenzione si è concentrata, in particolare, sulle **condotte in attraversamento**, sia per prevenire danni in aree ad alto impatto (come la presenza di traffico o infrastrutture sensibili), sia per valutare con maggiore dettaglio lo stato delle reti, che sono soggette a concessioni e/o autorizzazioni.

Per ottimizzare la **gestione dei rischi** e sviluppare un metodo di ispezione sempre più **preciso ed efficiente**, è stata implementata una **matrice di rischio strutturale**. Questa matrice tiene conto di una molteplicità di **fattori** derivanti dalla **collocazione** delle tratte ispezionate, come evidenziato nella **Figura 6**, con l'obiettivo di migliorare la valutazione dei rischi legati alla posizione e alle caratteristiche specifiche di ciascuna condotta.

		GRADO DI DANNO (G)												
		Aree non urbanizzate			Aree urbanizzate posa su area libera			Aree urbanizzate posa su area stradale locale			Rete interferente reticolo idrico, ferroviario e autostradale			
		Basso	Medio	Alto	Basso	Medio	Alto	Basso	Medio	Alto	Basso	Medio	Alto	
PROBABILITÀ (P)	SRMscore													
	1 Bassa	1	1	3	5	1	4	8	1	5	10	1	8	10
	2 Medio - Bassa	2	2	6	10	2	8	16	2	10	20	2	16	20
	3 Media	5	5	15	25	5	20	40	5	25	50	5	40	50
	4 Medio - Alta	8	8	24	40	8	32	64	8	40	80	8	64	80
5 Alta	10	10	30	50	10	40	80	10	50	100	10	80	100	

Figura 6. Matrice di probabilità rischio strutturale modificata

Matrice di probabilità per la definizione delle priorità di intervento

In modo simile a quanto utilizzato nelle **matrici di base**, la **probabilità di rischio** è proporzionale al **grado strutturale** assegnato, che viene calcolato attraverso un punteggio specifico e successivamente elaborato secondo il **metodo SRM®**. Il **grado di danno**, invece, è determinato da due fattori principali: la **localizzazione** e l'**area** della condotta.

In particolare, i valori dell'area (A) sono categorizzati come segue:

- **Basso:** $A < 0,07 \text{ m}^2$
- **Medio:** $0,07 \text{ m}^2 < A < 0,5 \text{ m}^2$
- **Alto:** $A > 0,5 \text{ m}^2$

Il parametro area è stato adottato al fine di normalizzare le dimensioni delle tubazioni fognarie che presentano forme diverse da quella circolare, tipiche solo di condotti di piccole dimensioni.

L'adozione della **nuova matrice di probabilità** ha permesso di **ottimizzare il processo** di definizione delle **priorità di intervento**, dando la priorità alle condotte con il grado di rischio più elevato, in particolare quelle situate in posizioni che potrebbero causare danni significativi in caso di malfunzionamenti o eventi dannosi.

7. CONCLUSIONI

L'insieme delle azioni descritte ha permesso a Brianzacque di impostare una gestione avanzata e proattiva della rete fognaria. La presente sezione riassume i principali risultati raggiunti e le prospettive di sviluppo future.

La **metodologia adottata da Brianzacque**, che si avvale di **videoispezioni codificate secondo la norma UNI EN 13508-2:2011** e dell'**applicazione del metodo SRM®** per la valutazione del rischio, ha dimostrato una notevole efficacia nel processo di **definizione delle priorità di intervento** e nell'**ottimizzazione della gestione delle reti fognarie**. Questo approccio **sistematico e standardizzato** permette di elaborare un piano di intervento completo, sfruttando una grande mole di dati raccolti, che vengono analizzati e restituiti in tempi relativamente brevi grazie all'**omogeneità del formato dei dati**.

Il continuo perfezionamento del **processo di datazione delle condotte** e la **pianificazione di future implementazioni**, incentrate sull'**automazione** e l'**intelligenza artificiale**, rappresentano passi significativi verso una gestione **proattiva ed efficiente** delle infrastrutture fognarie nella **Provincia di Monza e Brianza**. Sebbene emergano inevitabili difficoltà nell'automazione del processo di codifica, questi sviluppi pongono le basi per una gestione delle risorse ancora più efficace.

Inoltre, la programmazione di un **monitoraggio continuo** basato sul **grado di rischio** delle condotte ispezionate ha portato, ad oggi, a una gestione **ottimizzata** dell'intera rete. Questo approccio dà a Brianzacque gli strumenti per intervenire tempestivamente con **manutenzioni preventive**, con l'obiettivo di ridurre significativamente la necessità di **interventi urgenti** e migliorando la **continuità del servizio**.

In prospettiva, l'esperienza maturata attraverso il progetto CO.C.I.T.O. offre spunti concreti per affrontare in modo strutturato la gestione delle reti fognarie. L'integrazione tra normativa tecnica, analisi del rischio e potenzialità offerte dall'automazione costituisce un terreno fertile per ulteriori sviluppi. La continua evoluzione degli strumenti digitali e delle tecniche di intelligenza artificiale potrà contribuire a migliorare progressivamente l'efficacia e la tempestività delle azioni manutentive, favorendo una gestione sempre più consapevole e orientata alla prevenzione.

8. REFERENZE

- (1) DUSAF <https://www.regione.lombardia.it/> ;
- (2) Joakim Bruslund Haurum and Thomas B. Moeslund (2021) *Sewer-ML: A Multi-Label Sewer Defect Classification Dataset and Benchmark* ;
- (3) Sewerage Risk Management (2008-2025) <https://srm.wrcplc.co.uk/home.aspx> ; .