

# Studio dei fattori rilevanti per il rischio rottura

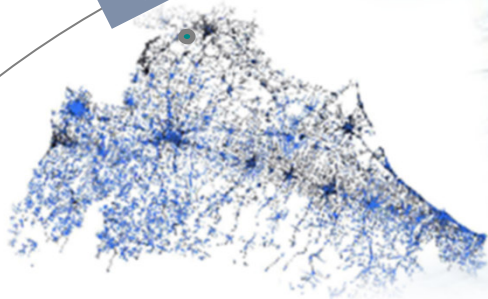
Maurizia Brunetti - Hera SpA



## Dall' **Analisi Rotture** un cammino virtuoso

**Analisi UNIBO**  
Analisi multiparametrica su  
rottture, analisi della serie  
storica 2013-2018

2019



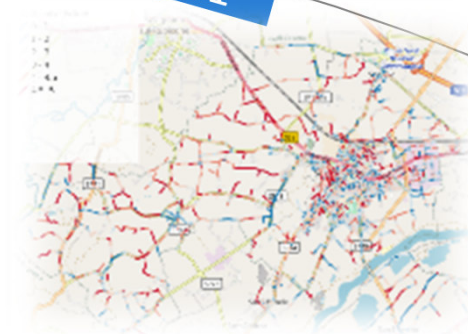
**Revisione LINEE  
GUIDA MATERIALI**  
Scelta del materiale più  
idoneo sulla base di  
più fattori

2020



**Manutenzione PREDITTIVA**  
Applicazione modelli  
previsionali a più variabili nella  
Ricerca Perdite e nei Rinnovi

2021



# Le Variabili che influenzano le rotture

## Caratteristiche gestionali

- Materiale
- Vetustà
- Diametro
- Pressione



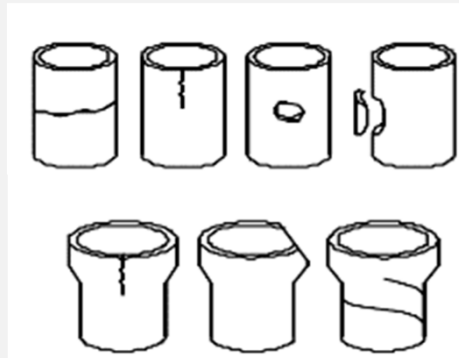
## Fattori multipli agiscono su Materiali diversi

- pressione interna ed esterna
- cicli termici
- rigonfiamento del terreno
- sollecitazioni vicino ai giunti
- sforzi assiali reiterati
- corrosione

Materiale della tubazione	E (N/m <sup>2</sup> )
Acciaio	≈ 2,06 · 10 <sup>11</sup>
Ghisa	≈ 1,05 · 10 <sup>11</sup>
Tubazioni cementizie	≈ 1 · 10 <sup>10</sup>
Fibrocemento	1,6 – 2,0 · 10 <sup>10</sup>
PVC	2,94 · 10 <sup>9</sup>
PEAD	8,8 · 10 <sup>8</sup>

## Fattori Esterni

- Temperatura
- Tipo suolo
- Livello Falda, Salinità
- Traffico stradale



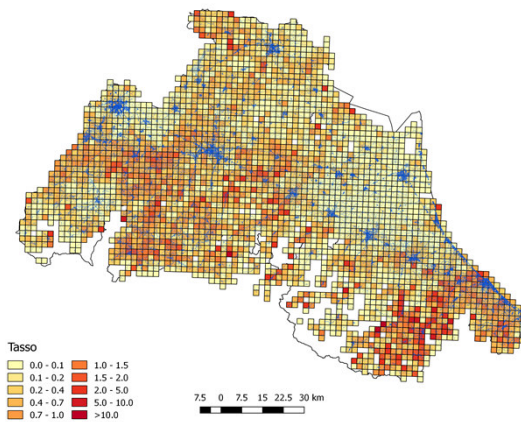
- a circonferenza
- longitudinale
- foro diretto
- spaccatura della campana

Fonte: Salvioli (2005)

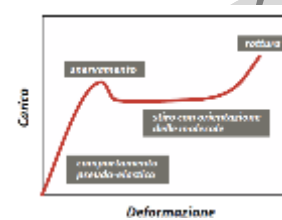
## Il Materiale

ROTTURE PER MATERIALE							
	ACC	CA	GHS tot	PE	PVC	n°	Tasso
2013	11.40%	12.00%	1.57%	71.27%	3.75%	10.181	0.38
2014	10.17%	7.96%	1.07%	78.62%	2.18%	11.224	0.42
2015	9.58%	8.83%	0.98%	78.27%	2.34%	12.826	0.47
2016	9.95%	8.95%	1.21%	77.49%	2.40%	12.233	0.45
2017	9.93%	10.44%	1.51%	75.86%	2.26%	13.912	0.51
2018	9.65%	8.61%	0.99%	78.52%	2.24%	12.769	0.47

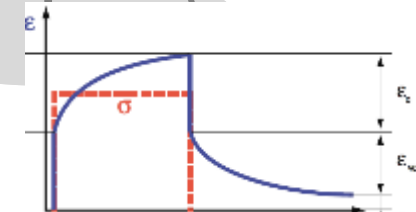
ANALISI DEI TASSI PER MATERIALE					
	ACC	CA	GHS tot	PE	PVC
2013	0.28	0.19	0.09	0.72	0.08
2014	0.28	0.14	0.07	0.88	0.05
2015	0.30	0.18	0.07	1.00	0.06
2016	0.29	0.17	0.08	0.94	0.06
2017	0.33	0.23	0.11	1.05	0.07
2018	0.30	0.18	0.07	1.00	0.06
tasso medio per materiale	0.30	0.18	0.08	0.93	0.06
Età delle condotte					
età media elementi in rete (anni)	37	48	28	25	23
% condotte età > 50 anni	20.9%	38.6%	15.3%	1.2%	2.4%



- Aumento progressivo del **tasso di rotture** negli ultimi 5 anni per PE.
- Il **tasso di rottura medio** per materiale conferma un valore molto **più alto** per il **PE**, mentre **PVC e GHS** evidenziano i **tassi più bassi**.
- **Età media** delle condotte **confrontabile per i materiali plastici** (PE e PVC), pur con **tassi di rottura molto diversi**

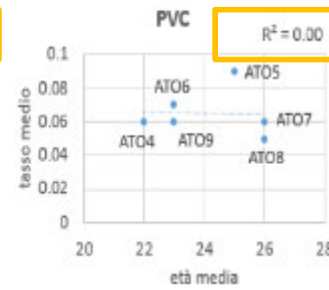
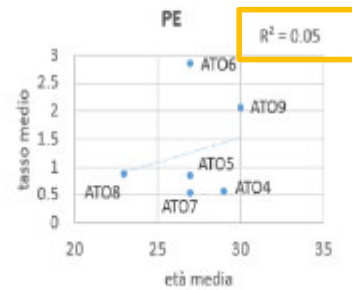
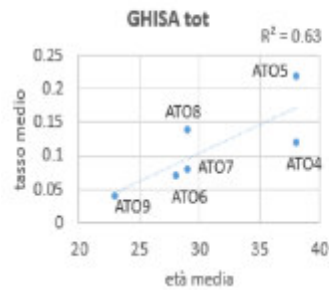
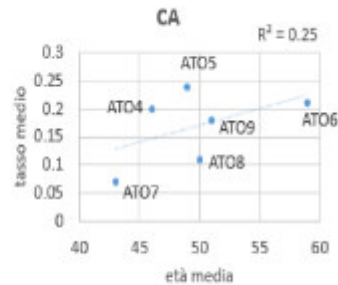
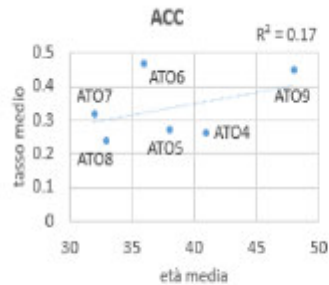


comportamento elastico



comportamento visco elastico

# La Vetustà



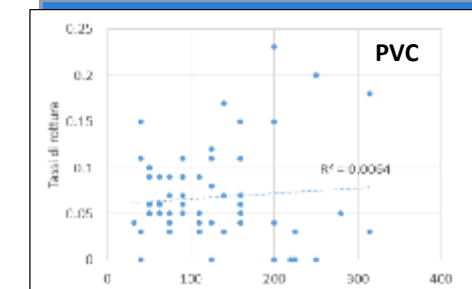
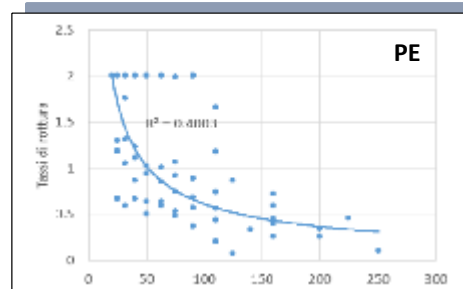
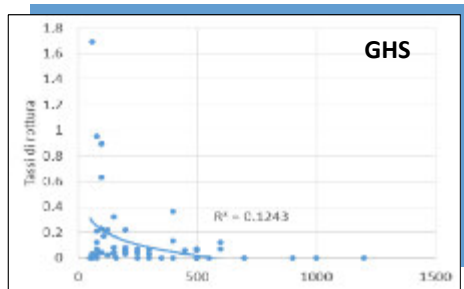
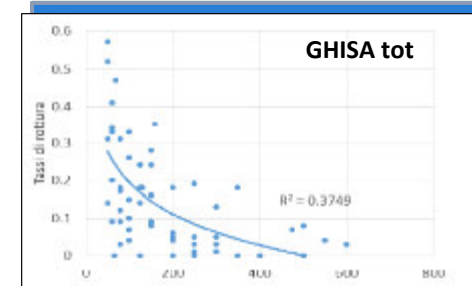
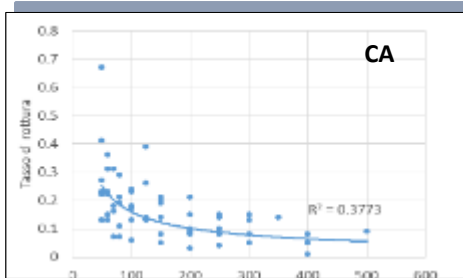
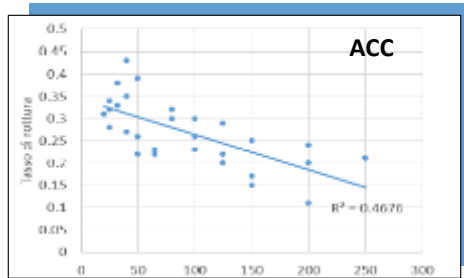
Correlazione tra il **tasso di fallanza** e l'**et  media delle condotte** non   significativa per tutti i materiali.

**Correlazione significativa** fra tassi medi di rottura ed et  media delle condotte solo per la **ghisa totale**.  
Correlazione molto **bassa** per i materiali **plastici**.

Il **tasso medio** del **PE**   **pi  elevato** a quello degli altri materiali, seppure poco correlato con la vetust  del materiale.  
Potenziati i **controlli** di Laboratori sui **materiali approvvigionati**, test di Laboratorio (es. carico di snervamento, carico di rottura, resistenza alla pressione idrostatica...)



## Il Diametro



**Diametri minori** presentano una **maggiore** correlazione con il **tasso di rottura**.

Diametri piccoli risentono infatti maggiormente delle **perturbazioni pressorie**.

Il **PVC** è l'unico materiale che mostra un'**invarianza** delle caratteristiche meccaniche a questo fattore.

# La Pressione



L'analisi ha confermato l'**incidenza** della variabile **pressione** sui tassi di **rottura** per tutti i materiali.

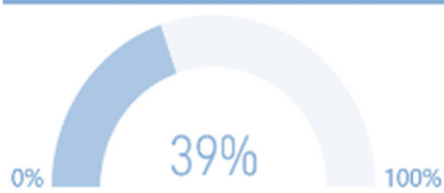
I **materiali plastici** sono maggiormente **interessati** da questa **correlazione**.

Da queste valutazioni partono gli interventi di **riduzione delle pressioni** adottate su tutti i territori e la progressiva **distrettualizzazione della rete** che oggi interessa circa il 40% della rete gestita

Lungh. distretti caricati a TC (km)



% Rete Distrettualizzata



## L' Ambiente

Traendo spunto dall' esperienza operativa si sono attivate **analisi di correlazione** con **parametri esterni** all'infrastruttura acquedottistica, per indagare come influiscono sulla **propensione al rischio rottura**



**Geologia terreno**



**Variazioni termiche**



**Salinità e  
profondità falda**



**Traffico stradale**

# La Temperatura



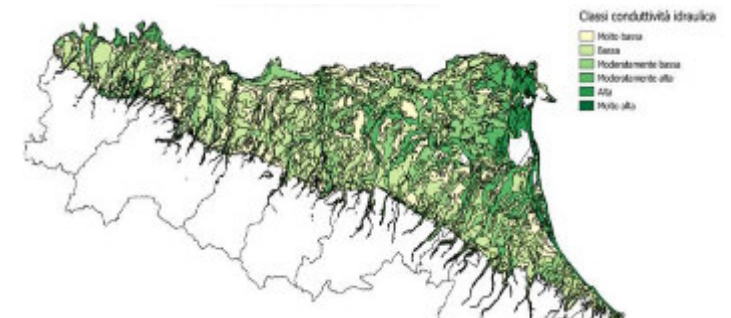
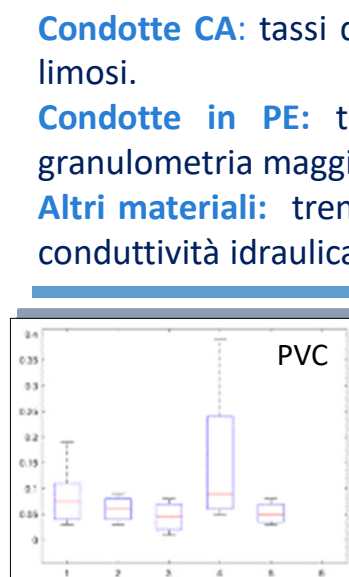
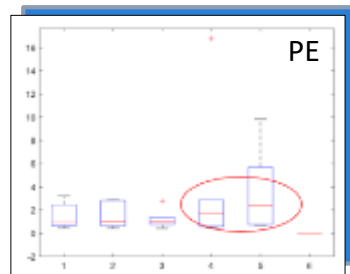
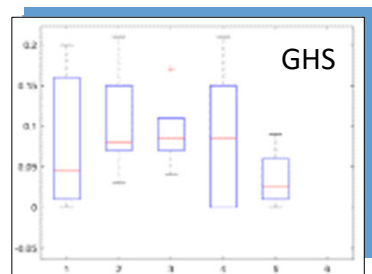
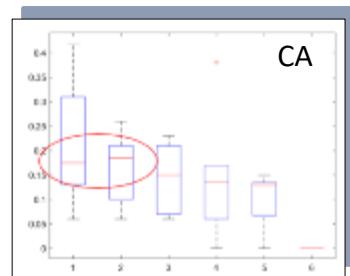
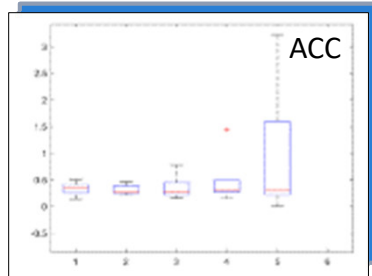
Analisi delle rotture 2013-2018 normalizzate sui mesi dell'anno:

- **marcata influenza** stagionale per il **PE** e meno accentuata, nel caso di acciaio e cemento/amianto.
- **scarsa influenza** della temperatura sulle rotture nel caso di **GHS e PVC**.

Il materiale **più vulnerabile** alle variazioni termiche è il **PE**.

L'aumento della Temperatura accelera il comportamento visco-elastico del materiale

# Il Suolo



Corrosività	Resistività elettrica ( $\Omega$ cm)
trascurabile	maggiore di 12.000
debole	12.000-5.000
media	5.000-2.000
elevata	minore di 2.000

Ogni Suolo ha una diversa **corrosività**, che è inversamente proporzionale alla Resistività elettrica.

Fattori critici sono: Temperatura, Umidità, Salinità

**Condotte CA:** tassi di rottura alti in terreni argillosi e argilloso-limosi.

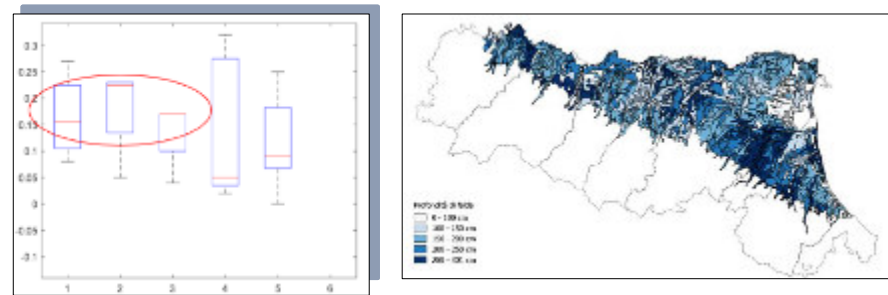
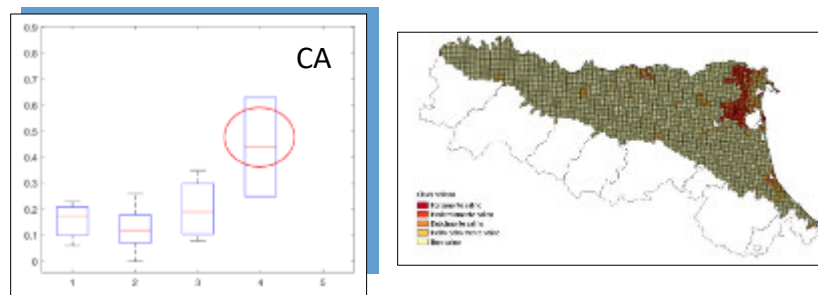
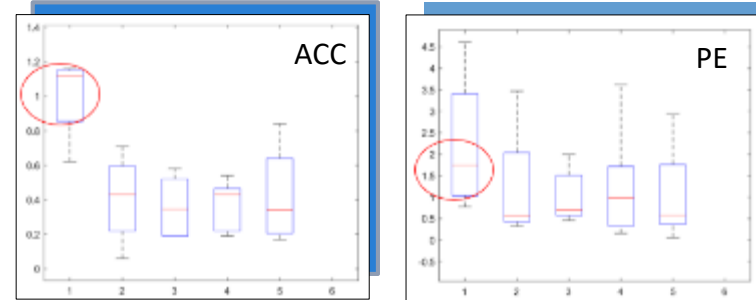
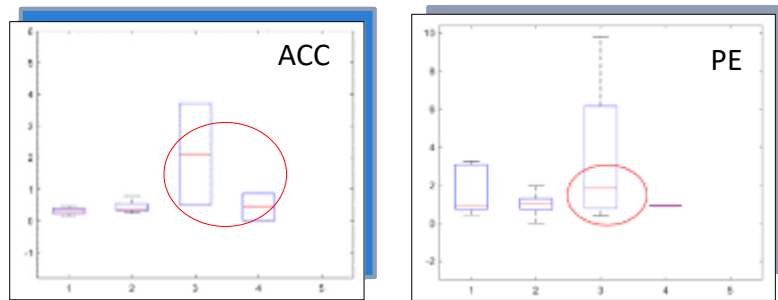
**Condotte in PE:** tassi di rottura più elevati in terreni a granulometria maggiore (franco-sabbiosa).

**Altri materiali:** trend non significativi in funzione del valore di conduttività idraulica e della tessitura granulometrica

Classe conducibilità idraulica saturata	Ks (cm/h)	Classe granulometrica
6 Molto alta	>36	sabbiosa
5 Alta	3.6-36	sabbioso-franca o sabbiosa
4 Moderatamente alta	0.36-3.6	franco-sabbiosa o sabbioso-franca o terreno organico
3 Moderatamente bassa	0.036-0.36	franco-limosa o franca
2 Bassa	0.0036-0.036	argillosa o argilloso-limosa
1 Molto bassa	<0.0036	argillosa

Fonte: Carta della conduttività idraulica del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

# Salinita' e Livello Falda



- 1 Non salino
- 2 Molto debolmente salino
- 3 Debolmente salino
- 4 Moderatamente salino
- 5 Fortemente salino
- 6

Terreni ad alta salinità: **maggiori tassi di rottura** nelle condotte in **ACC, PE e PVC**.  
 Ioni Solfato e Cloruri accelerano il processo dei materiali, in particolare cementizi e metallici

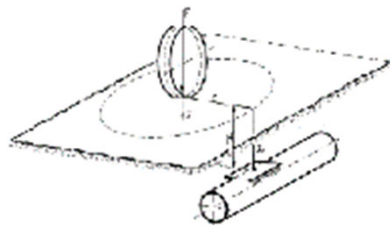
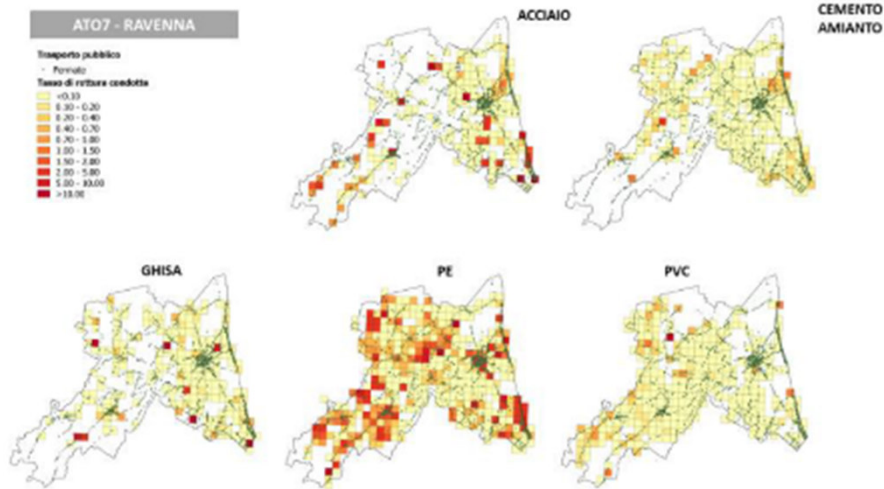
- 1 classe <100
- 2 classe <150
- 3 classe <200
- 4 classe <250
- 5 classe <300
- 6 classe <350

Terreni con falda alta: **maggiori tassi di rottura** nelle condotte in **ACC, CA e PE**.  
 Terreni con alta umidità, soprattutto se l'acqua è salmastra, hanno un potere corrosivo molto alto

Fonte: Carta della salinità del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

Fonte: Carta del livello di falda del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli – Regione Emilia-Romagna

# Il Traffico Stradale



Per tutti il territorio è stata condotta una **prima analisi qualitativa**, che sovrappone le mappe con **fermate di trasporto pubblico** e i **punti di raccolta rifiuti** alle celle con i tassi di rottura.

Per **ATO7** è stata poi svolta un'analisi **quantitativa**, correlando i tassi di rottura a:

- Numero fermate e numero svuotamenti medio mensile
- Numero svuotamenti medio mensile e peso medio mensile degli svuotamenti

La **correlazione**, qui rappresentata per **PE e CA**, tra il tasso di rottura e questi fattori è **evidente**

**PE**

numero svuotamenti	>130	1.54	1.50	1.63
	20-130	0.67	0.71	1.12
	0-20	0.25	0.31	0.76
		0-1	1-2	>2
		numero fermate		


media pesi svuotamenti (kg)	>105	0.35	0.74	1.45
	72-105	0.34	0.82	1.69
	0-72	0.21	0.51	1.50
		0-20	20-130	>130
		numero svuotamenti		



**CA**

numero svuotamenti	>230	0.08	0.08	0.11
	80-230	0.06	0.07	0.08
	0-80	0.03	0.04	0.05
		0-1	1-2	>2
		numero fermate		

media pesi svuotamenti (kg)	>110	0.03	0.05	0.10
	80-110	0.03	0.06	0.08
	0-80	0.04	0.10	0.11
		0-80	80-230	>230
		numero svuotamenti		



# Le Linee Guida per i Materiali

3 FATTORI CONSIDERATI.....

3.1	PRESSIONE DI ESERCIZIO.....
3.2	DIAMETRO INTERNO.....
3.3	MATERIALE MONTE-VALLE.....
3.4	ALTEZZA RICOPRIMENTO.....
3.5	CLASSIFICAZIONE STRADA.....
3.6	TUBAZIONE STRATEGICA.....
3.7	TERRENO AGGRESSIVO.....
3.8	INSTABILITÀ PENDII.....
3.9	CONTINUITÀ PROTEZIONE CATODICA.....
3.10	TEMPI D'INTERVENTO RIDOTTI.....
3.11	PRESENZA DI ALLACCI.....
3.12	CONTESTO DI POSA CRITICO.....

Descrizione	u.m.	Valore
<b>Pressione di esercizio</b>	<b>bar</b>	<b>p &lt; 16</b>
<b>Diametro interno</b>	<b>mm</b>	<b>&lt; 300</b>
Materiale monte	-	PE
Materiale valle	-	ACC
Altezza ricoprimento	m	>= 0,5
Classificazione strada	-	Comunale
Tubazione strategica	-	NO
Terreno aggressivo	-	NO
Instabilità pendii	-	NO
Continuità protezione catodica	-	NO
Tempi d'intervento ridotti	-	NO
Presenza di allacci	-	NO
Contesto di posa critico	-	NO



File Excel di Calcolo

ACC	GH	PVC	PE
✓	✓	✓	✓

Reset

Verifica materiale

Materiale standard suggerito

PVC

Materiale alternativo

NO

GH RIV PE PN25

✓ ✓

Pe < 16 bar → sono idonei tutti materiali  
 16 bar ≤ Pe ≤ 25 bar → sono idonei solo ACC, GH e PE PN25  
 Pe ≥ 25 bar → sono idonei solo ACC e GH

DI < 300 mm → sono idonei tutti i materiali  
 DI ≥ 300 mm → sono idonei ACC, GH, PE PN25

Nelle Nuove Linee Guida per la progettazione dei materiali, sono state integrate a **Pressione** e **Diametro** anche **altre variabili**.

Per **condizioni di pressione e diametro importanti** si orienta la scelta verso la **GHISA**, mentre tra i materiali plastici viene suggerito il **PVC**, a meno di condizioni al contorno che portino ad altre valutazioni.

# Le Nuove Variabili per la Progettazione

## 3.5 CLASSIFICAZIONE STRADA

La strada potrà essere: strada bianca, con terreno vegetale, comunale, provinciale, statale. In relazione all'intensità del traffico che, in linea generale, è variabile in funzione del tipo di strada, si sono fatte assunzioni di buona prassi.

Sarà previsto il seguente utilizzo dei materiali in relazione alla strada:

- strada bianca, terreno vegetale, strada comunale, strada provinciale → sono idonei tutti i materiali
- strada statale → sono idonei ACC, GH, GH RIV
- pavimentazione di pregio → sono idonei ACC, GH, GH RIV
- posa in banchina di qualsiasi tipo di strada → sono idonei tutti i materiali



## 3.7 TERRENO AGGRESSIVO

L'interazione del materiale della condotta con terreni aggressivi può portare ad una maggiore propensione a rottura, pertanto è opportuno prevenire tale rischio adottando scelte progettuali specifiche in relazione al tipo di terreno.

Sarà previsto il seguente utilizzo:

- terreno NON aggressivo → sono idonei tutti i materiali
- terreno aggressivo → sono idonei PVC, PE PN16, GHISA RIV, ACC (Rivestito), PE PN25

## 3.8 INSTABILITÀ PENDII

Il terreno instabile costituisce una variabile rilevante, soprattutto nei casi di giunzioni a bicchiere come per PVC e GH.

Sarà previsto il seguente utilizzo:

- terreno NON instabile → sono idonei tutti i materiali
- terreno instabile → sono idonei ACC, PE PN16, PE PN25

Le nuove variabili inserite in seguito allo studio con UNIBO per valutare: le vibrazioni da sollecitazioni stradali, l'aggressività del terreno (lo ione solfato presente nei terreni in prossimità del mare), o ancora i movimenti e cedimenti da instabilità. Il modello suggerisce materiali alternativi in presenza di questi fattori



# Le diverse Scelte dei Materiali

## Casistica 1: Classificazione stradale



ACC	GH	PVC	PE
✓	✓	✗	✗
Materiale standard suggerito		GHISA	
Materiale alternativo		NO	
GH RIV	PE PN25		
✓	✗		

Per la Strada Statale



Sono idonei:  
**ACC, GH, GH RIV**

Variabili da considerare nella progettazione:

Descrizione	u.m.	Valore
Pressione di esercizio	bar	p < 16
Diametro interno	mm	< 300
Materiale monte	-	PE
Materiale valle	-	PE
Altezza ricoprimento	m	>= 0.5
<b>Classificazione strada</b>	-	<b>Statale</b>
Tubazione strategica	-	NO
Terreno aggressivo	-	NO
Instabilità pendii	-	NO
Continuità protezione catodica	-	NO
Tempi d'intervento ridotti	-	NO
Presenza di allacci	-	NO
Contesto di posa critico	-	NO

# Le diverse Scelte dei Materiali

## Casistica 2: Aggressività del Terreno



ACC	GH	PVC	PE
✗	✗	✓	✓
<b>Materiale standard suggerito</b>			PVC
<b>Materiale alternativo</b>			NO
GH RIV	PE PN25		
✓	✓		

Per terreni aggressivi



Sono idonei:  
**PVC, PE, GH RIV**

Variabili da considerare nella progettazione:

Descrizione	u.m.	Valore
Pressione di esercizio	bar	p < 16
Diametro interno	mm	< 300
Materiale monte	-	PVC
Materiale valle	-	PE
Altezza ricoprimento	m	>= 0,5
Classificazione strada	-	Comunale
Tubazione strategica	-	NO
<b>Terreno aggressivo</b>	-	<b>SI</b>
Instabilità pendii	-	NO
Continuità protezione catodica	-	NO
Tempi d'intervento ridotti	-	NO
Presenza di allacci	-	NO
Contesto di posa critico	-	NO

# Le diverse Scelte dei Materiali

## Casistica 1: Instabilità dei Pendii



ACC	GH	PVC	PE
✓	✗	✗	✓
Materiale standard suggerito			PE
Materiale alternativo			SI
GH RIV	PE PN25		
✗	✓		

In presenza di Instabilità dei pendii → Sono idonei: **ACC,PE**

Variabili da considerare nella progettazione:

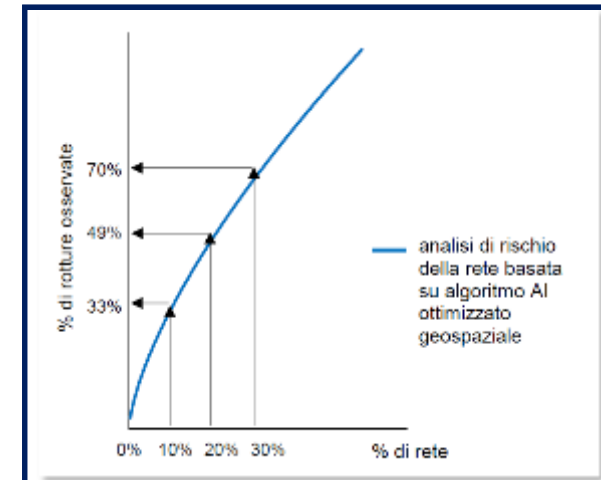
Descrizione	u.m.	Valore
Pressione di esercizio	bar	p < 16
Diametro interno	mm	< 300
Materiale monte	-	PE
Materiale valle	-	PE
Altezza ricoprimento	m	>= 0,5
Classificazione strada	-	Comunale
Tubazione strategica	-	NO
Terreno aggressivo	-	NO
<b>Instabilità pendii</b>	-	<b>SI</b>
Continuità protezione catodica	-	NO
Tempi d'intervento ridotti	-	NO
Presenza di allacci	-	NO
Contesto di posa critico	-	NO

# La Manutenzione Predittiva

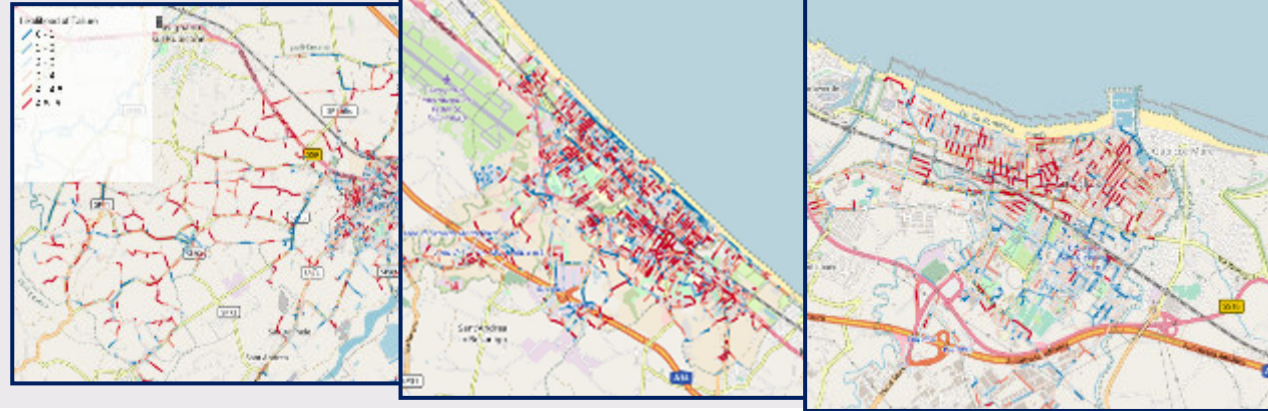
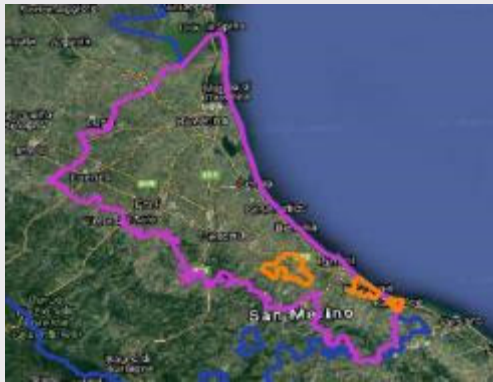


Il modello sviluppato da **REZATECH** in collaborazione con ISOIL permette di **predire il 30% della rete** in cui si verificherà il **70% delle rotture**.

Utilizzo di un algoritmo di AI che utilizza pesi dinamici per le variabili critiche, comprensive di fattori tipici della rete e di altri esogeni.



## Il Progetto Pilota

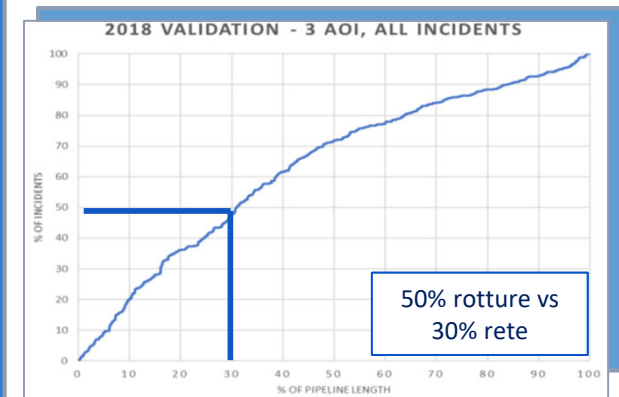
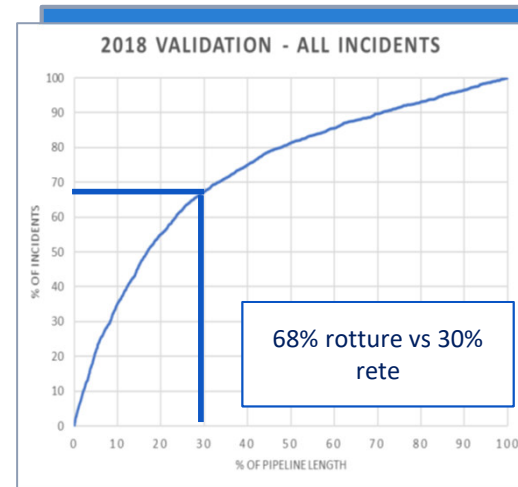


La calibrazione del modello è avvenuta sul **perimetro romagnolo** per circa **8000 km**.

Dalle rotture 2016-2107 l'algoritmo ha restituito le **condotte con Rischio Rottura maggiore (LoF)** nel 2018 per circa 500 km nei Comuni di:

- Sant'Arcangelo
- Cattolica
- Riccione

**Risultati molto prossimi a quelli attesi sull'area di calibrazione**, variabili anche in relazione a modifiche dell'assetto idraulico in alcuni territori. nel 2018



# I Risultati 2020 e gli Sviluppi 2021

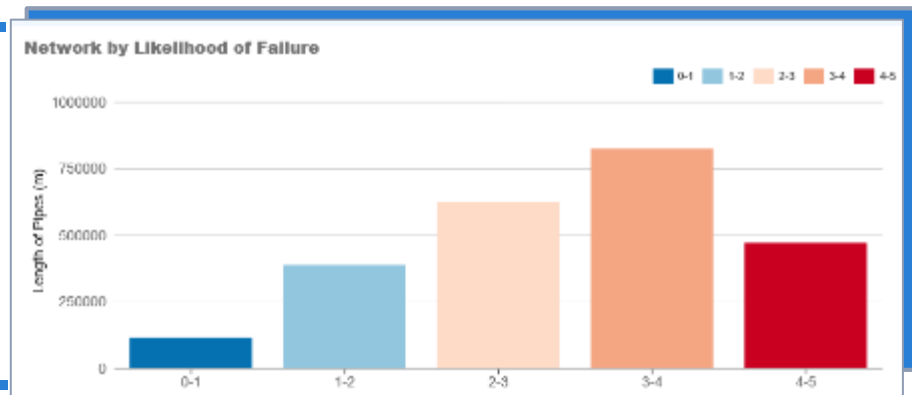
SANT'ARCANGELO Rotture				
LoF	allacci interrati	condotte interrate	Totale	% Rotture TOT
1	0	0	0	0%
2	1	0	1	6%
3	3	0	3	19%
4	0	1	1	6%
4,5	4	3	7	44%
5	3	1	4	25%
<b>totale</b>	<b>11</b>	<b>5</b>	<b>16</b>	<b>100%</b>

SANTARCANGELO Rete		
LoF	Lunghezza Rete km	% Rete
1	10	5%
2	18	9%
3	39	19%
4	69	33%
4,5	48	23%
5	26	12%
<b>totale</b>	<b>208</b>	<b>100%</b>

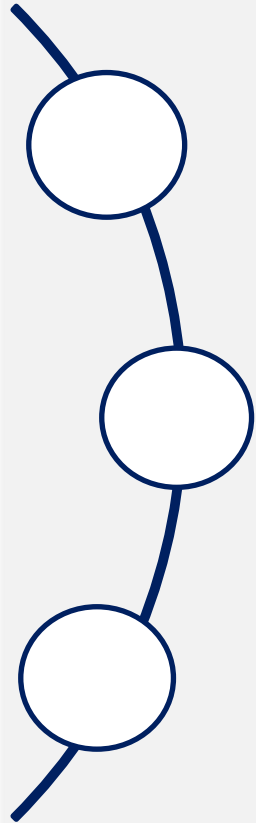
Nel **2020** il modello ha orientato attività di ricerca perdite nel **Comune di Sant'Arcangelo**, permettendo di rilevare perdite con una convergenza prossima a quella attesa.



Nel **2021** l'algoritmo sarà esteso a **2800 km** tra le province di Rimini e di Forlì-Cesena. Nuovo sistema per **orientare** con sempre maggiore efficacia risorse e **attività** sulle tratte di **rete più critiche**.



## I Prossimi Passi



In futuro, sarà estesa l'analisi **dell'influenza dei fattori esogeni**, delle **vibrazioni** indotte nel suolo e della **pressione**, con nuove banche dati e strumenti di monitoraggio ad alta risoluzione



Sviluppo algoritmo di **Manutenzione Predittiva HERA** attraverso collaborazione con UNIBO e Direzione Innovazione



Focus sui **materiali** e sulle caratteristiche meccaniche attraverso **indagini di laboratorio** mirate

