Scuola Politecnica e delle Scienze di Base Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale

Tesi di Laurea in Infrastrutture Idrauliche



Caratterizzazione Sperimentale Statica e Dinamica dell'Equazione di Perdita per Condotte in PVC-A

Relatore

Candidate

Elisabetta Coccia, N49/729

Milena Paternuosto, N49/578

Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

Correlatore

Ch.mo Prof. Ing. Francesco De Paola



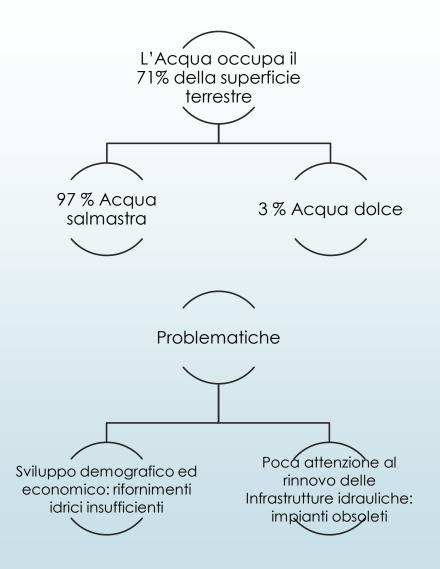
Introduzione



www.greenstyle.it

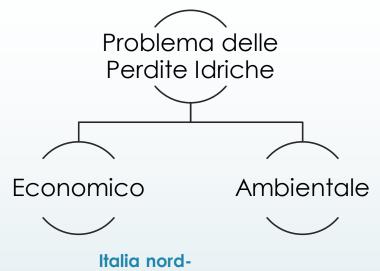


www.androkonos.com





Introduzione



E' necessario adottare politiche mirate al contenimento delle **perdite idriche** e degli **sprechi**, per la salvaguardia dall'inquinamento di tale risorsa attraverso un'adeguata gestione del **Servizio Idrico Integrato.**

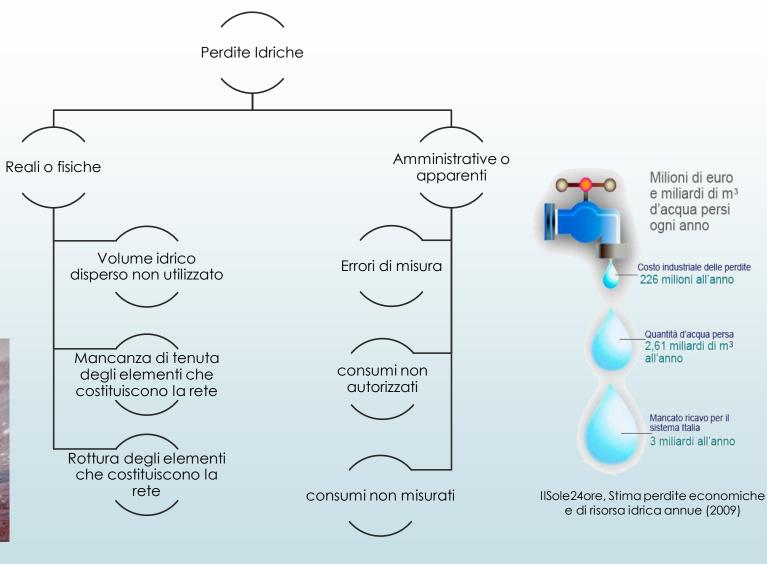


I dati **ISTAT** relativi al censimento 2015, mostrano il netto peggioramento della qualità delle infrastrutture: nel 2014 è andato disperso il **41.4%** dell'acqua potabile immessa in rete. Tale percentuale equivale ad un volume idrico di **3,2 mld di m³** e corrisponde ad una perdita economica di **3 mld di euro** annui.

ISTAT, Censimento delle acque per uso Civile, 2015 Elisabetta Coccia N49/729



Perdite Idriche



3



www.mmspa.eu

Elisabetta Coccia N49/729



Perdite Idriche

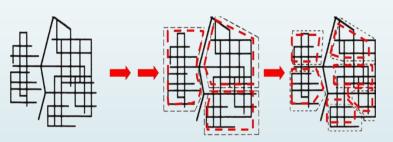
Gestione delle Perdite Idriche:

Tra gli interventi più salienti si riporta il Controllo attivo delle perdite mediante





Distrettualizzazione, DMAs



Valvole di Riduzione della Pressione, PRVs



Recupero Energetico



Quadro Normativo:

- Legge n. 36/1994 ("Legge Galli"), recante Disposizioni in Materia di Risorse Idriche;
- D.P.C.M. 04.03.1996: Disposizioni in Materia di Risorse Idriche;
- D.M. 99/1997: Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature;
- D.Lgs. 152/2006 ("Testo Unico Ambientale").



Scopo e finalità della ricerca

Il presente lavoro è incentrato sull'analisi teorico-sperimentale della correlazione tra pressione e portate disperse in condotte plastiche in **PVC-A**.



- Analizzare il fenomeno delle perdite idriche nelle condotte in pressione, provocato da guasti o/e usura delle stesse;
- Studiare, mediante la simulazione di differenti condizioni operative, il comportamento di tubazioni ad uso idrico di tipo plastico attraverso la caratterizzazione dei parametri della Legge di Perdita.



Legge di Perdita

Il fenomeno delle perdite idriche nelle condotte in pressione è descritto dalla relazione intercorrente tra **portata dispersa** e

pressione di esercizio in rete.

Lo studio dell'efflusso di un fluido attraverso una luce a battente si effettua mediante la classica Legge della Foronomia, proposta da Torricelli.

La relazione tra Portata Persa e Pressione è ben definita da una legge monomia: **Leakage Law**.

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

- μ = coefficiente d'efflusso [-];
- g = costante di accelerazione gravitazionale [m/s²]
- h = carico in una generica sezione a monte della luce [m];
- A = area della sezione dell'orifizio [m²].

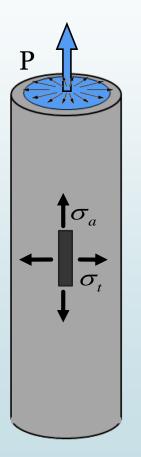
$$Q = \alpha \cdot P^{\beta}$$

- α = coefficiente dimensionale, noto come Emitter Coefficient (I/s · bar);
- β = esponente adimensionale, noto come Leakage exponent;
- P = pressione [bar]



Legge di Perdita

Un approccio alternativo è espresso dalla formulazione **FAVAD** (*Fixed And Variable Area Discharge*), ricavata considerando lo **stato tensionale** agente sulle pareti della tubazione e le **deformazioni elastiche** indotte nell'intorno del foro di perdita dalle pressioni.



$$Q = \mu A_n \sqrt{2g} [h^{\nu} + Ah^{(1+\nu)} + Bh^{(2+\nu)}]$$

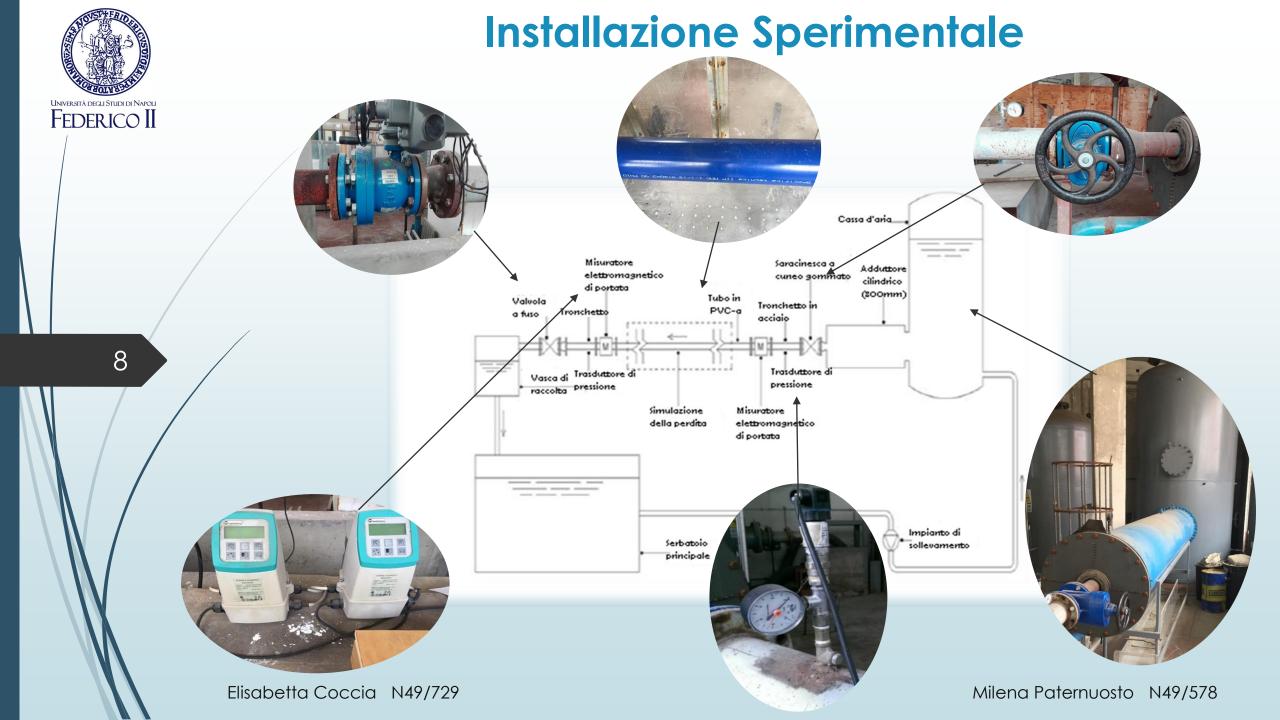
- Q = portata attribuita alla perdita [m³/s];
- h = pressione [m];
- A_n = luce d'efflusso indeformata [m²];
- μ = coefficiente d'efflusso [-];
- v = parametro del modello da calibrare [-];
- A,B = coefficienti dipendenti dalla geometria e dal materiale [-].

$$A = \frac{\rho \cdot g \cdot (\delta^2 + 2)}{E(\delta^2 - 1)}$$
$$B = \frac{\rho^2 \cdot g \cdot (\delta^2 + 2)}{E^2(\delta^2 - 1)}$$

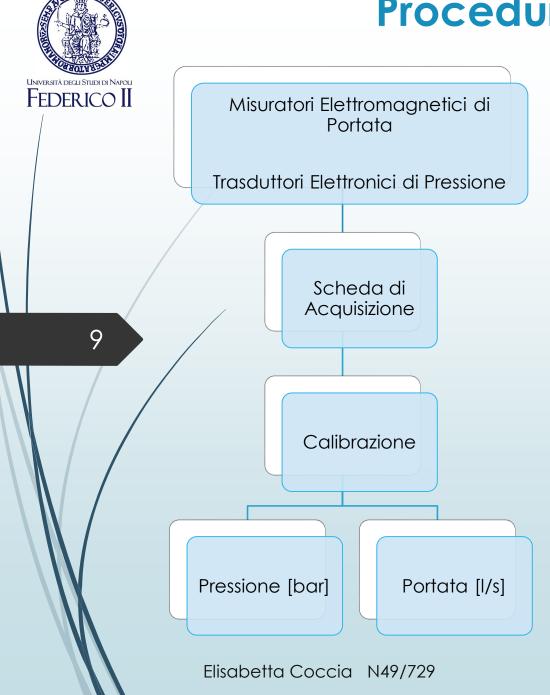
- δ = rapporto tra raggio interno e raggio esterno della condotta
- E = modulo elastico tubazione

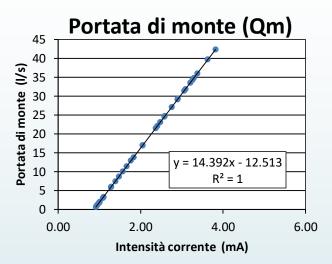
La formula è valida nelle ipotesi di:

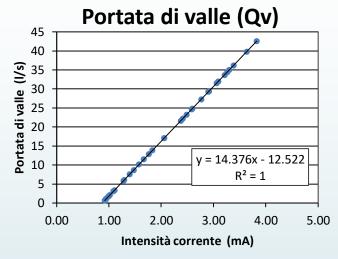
- Tubazione omogenea, isotropa, di lunghezza indefinita, chiusa alle estremità, soggetta a Pressione interna P;
- Assialsimmetria del carico sollecitante e della geometria della tubazione;
- Tensioni principali di parete espresse tramite formulazione di Lamé;
- Comportamento elastico lineare del materiale.

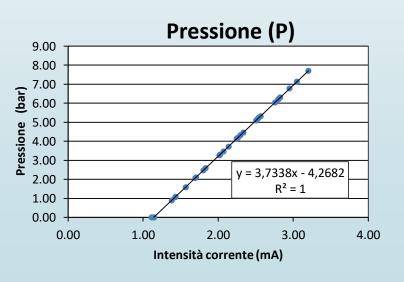


Procedura di Acquisizione dei Dati











Tubazione in PVC-A

Lo studio sperimentale è stato condotto su una tubazione Blu Power in PVC-A, lega polimerica di ultima generazione, composta da: Cloruro di Polivinile (PVC-U) e Cloruro di Polietilene (CPE).

Le caratteristiche principali della lega sono:

- Resistenza alla corrosione chimica ed elettrochimica;
- Ridotta scabrezza:
- Elevata resistenza alla propagazione della cricca;
- Estrema duttilità;
- Peso inferiore a parità di diametro rispetto ai tradizionali tubi in resina;
- Atossicità certificata.



www.blueforce.fitt.com

Caratteristiche Blu Power Crack Resistant Kg/m³ Peso specifico Modulo di Young 2.500 Mpa Coefficente di Poisson 0,38 Coefficente di $7x10^{-5}$ dilatazione termica

www.blueforce.fitt.com

Elisabetta Coccia N49/729

Milena Paternuosto N49/578



Test Sperimentali

Sono stati condotti due tipologie di Test: Statici e Dinamici.

- 1. **Test Statici**: Pressioni e portate pressoché costanti, simulanti il comportamento notturno di un sistema acquedottistico.
- 2. **Test Dinamici**: Range di pressioni e portate variabili, simulanti il comportamento diurno di un sistema acquedottistico.

L'elaborazione dei dati sperimentali ha consentito la stima dei coefficienti:

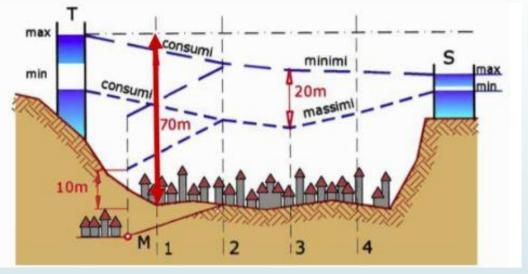
- **a** e **β** per la Leakage Law;
- $\mu e \nu per la FAVAD$.



Prove Statiche - Modellazione Teorica

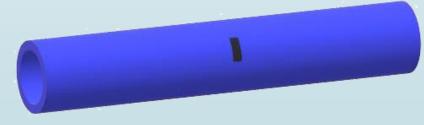
Mediante questa tipologia di prova sono state simulate le condizioni di funzionamento notturno di una rete di distribuzione idrica, caratterizzate da pressioni pressoché costanti, a seguito della ridotta domanda idrica

dell'utenza.



www.federica.unina.it

Lo studio ha posto in evidenza il legame funzionale tra pressione e portata dispersa attraverso un **foro trasversale** di forma rettangolare (2 cm x 3 mm) in una tubazione sollecitata da carichi piezometrici applicati staticamente, nel range di pressioni da 1,0 a 7,0 bar.



Tubazione con foro trasversale

Elisabetta Coccia N49/729

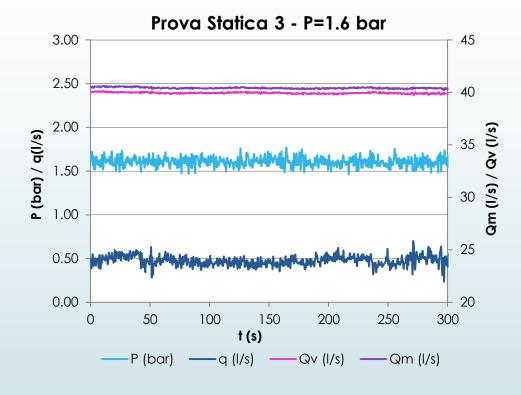
Milena Paternuosto N49/578



Prove Statiche - Analisi di Laboratorio

Sono stati effettuati 25 test statici, aventi tutti durata media di 5 minuti. Per ciascuna prova è stato registrato nel tempo e successivamente diagrammato l'andamento delle:

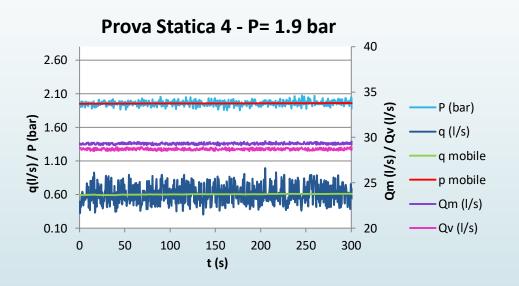
- 1. portate a monte $\mathbf{Q_m}$ (I/s) e a valle $\mathbf{Q_v}$ (I/s) della perdita;
- 2. portate perse **q** (I/s), calcolate come differenza tra portate di monte e portate di valle;
- 3. pressioni P (bar)

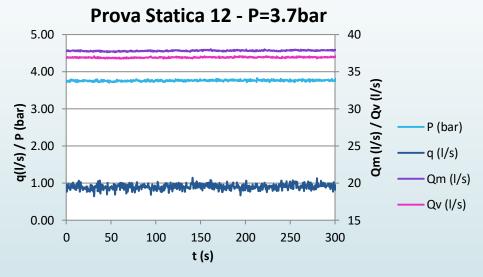




Prove Statiche- Dati Registrati

I test sono stati eseguiti mantenendo sempre completamente aperta la saracinesca a monte dell'installazione sperimentale e fissando di volta in volta il grado di apertura della valvola a fuso a valle.





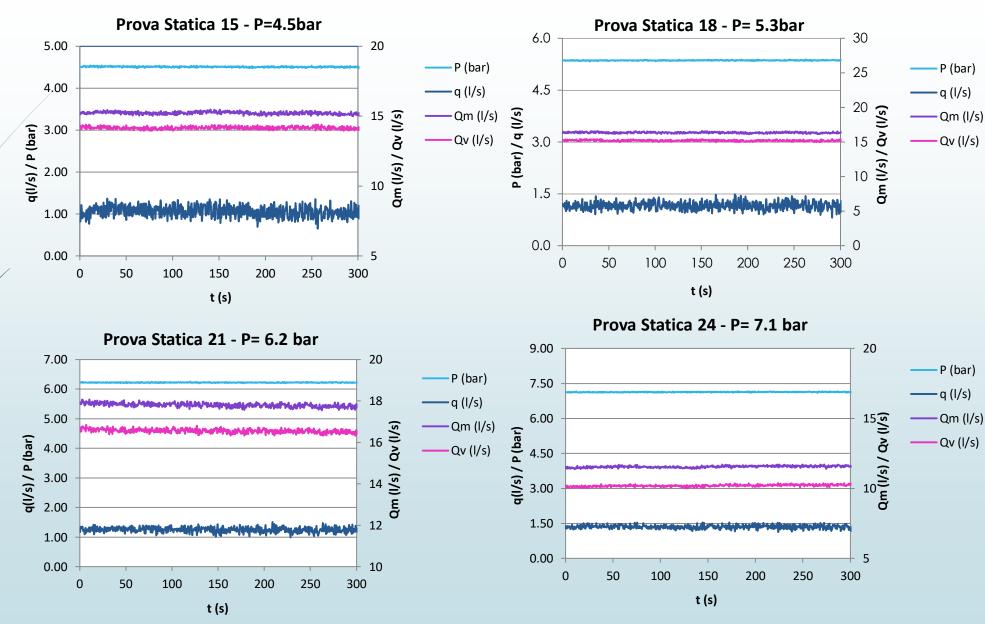
P (bar)	Q _m (I/s)	Q _v (I/s)	q (l/s)	
1.96	29.32	28.71	0.61	

P (bar)	Q _m (I/s)	Q _v (I/s)	q (I/s)
3.76	37.81	36.91	0.90



Elisabetta Coccia N49/729

Prove Statiche- Dati Registrati



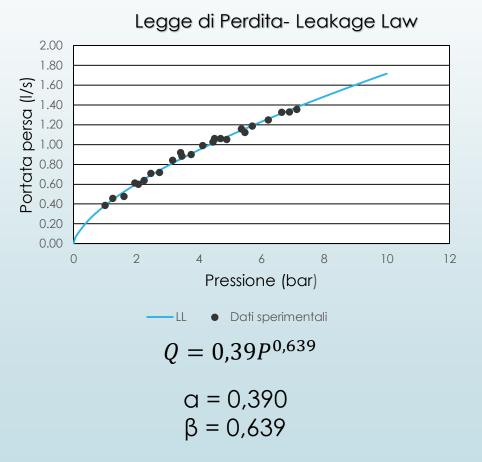
Milena Paternuosto N49/578

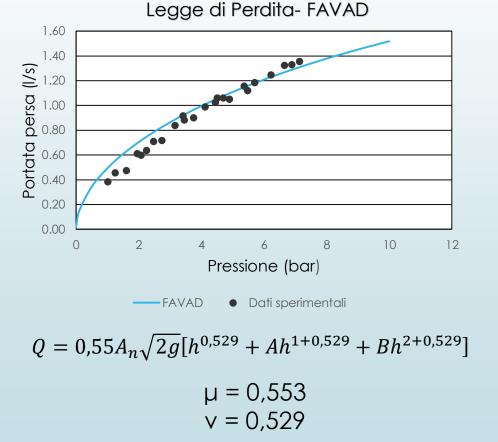


Prove Statiche- Risultati Sperimentali

Eseguendo l'interpolazione dei dati di pressione e portata mediati nel tempo, è stato possibile ricavare i coefficienti numerici:

- a e β per la **Leakage Law**;
- µ e v per la legge FAVAD.

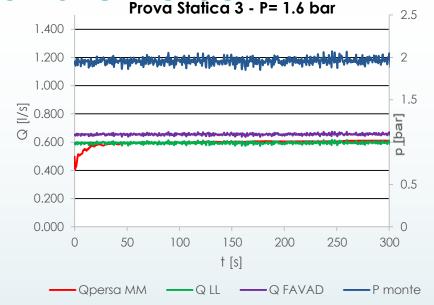




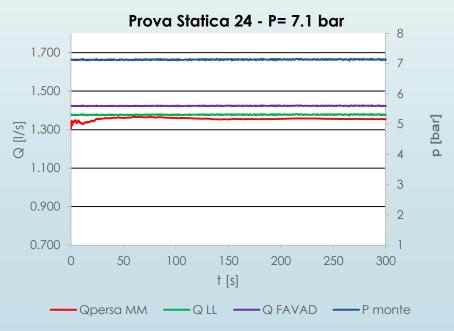


Analisi delle Portate Perse

Dopo aver calibrato i due modelli di interesse, è stato possibile confrontare gli andamenti nel tempo delle Portate Perse registrati con quelli ottenuti dalla loro applicazione.



Si noti come la formulazione elastica **FAVAD** vada a sovrastimare il valore delle portate perse, mentre la **Leakage Law** tenda ad approssimare in maniera più adeguata i reali valori di portata persa.





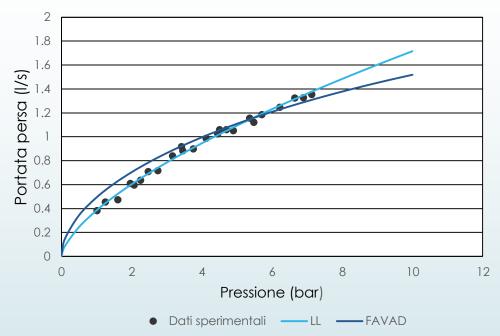
Risultati Prove Statiche

Leggi di Perdita- Prove statiche

Dalla sperimentazione è emerso come la legge che correla in maniera più efficace la relazione Pressioni-Portate Perse per tubazioni in PVC-A sottoposte ad un set di prove statiche è la **Leakage Law**.

Tale risultato denota l'indipendenza del fenomeno da eventuali deformazioni elastiche dell'orifizio di perdita.

Tale comportamento può essere ricondotto a due principali condizioni:



- 1. tutte le prove effettuate sono state di breve durata, non permettendo l'instaurarsi nel materiale di deformazioni viscoelastiche crescenti nel tempo in presenza di sollecitazioni meccaniche costanti;
- 2. la tubazione oggetto delle attività sperimentali, essendo di nuovo utilizzo, non era stata soggetta a stati sollecitanti pregressi: l'orifizio, quindi, non ha subito precedenti deformazioni.



Prove Dinamiche: Modellazione Teorica

Simulano la variazione di portata giornaliera nelle reti di distribuzione idrica, funzione della domanda idropotabile dell'utenza servita.

Le prove sono state eseguite regolando con diversi gradi di apertura la valvola a fuso posta a valle della tubazione simulante la perdita idrica, così da comportare la variazione delle portate erogate durante i test sperimentali.

Per tali prove è stata eseguita l'acquisizione e la registrazione dei dati con riferimento a 6 differenti Pattern di consumo, per un totale di 16 Test Dinamici:

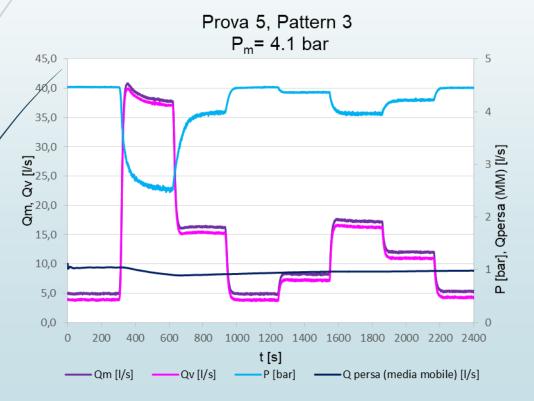
- Pattern 1: prova di durata 26 min e pressione P variabile (tra 4,4 bar e 7,2 bar)
- Pattern 2: prova di durata 20 min e pressione P variabile (tra 2,0 bar e 6,2 bar)
- Pattern 3: prova di durata 40 min e pressione P variabile (tra 1,5 bar e 4,5 bar)
- Pattern 4: prova di durata 9 min e pressione P variabile (tra 1,5 bar e 4 bar)
- Pattern 5: prova di durata 14 min e pressione P variabile (tra 2,0 bar e 7,2 bar)
- **Pattern 6**: prove di durata 4 min e 7 min e pressione P variabile (tra 2,0 bar e 7,0 bar)

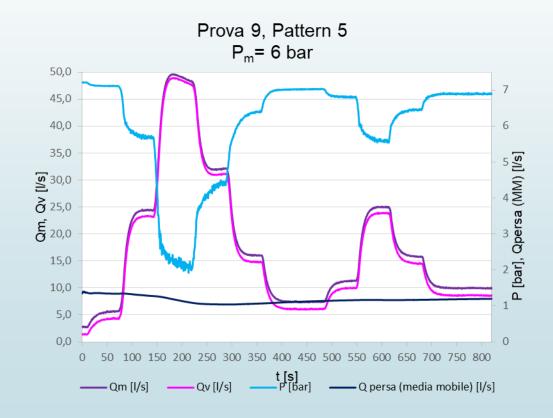


Prove Dinamiche: Dati Registrati

Analogamente alle prove statiche, per ogni prova dinamica è stato diagrammato nel tempo l'andamento delle:

- 1. portate a monte $\mathbf{Q_m}$ (I/s) e a valle $\mathbf{Q_v}$ (I/s) della perdita;
- 2. portate perse **q (l/s)**, calcolate come differenza tra portate di monte e portate di valle;
- 3. pressioni P (bar).



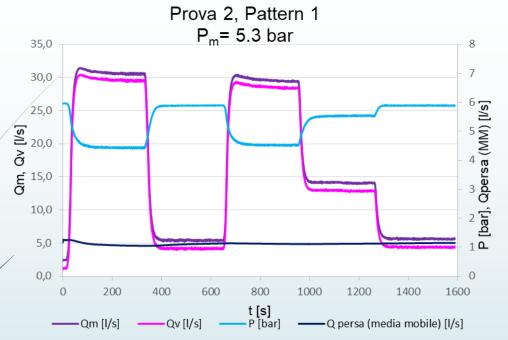


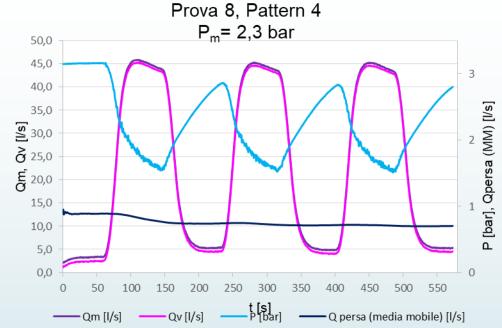
Elisabetta Coccia N49/729

Milena Paternuosto N49/578



Prove Dinamiche: Dati Registrati



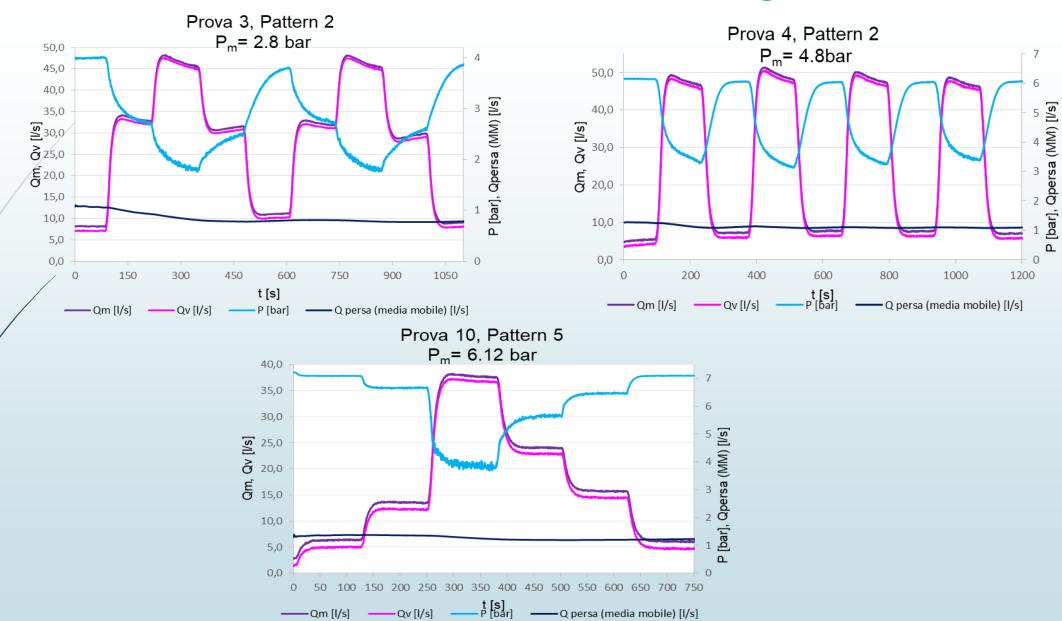


Come si evince dai grafici, l'andamento delle portate disperse si attesta su valori limitati nell'ordine di 1,0 l/s, a seguito delle limitate dimensioni dell'orifizio. Il trend desunto è correlato alle Pressioni, secondo un andamento tale da definire un incremento al crescere del carico piezometrico e viceversa.

Sono state rilevate portate disperse minori di 1,0 l/s (circa 0,6 l/s) per prove con durata e pressione di esercizio ridotte (Prova n° 8).



Prove Dinamiche: Dati Registrati



Elisabetta Coccia N49/729

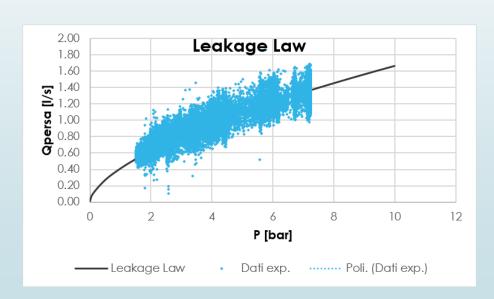
Prove Dinamiche: Risultati Sperimentali

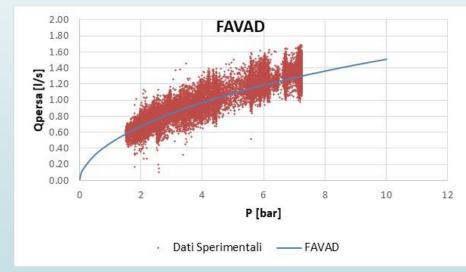
Attraverso la calibrazione dei coefficienti α , β e ν , si definiscono gli andamenti delle leggi di perdita **Leakage Law** e **FAVAD**.

I coefficienti sono stati calibrati implementando un codice di calcolo in Visual Basic, atto a minimizzare la sommatoria degli s.q.m. tra valori sperimentali e numerici.

La calibrazione effettuata ha fornito i seguenti valori dei coefficienti:

- Leakage Law: a = 0.461, $\beta = 0.550$
- FAVAD: v = 0.562

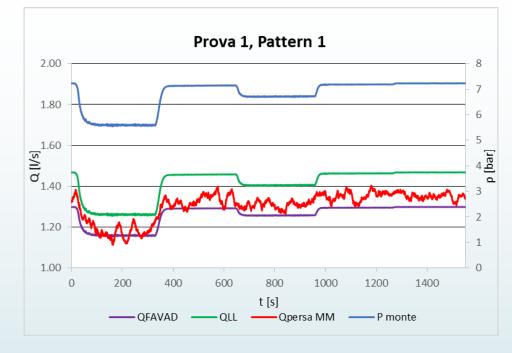


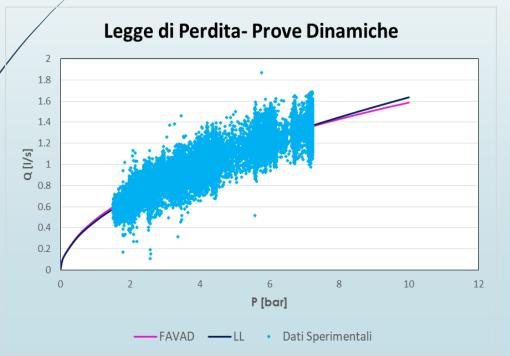




Prove Dinamiche: Risultati Sperimentali

Per ogni prova dinamica, ricavando una funzione interpolante della curva sperimentale, l'andamento può essere definito da una funzione pseudo-lineare. Tale andamento può essere dettato dai cicli di carico/scarico a cui è soggetta la tubazione plastica nelle singole prove, definendo una lieve deformazione dell'orifizio.



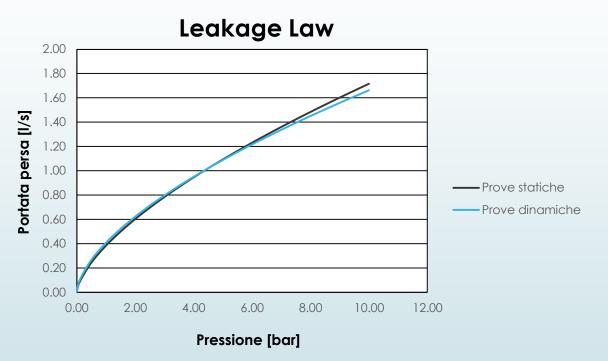


Per pressioni elevate (6 bar), emerge come l'andamento della **Leakage Law** risulti approssimare meglio i valori sperimentali, mentre la legge **FAVAD** tende a sottostimarli.



Conclusioni

L'elaborazione dei dati desunti dalle sperimentazioni di laboratorio non ha evidenziato scostamenti elevati tra i coefficienti a, β e v ricavati per Prove Statiche, rispetto a quelli ricavati da Prove Dinamiche.



Tipologia di Prova	a	β
Statica	0,390	0,639
Dinamica	0,461	0,550

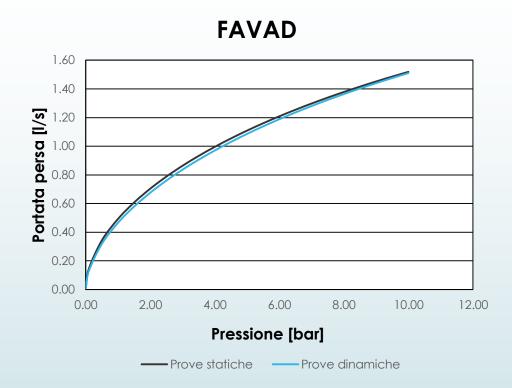


Conclusioni

La legge di perdita **FAVAD** è risultata tra le due, la meno efficace nell'interpolazione dei dati sperimentali.

Si evince quindi che, nel range di pressioni investigato, l' effetto della deformazione dell'orifizio dovuta al comportamento visco-elastico del materiale risulta pressoché trascurabile.

Si evidenzia quindi come, anche per un materiale plastico quale il PVC-A, i valori di portata dispersa da tubazione lesionata, siano influenzati principalmente dalla pressione, piuttosto che dal comportamento tenso-deformativo del materiale.



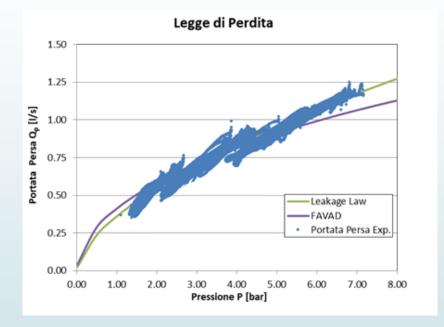
Tipologia di Prova	v	
Statica	0,529	
Dinamica	0,562	

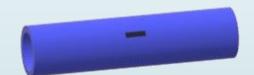


Conclusioni

Al fine di ampliare il range di investigazione, si riportano i risultati relativi ad un test sperimentale sulla medesima tubazione caratterizzata da una luce rettangolare, di dimensioni 2 cm x 2,5 mm, orientata longitudinalmente.

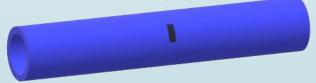
Dal confronto dei dati emerge che le dimensioni e la geometria della luce influenzano parzialmente l'entità delle portate disperse. La pressione resta però un fattore predominante nella genesi delle perdite idriche.





Tubazione con foro longitudinale

	Foro Longitudinale			Foro Trasversale		
Tipologia di Prova	FAVAD	Leakage Law		FAVAD	Leaka	ge Law
Statica	v=0,510	a= 0,319	β= 0,660	v= 0,529	a= 0,390	β= 0,639
Dinamica	v=0,520	a= 0,359	β= 0,610	v= 0,562	a= 0,461	β= 0,550



Tubazione con foro trasversale



Grazie per l'attenzione!