

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI FEDERICO II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA)

CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

TESI DI LAUREA TRIENNALE
IN INFRASTRUTTURE IDRAULICHE

**ANALISI SPERIMENTALE DELLA CORRELAZIONE TRA
PRESSIONE E PERDITE IDRICHE PER UNA CONDOTTA
IN PE_{ad} POSATA IN CEMENTO CELLULARE**

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

CANDIDATO

Raffaele Laus

Matr. N49/288

CO-RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

Anno Accademico: 2014/2015

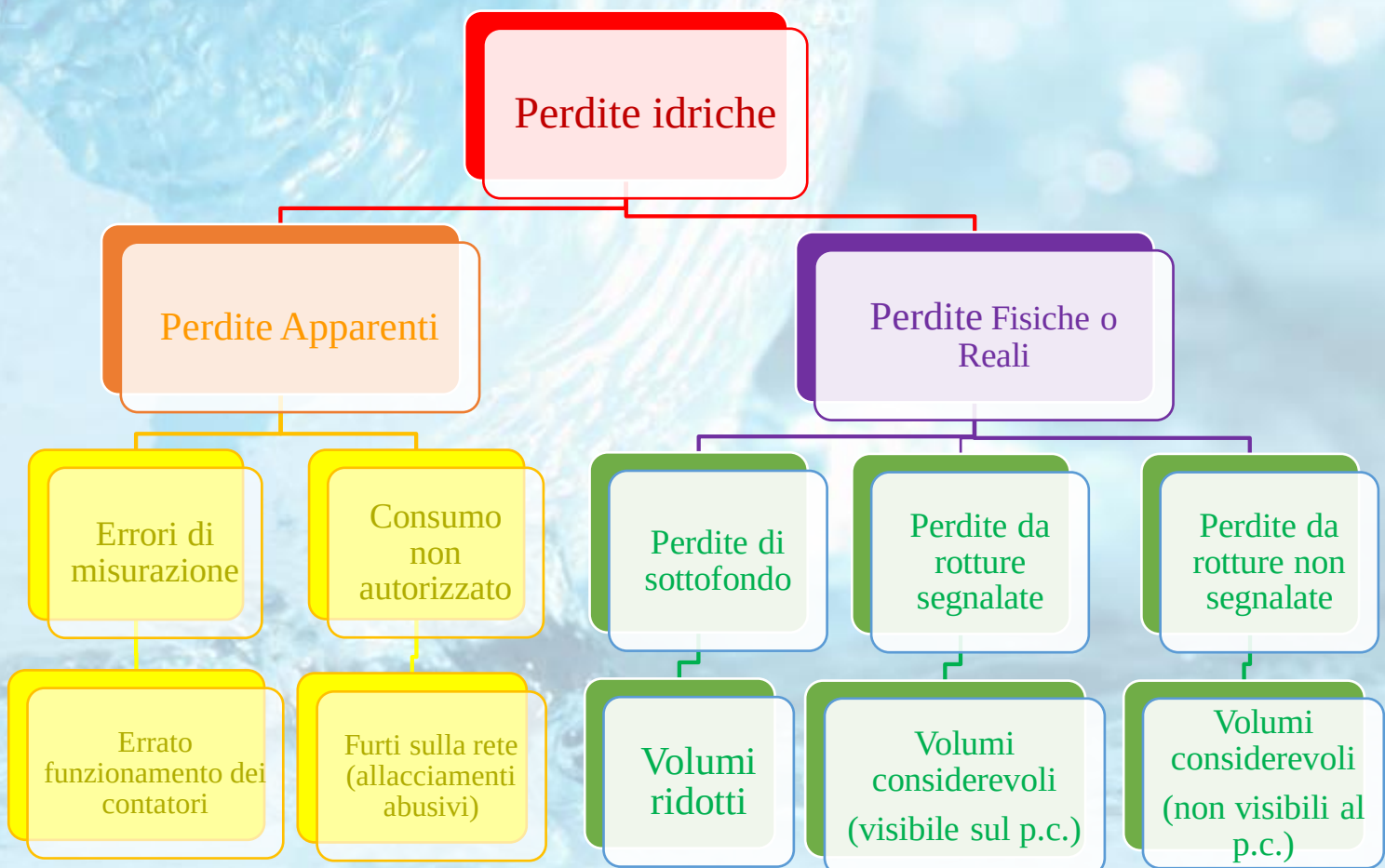
Sintesi dell'Elaborato di Tesi

- Presentazione e scopo dell'elaborato di tesi
- Perdite idriche nei sistemi acquedottistici
 - ➔ Classificazione Perdite
 - ➔ Situazione in Italia
 - ➔ Cause Scatenanti e Tipologie di Intervento
- Regolazione del Cielo Piezometrico per la riduzione delle perdite
- Installazione sperimentale
- Prove sperimentali
 - ➔ Risultati e Confronti
- Conclusioni

Introduzione

Il presente lavoro è incentrato su uno studio sperimentale circa l'analisi della correlazione tra pressioni agenti in condotte e portate perse, in condizioni di posa con cemento cellulare.

Classificazione delle perdite



Situazione in Italia

Si stima che, su circa 8.7 miliardi di m^3 immessi annualmente nel sistema idrico nazionale, si determinino volumi di perdita di circa 2.61 miliardi di m^3 , corrispondenti a circa il 30% di risorsa utilizzata.

(fonte Co.Vi.Ri. 2009)

**Volume idrico totale annuo immesso in rete:
8.7 miliardi di m^3**



■ Volume idrico utilizzabile annualmente

■ Volume idrico perso annualmente

L'ingente mole di perdite idriche comporta un costo industriale annuo di **221 milioni di €** e un mancato ricavo da parte complessivo di **3 miliardi di € annui.**



Esempi di perdite fisiche reali

Cause Scatenanti delle Rotture in Rete

La rottura di una condotta, con la conseguente perdita idrica, è attribuibile a diverse cause:



Tipologie di intervento

Controllo Passivo ➡ Esecuzione dell'intervento manutentivo a valle del rilievo visivo della perdita, per affioramento in superficie

Controllo Sistemático ➡ Controllo periodico e programmato dello stato di usura delle condotte, con azioni indirizzate alla manutenzione ordinaria.

Controllo Attivo ➡ Azioni di monitoraggio in continuo, indirizzate alla regolazione del cielo piezometrico mediante criteri di **Distrettualizzazione** e di utilizzo di **Valvole di Riduzione della Pressione PRVs**

Regolazione del Cielo Piezometrico per la Riduzione delle Perdite

Legge di perdita

Dalla letteratura ingegneristica di settore, per l'efflusso da una luce a battente si suole utilizzare la Legge Torricelliana:

$$Q = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h_1 - h_{gs})}$$

- μ coefficiente di efflusso
- h_1 carico in una generica sezione a monte della luce [m]
- A sezione di efflusso [m²]
- g accelerazione gravitazionale [m/s²]
- h_{gs} quota baricentrica della sezione di efflusso [m]

Da studi sperimentali è emerso come la suddetta relazione possa essere definita da una forma funzionale di tipo monomio:

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

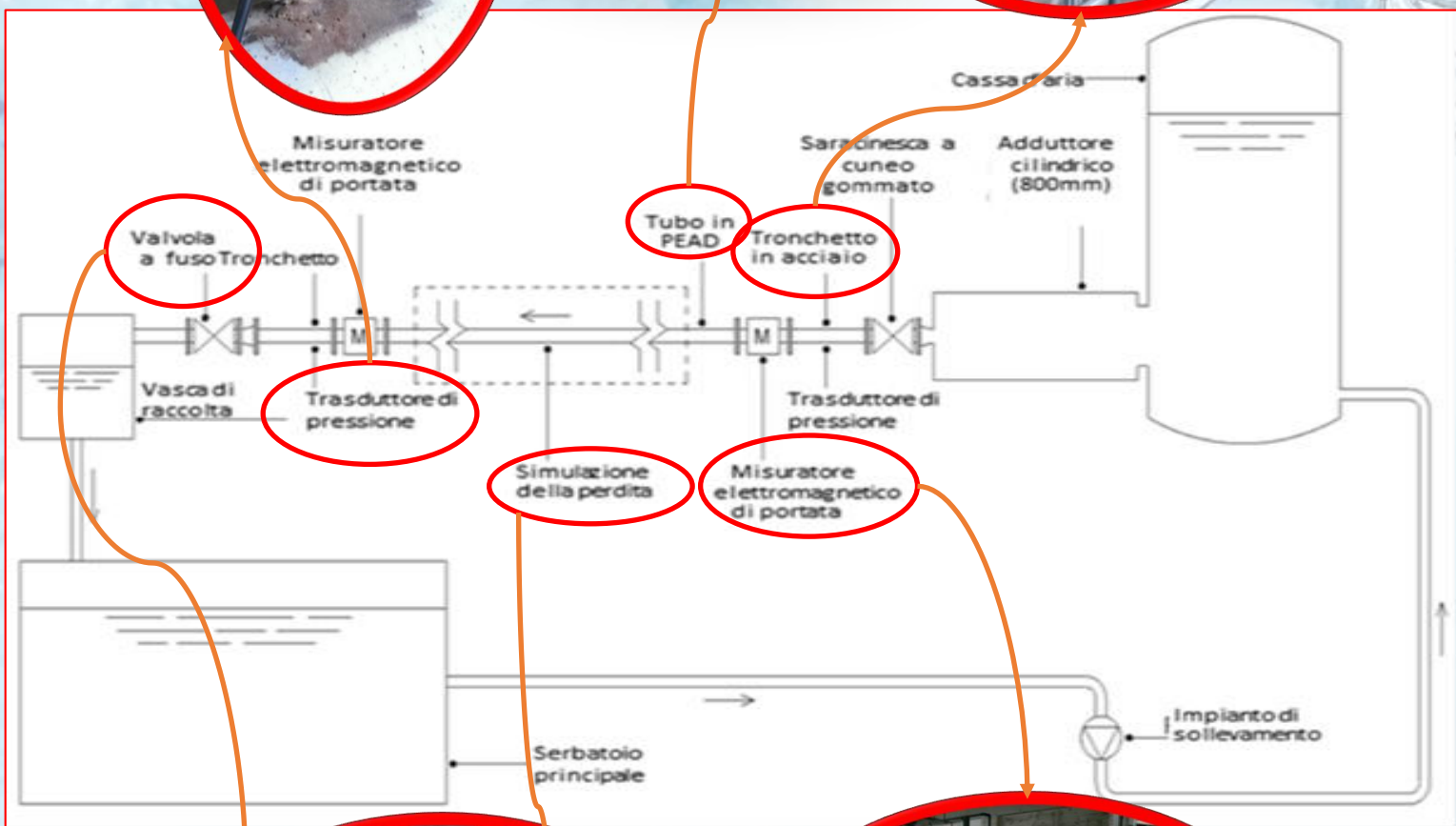
- Q portata attribuita alle perdite (l/s);
- α coefficiente della legge monomia noto in letteratura come Emitter Coefficient (l/s·bar);
- P pressione in rete (bar);
- β esponente adimensionale della legge monomia, noto in letteratura come *Leakage Exponent*.

Dalla relazione è lecito ritenere che da una riduzione della pressione in rete si ottengano minori portate perse.

In questo senso, è sempre più diffuso l'uso di valvole regolatrici della pressione (Pressure Reducing Valves, PRVs)



Installazione Sperimentale



Cemento Cellulare

PROPRIETA'

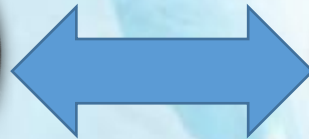
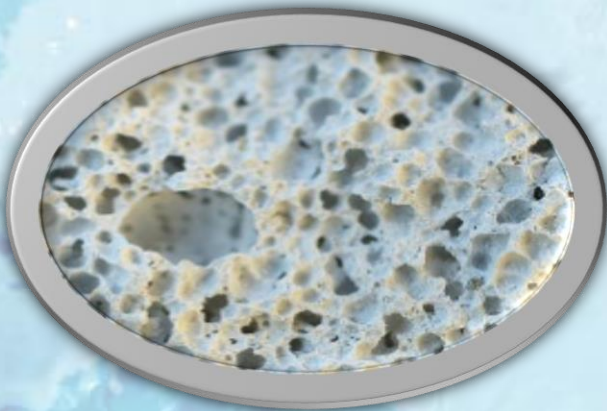
Leggerezza

Isolamento acustico

Isolamento termico

Materiale eco-compatibile

Meno resistente cemento tradizionale



Tubazioni in PEad

PROPRIETA'

Resistenza all'attacco di correnti vaganti

Ridotta scabrezza tubazioni

Ridotta celerità di propagazione perturbazioni

Resistenza alla corrosione chimica

Adattabilità tubo alla configurazione del terreno

Deformazioni maggiori con sollecitazioni meccaniche costanti

Pressioni di esercizio minori o uguali a 16 atm



Installazione Sperimentale

Acquisizione dati



Pressione [bar]

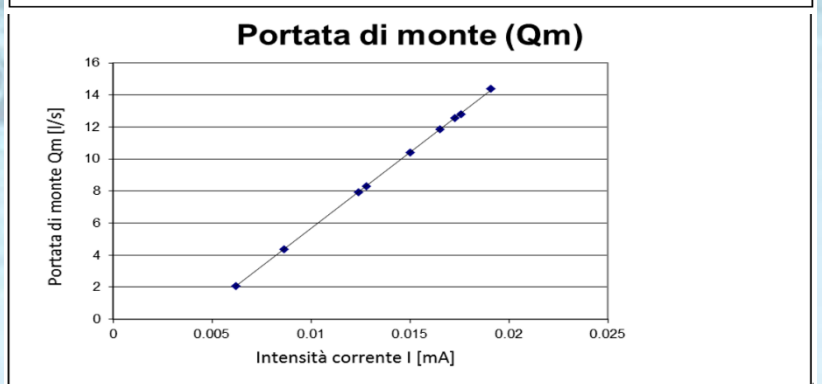
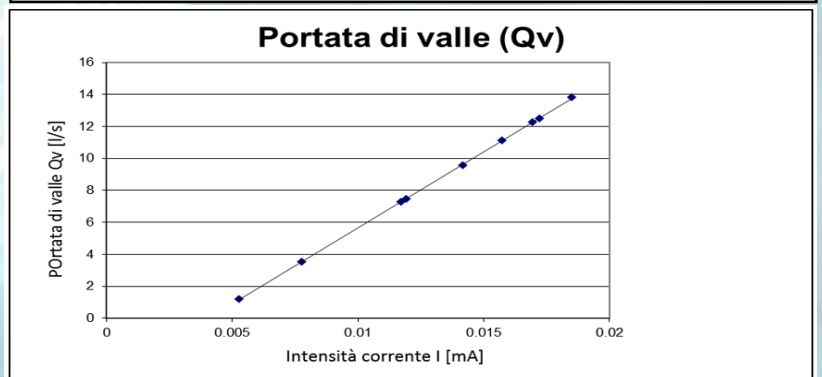
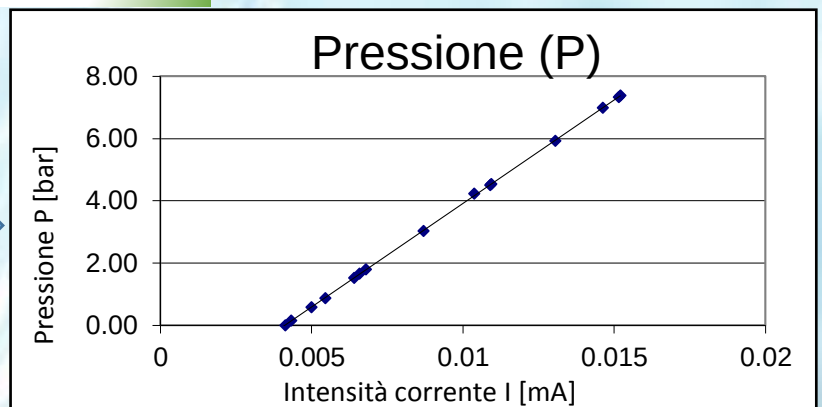
$$P = 665.6x - 2.7427$$

$$x = i \text{ [mA]}$$

Portata [l/s]

$$Q_m = 951.78x - 3.8674$$

$$Q_v = 952.68x - 3.8622$$



Prove Sperimentali

Prove Statiche



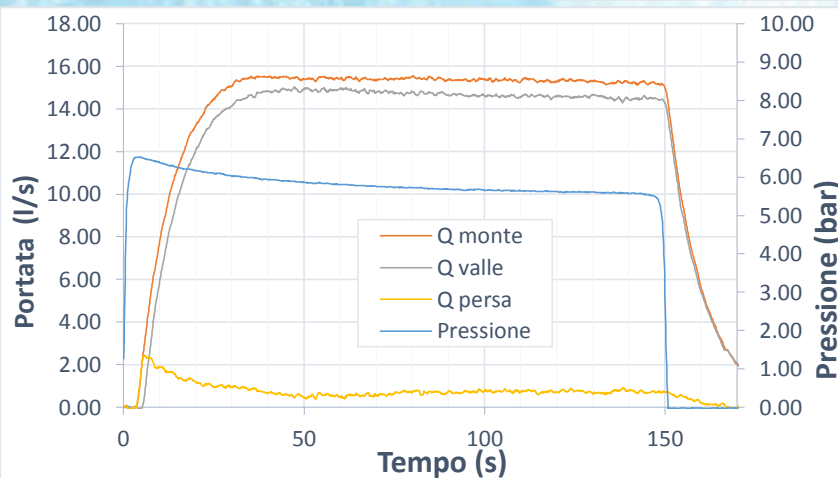
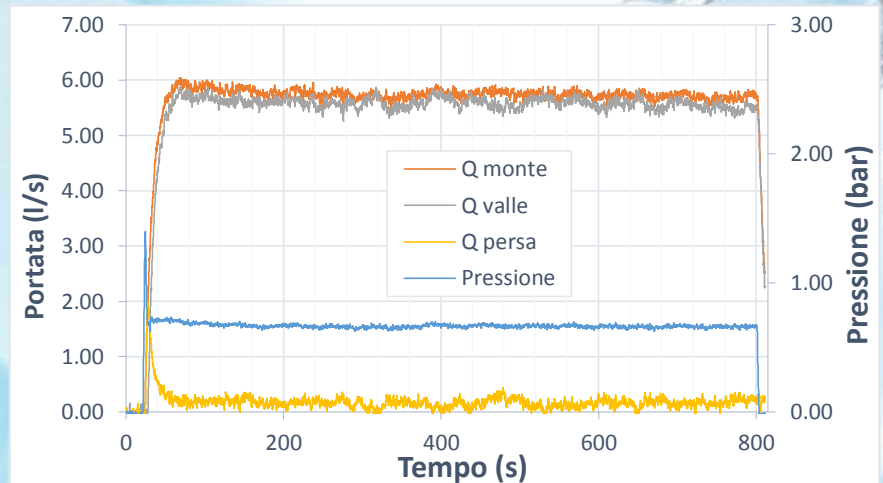
Le prove statiche sono state condotte fissando il grado di apertura della valvola a fuso di valle e regolando il carico piezometrico tramite la parziale o totale apertura della valvola a cuneo gommato di monte.

Sono state eseguite **5 Prove Statiche** con grado di apertura della valvola di valle pari al **50%** alle pressioni di **1bar, 2 bar, 3 bar, 4 bar, 5.5 bar**.

La durata delle prove è risultata variabile da 800s per la prova ad 1 bar a 150 s per la prova a 5.5 bar.

Le prove statiche sono riproduttive delle condizioni di esercizio tipiche delle fasce orarie a minor richiesta dell'utenza

Prova ad 1 bar



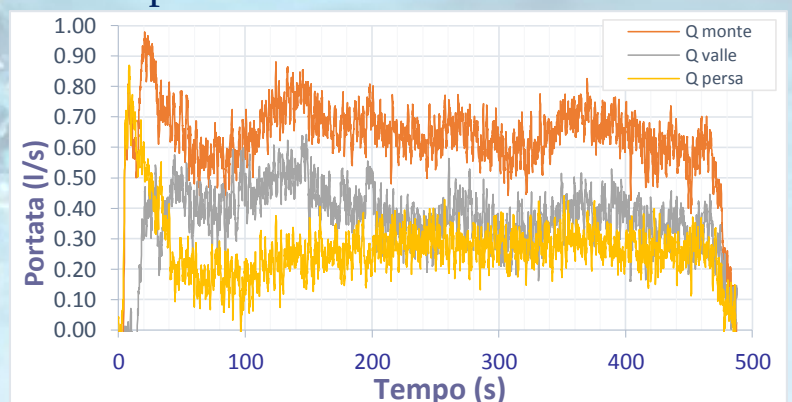
Ciascuna prova è caratterizzata da una fase transitoria iniziale e finale dovuta alla movimentazione della valvola di monte

Prova a 5.5 bar

Sono state inoltre eseguite **2 Prove Statiche** con grado di apertura della valvola a fuso di valle pari al **25%** alla pressione di 1 bar e 2 bar.

È evidente in questa tipologia di prove la difficoltà nella rilevazione dei dati, probabilmente dovuta all'instaurazione di transitori

Prova a 1 bar



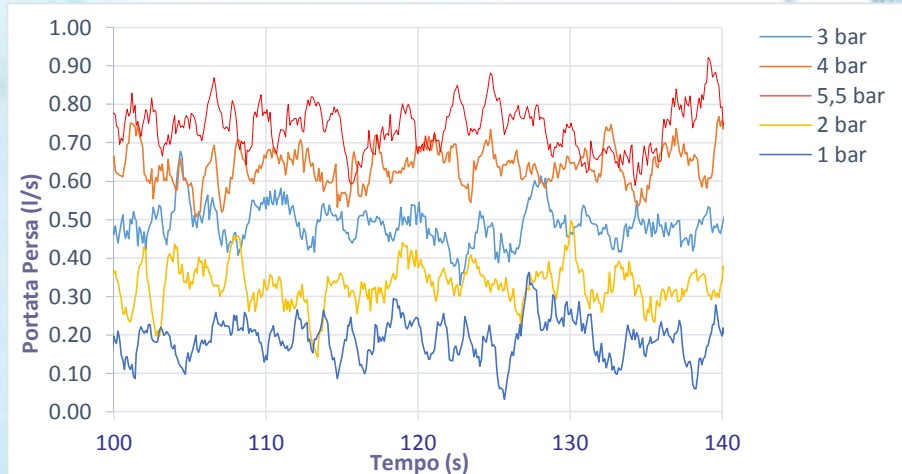
Prove Sperimentali

Prove Statiche

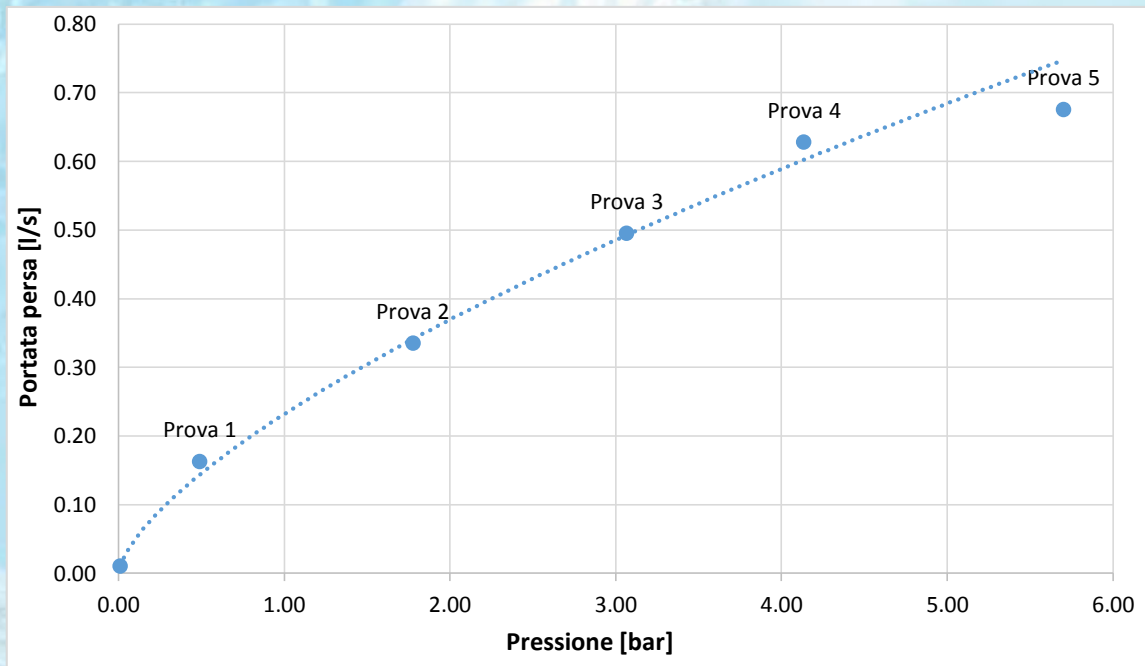


È stato possibile eseguire un confronto tra pressioni e portate perse per le prove di tipo statico con grado di apertura del 50%.

Si può notare come all'aumentare della pressione aumentino le portate perse



Eseguendo l'interpolazione dei dati di pressione media e portata persa desunti, è stato possibile utilizzare una forma funzionale di tipo potenza, che restituisce i valori numerici dei coefficienti α e β della Legge monomia, anche detta **Legge di Perdita**.



Legge di Perdita

$$Q = \alpha \cdot P^\beta \longrightarrow Q_p = 0.2475x^{0.6049}$$

$$\alpha = 0.2475$$

$$\beta = 0.6049$$

Prove Sperimentali

Prove Dinamiche

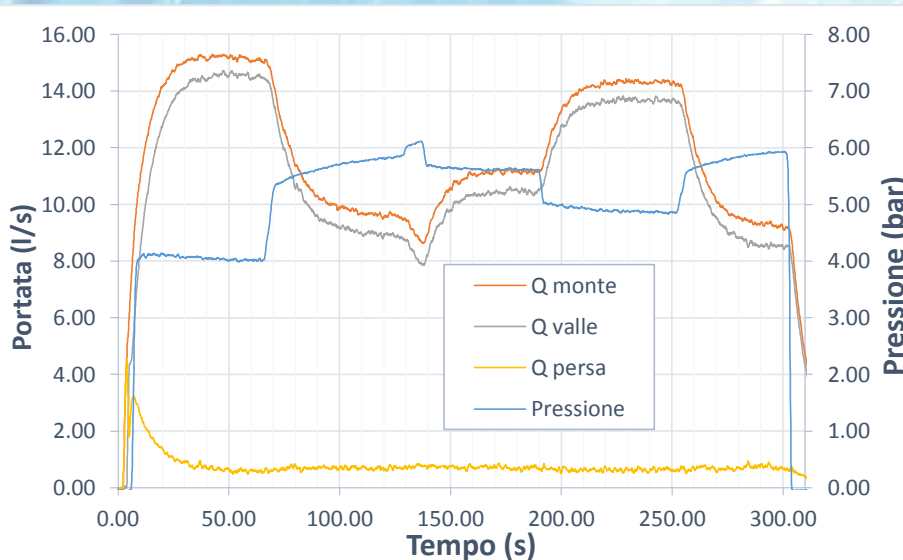
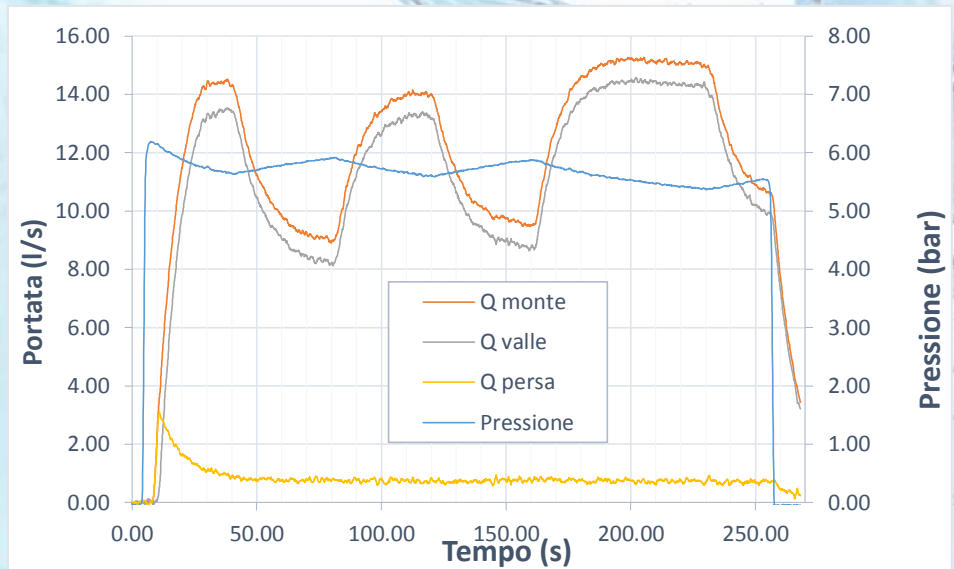


Le prove dinamiche sono state eseguite mediante la regolazione, in corso di sperimentazione, della valvola di valle.

Sono state condotte **9 Prove Sperimentali Dinamiche**.

I Gradi di Apertura della valvola di valle sono variati nel range 25% - 70%

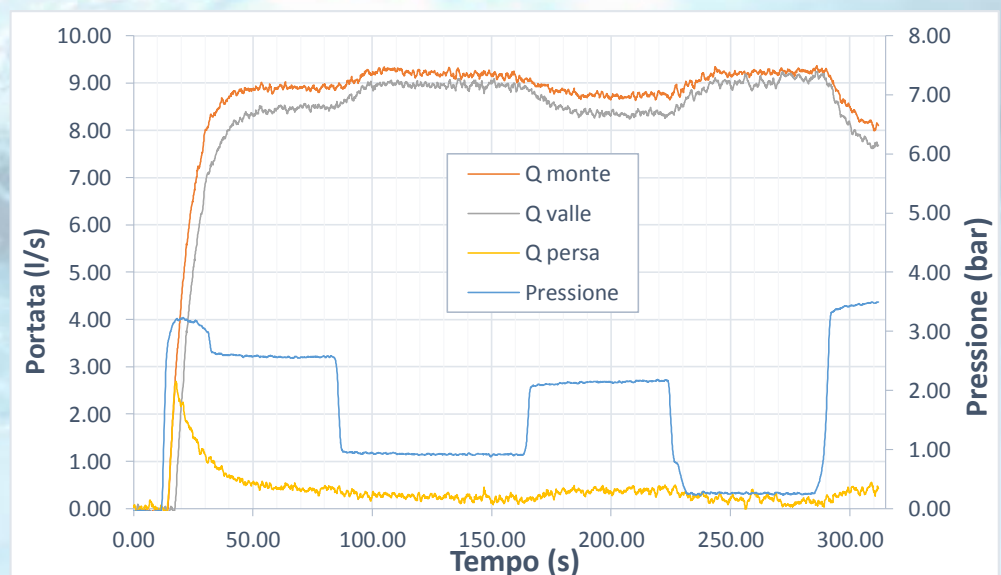
Prova 6 – Grado di Apertura 40%_50%



Le prove dinamiche eseguite tendono a simulare differenti configurazioni del pattern di consumi.

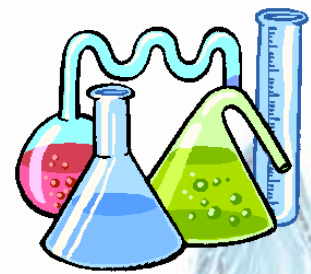
Prova 7 – Grado di Apertura 50%_30%

Prova 8 – Grado di Apertura 50%_30%



Prove Sperimentali

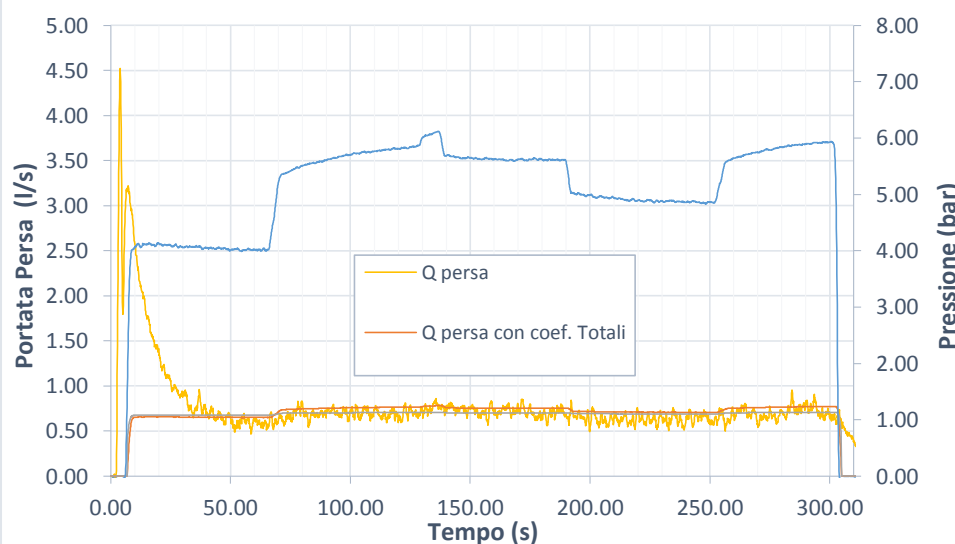
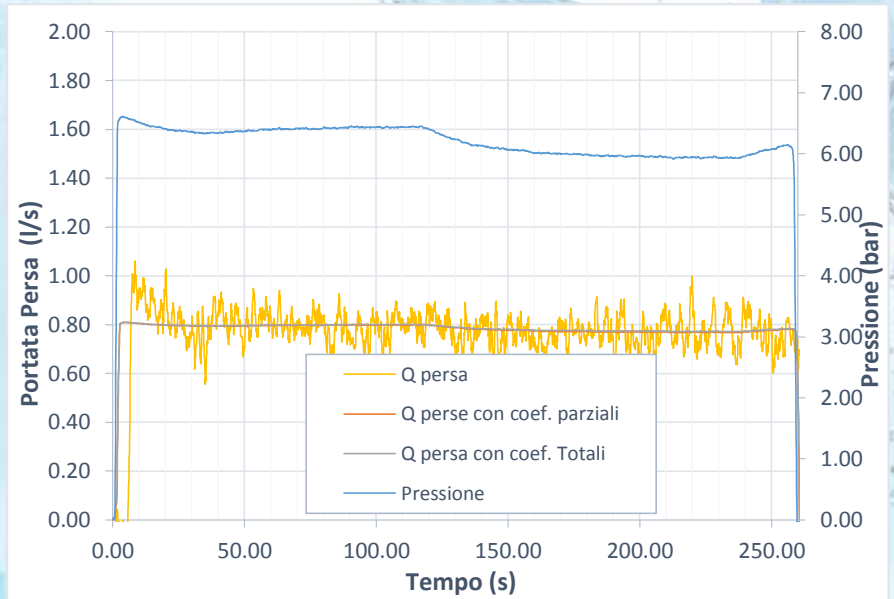
Prove Dinamiche



La dispersione dei dati delle prove dinamiche, non consente una semplice calibrazione dei coefficienti α e β della **Legge di Perdita** mediante l'individuazione della funzione potenza di regressione, come eseguito per le prove di tipo statico.

Nel caso di prove dinamiche infatti è stato possibile estrapolare i suddetti coefficienti mediante l'applicazione di un software agli **Algoritmi Genetici**

**Prova 6 con
Algoritmo Genetico**



In tale caso operativo, sono stati ricercati i valori dei coefficienti α e β tali da minimizzare la funzione di ***Fitness***, corrispondente con la sommatoria degli scarti quadratici relativi tra la correlazione sperimentale pressione-portata e quella analitica

**Prova 7 con
Algoritmo Genetico**

Dal confronto tra i grafici ottenuti sperimentalmente mediante l'utilizzo dei coefficienti α e β , parziali e totali, ricavati tramite l'Algoritmo Genetico, si conferma la validità della calibrazione eseguita, definendo un andamento corrispondente dei trend di portata dispersa nel tempo.

Coefficienti α e β mediati per le 9 prove eseguite

$$\alpha = 0.36$$

$$\beta = 0.43$$

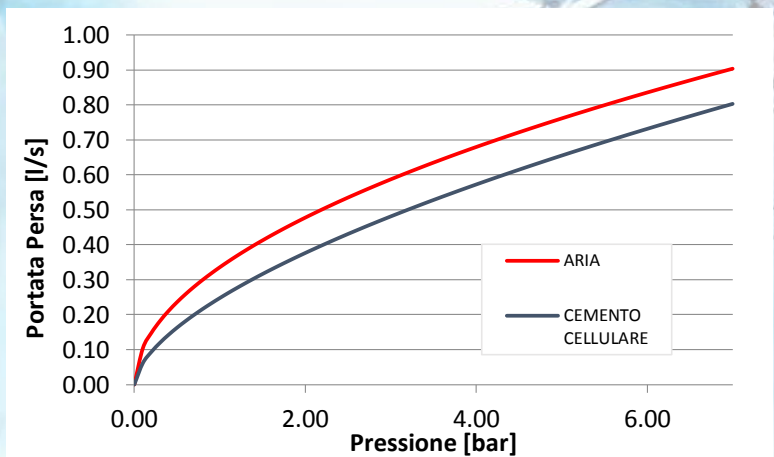
Conclusioni

Il presente elaborato di tesi è incentrato sull'analisi della problematica relativa alle perdite fisiche nei sistemi acquedottistici in pressione, valutando la correlazione esistente tra **Pressioni** e **Portate Perse**.

Nello specifico, mediante un approccio sperimentale, sono stati valutati i parametri della **Legge di Perdita** di tipo monomio, relativamente all'efflusso da un foro circolare di 5mm per una condotta in **PEad** caratterizzata da rinterro in **Cemento Cellulare**.

Prove Statiche

Confrontando i risultati ottenuti con quanto definito attraverso il medesimo modello, ma in differenti condizioni di posa, si riscontra come l'utilizzo del **Cemento Cellulare** comporti una riduzione delle portate perse, rispetto all'efflusso libero, mediamente del **20%**.



Prove Dinamiche

Per le prove dinamiche è stato possibile il confronto relativamente ad altre sperimentazioni precedentemente effettuate:

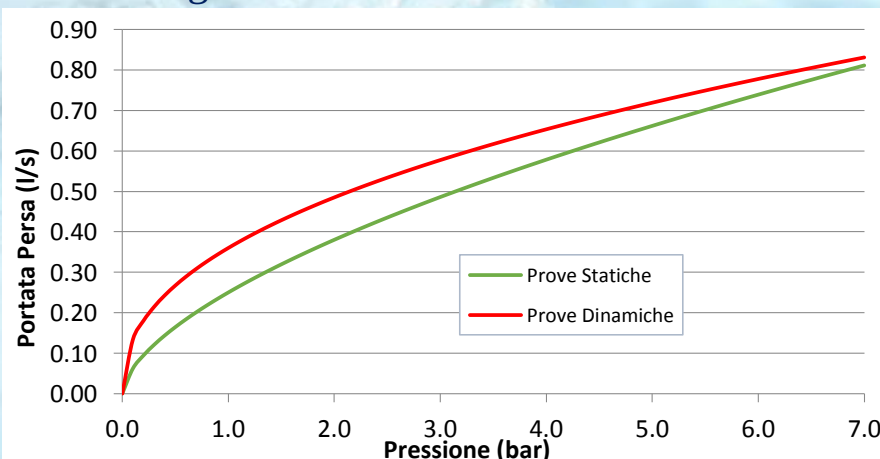
Coefficienti sperimentali per **Tubazione in PEad a contatto con aria**

$$\alpha = 0.35$$
$$\beta = 0.45$$

Coefficienti sperimentali per **Tubazione in PEad interrata con Cemento Cellulare**

$$\alpha = 0.36$$
$$\beta = 0.43$$

Dal confronto tra coefficienti desunti per **Prove Statiche** e **Dinamiche**, si ottiene il seguente andamento:



Da tale comparazione risulta:

➡ **Portate perse maggiori per le prove dinamiche**

Possibili Cause

➡ **Non perfetta integrità del cemento cellulare**

➡ **Parziale saturazione del terreno nel cassone**



SI RINGRAZIA
PER L'ATTENZIONE