

**UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI NAPOLI
"FEDERICO II"**



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

**CORSO DI LAUREA IN
INGEGNERIA PER L'AMBIENTE ED IL TERRITORIO**

**TESI DI LAUREA IN
INFRASTRUTTURE IDRAULICHE**

**Correlazione Perdite Idriche – Pressione Interna
per una Tubazione in Pead**

**Relatore
Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni**

**Candidata
Antonella De Rosa
Matr. N49/81**

**Correlatore
Prof. Ing. Francesco De Paola**

Anno Accademico 2013/2014

OBIETTIVI DELL'ANALISI SPERIMENTALE

- Caratterizzare i parametri della legge di efflusso di un foro simulante una lesione su una condotta in pressione, al fine di definirne il comportamento idraulico e limitare i volumi idrici dispersi;



- Analizzare la risposta tensio-deformativa del materiale costituente la tubazione, in presenza di fori.

PERDITE IDRICHE E QUADRO

NORMATIVO

Si definisce “perdita idrica” la differenza tra la quantità d’acqua immessa in un sistema acquedottistico e la quantità d’acqua misurata dai contatori d’utenza.



- **PERDITE REALI (FISICHE);**
- **PERDITE APPARENTI (AMMINISTRATIVE).**

- **R. D 1775/1933**, l’acqua è dichiarata pubblica;
- Legge n. 319/1976 (“**Legge Merli**”), si occupa dei piani di risanamento, finanziando fognature e infrastrutture di depurazione;
- Legge n. 36/1994 (“**Legge Galli**”), recante *Disposizioni in materia di risorse idriche*;
- D. Lgs 152/1996 (“**Testo unico ambientale**”).

IL PROBLEMA DELLE PERDITE

Le perdite idriche caratterizzano negativamente ed in maniera rilevante i sistemi idrici.

La riduzione di tali fenomeni, mediante attività di manutenzione e controllo, a valori fisiologici o quantomeno ragionevoli, consentirebbe un notevole risparmio idrico, con ingenti benefici in termini economici ed ambientali.

Le principali tecniche di localizzazione delle perdite idriche in un sistema acquedottistico si categorizzano in:



- Correlazione acustica;
- Apparecchi elettromagnetici;
- Campagne di monitoraggio;
- Manovre controllate di moto vario.

LEGGE DI PERDITA

Dalla Legge di Torricelli e dall'Equazione di Continuità:

$$v = c \cdot \sqrt{2g \cdot h}; \quad Q = v \cdot \sigma \Rightarrow Q = \mu \cdot \sigma \cdot \sqrt{2g \cdot h}$$



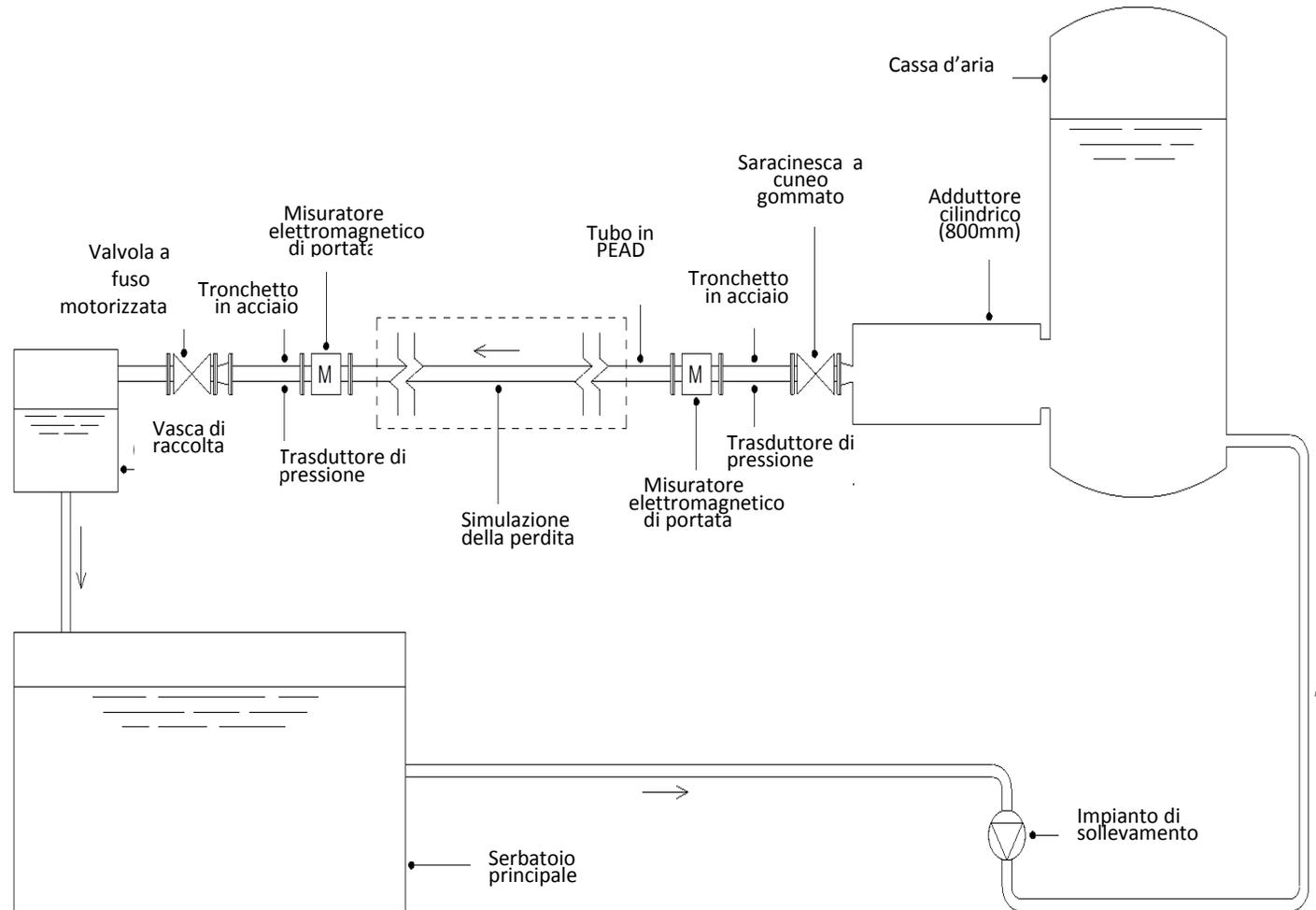
$$Q = \alpha \cdot P^\beta$$

- **Q** portata attribuita alle perdite [l/s];
- **α** coefficiente dimensionale, detto *Discharge Coefficient*, funzione delle dimensioni della luce di efflusso;
- **β** definito in letteratura *Leakage Exponent*;
- **P** pressione in rete [bar].

I valori α e β sono calibrati così da minimizzare la funzione obiettivo che definisce la somma degli scarti quadratici delle differenze tra dati osservati e valori desunti.

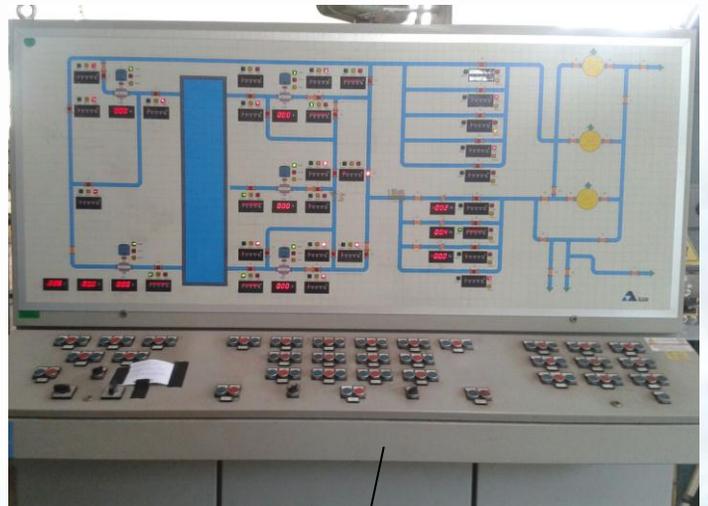
Tali parametri dipendono dalle caratteristiche della tubazione e dal tipo di perdita.

INSTALLAZIONE SPERIMENTALE



Le prove sperimentali sono state effettuate sull'impianto di circolazione ad alta pressione del laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile ed Ambientale dell'Università di Napoli Federico II.

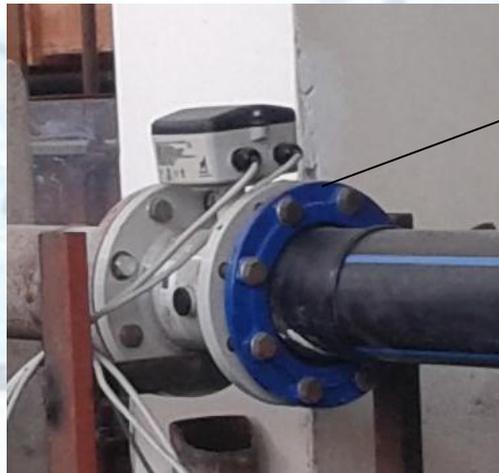
INSTALLAZIONE SPERIMENTALE



Valvola a fuso motorizzata



Flangia a 8 fori



Misuratore elettromagnetico di portata



La sperimentazione è stata effettuata su tubazione in Polietilene ad alta densità (Pead).

DN [mm]	L [m]	PN [bar]	D int. [mm]	Spessore [mm]
140	3.2	16	114.6	12.7



TEST SPERIMENTALE

Durante l'attività sperimentazione sono state condotte prove a regime dinamico e statico, con condizione di valle pari a pressione atmosferica.

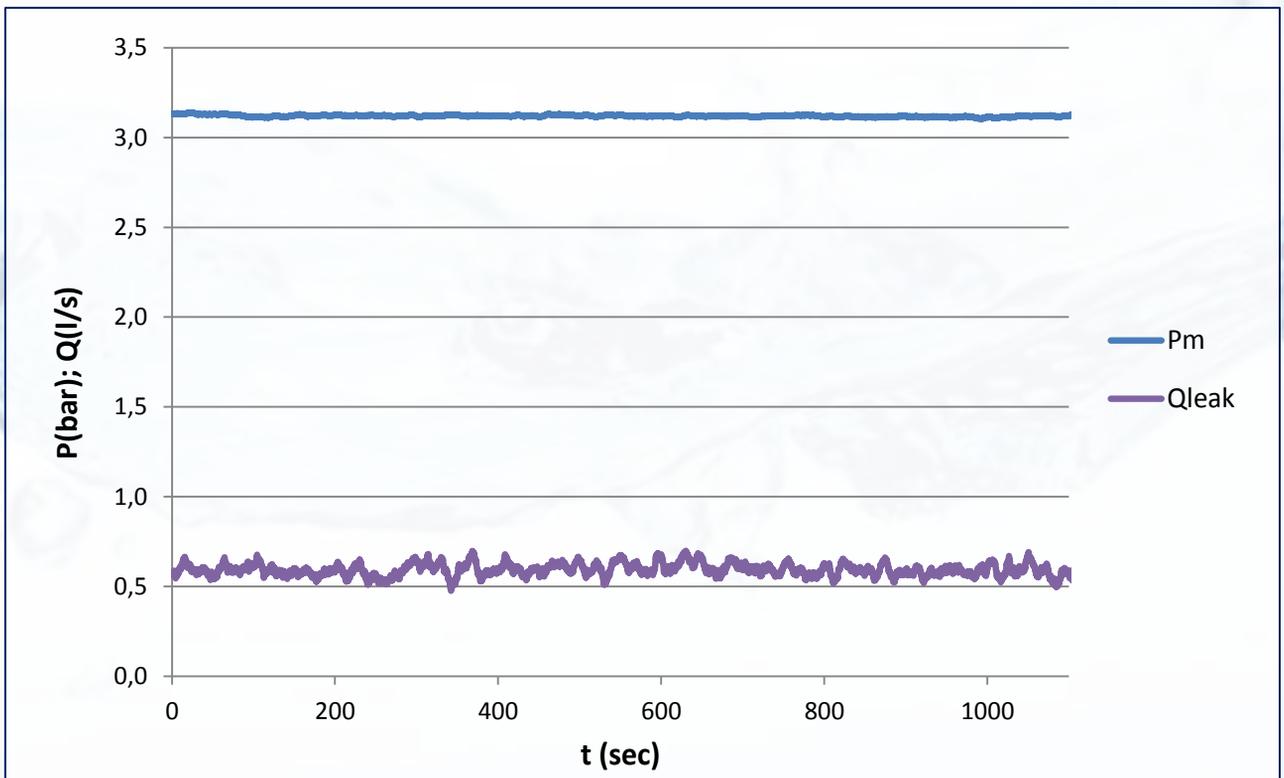
- **Prove dinamiche:** funzionamento diurno della condotta;
- **Prove statiche:** funzionamento notturno della condotta.

La pressione e la portata sono state misurate rispettivamente attraverso i trasduttori elettronici ed i misuratori di portata elettromagnetici.



PROVE STATICHE

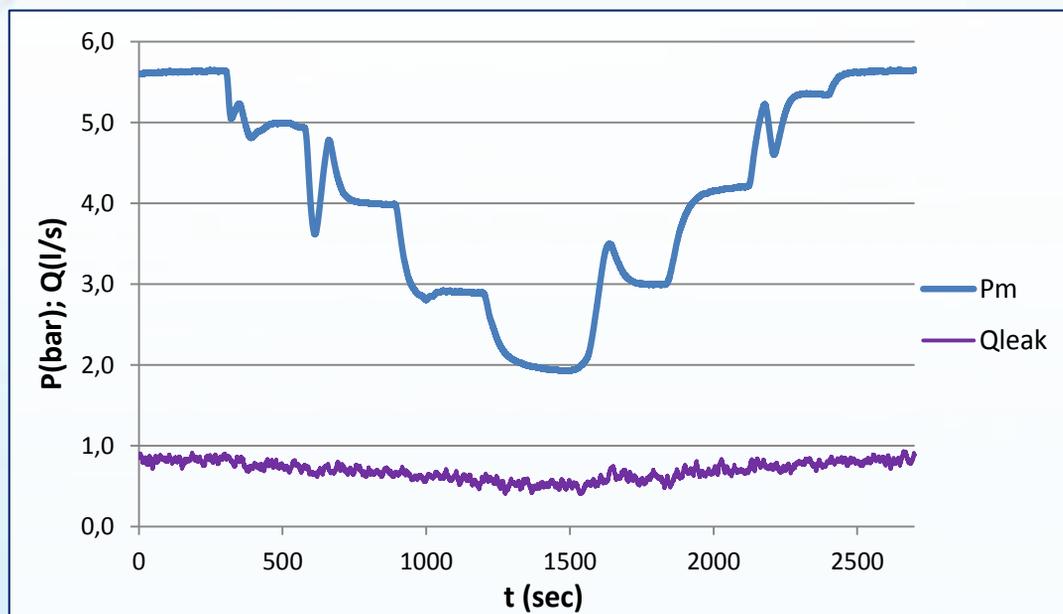
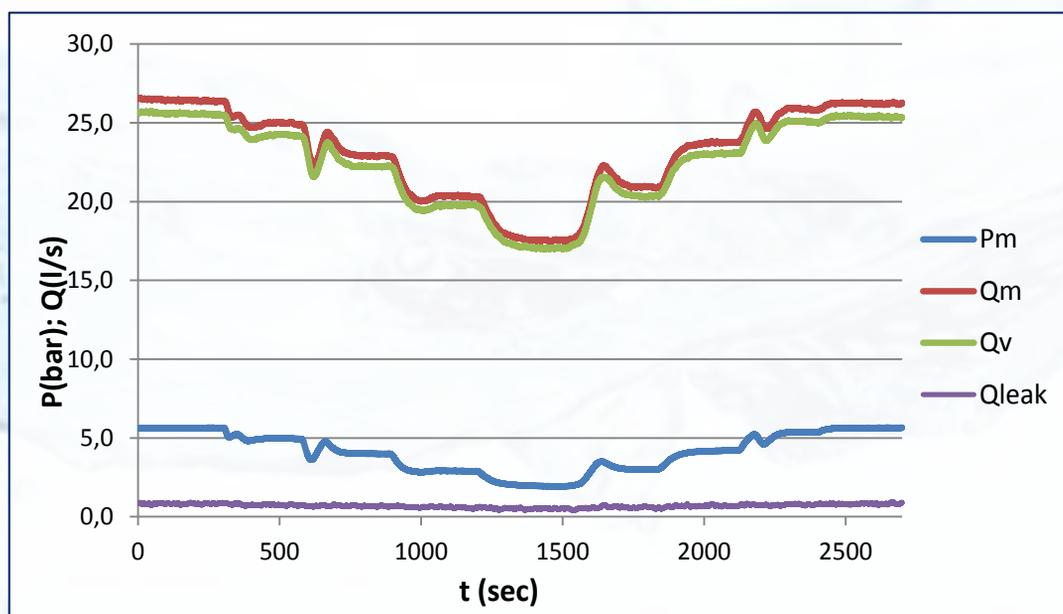
Tali prove sono state eseguite mantenendo costante la pressione di monte ed il grado di apertura della valvola di regolazione a fuso motorizzata, posta a valle della condotta.



A pressione di monte costante non si verifica il comportamento visco-elastico del materiale.

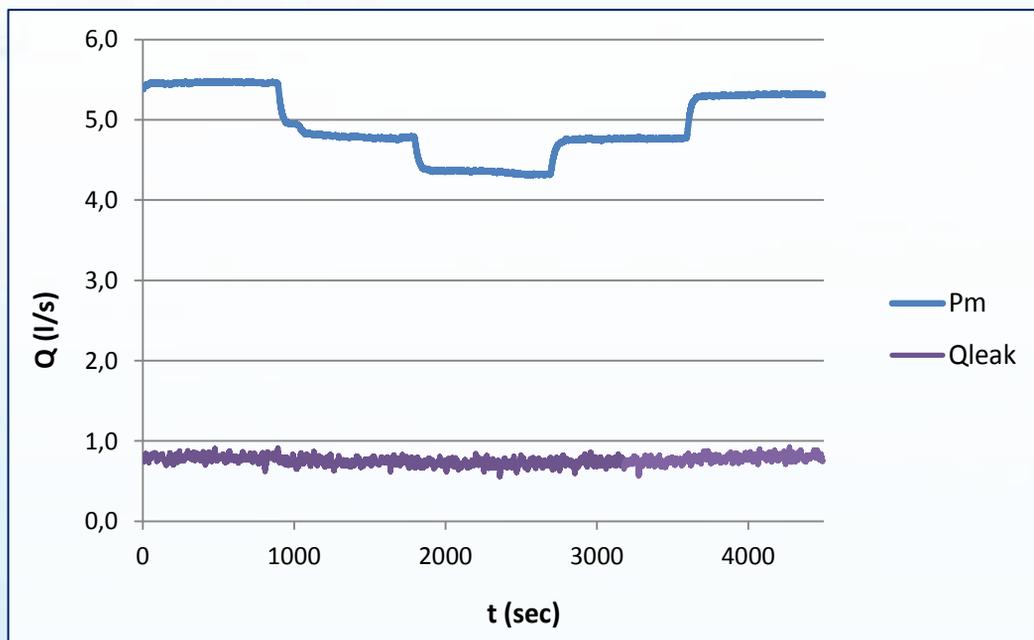
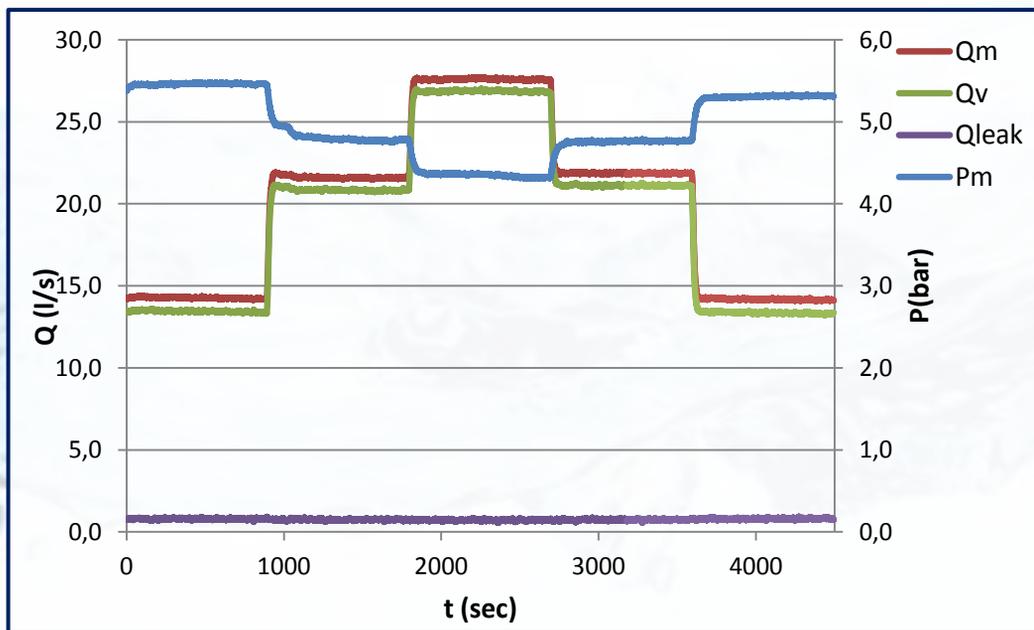
PROVE DINAMICHE: MANOVRE SUL BY-PASS

Tali prove sono state eseguite impostando un grado di apertura costante della valvola a fuso motorizzata di valle e modificando la pressione a monte della condotta attraverso la movimentazione del by-pass, ubicato sul sistema adduttivo.



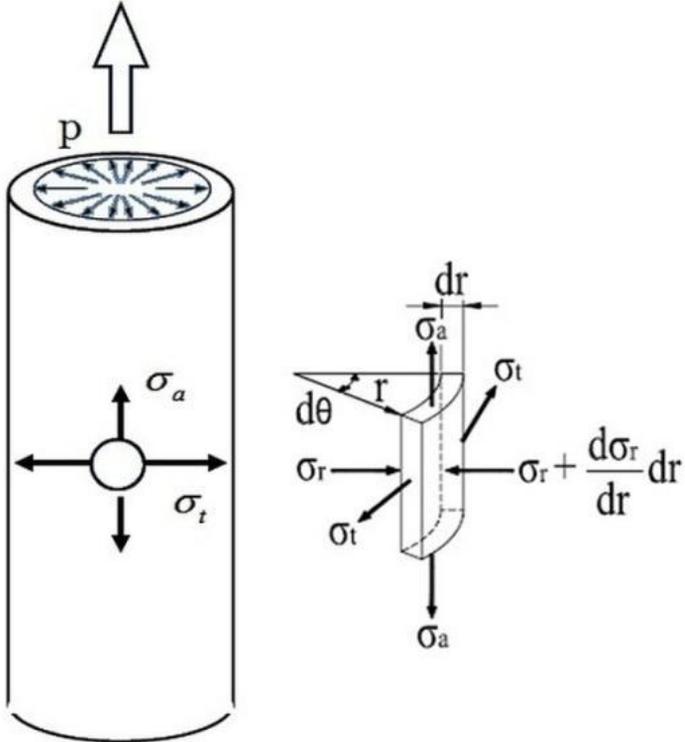
PROVE DINAMICHE: MANOVRE SULLA VALVOLA DI VALLE

Tali prove sono state effettuate manovrando la valvola a fuso motorizzata posta a valle della condotta, con saracinesca di monte totalmente aperta per l'intera durata della prova.



COMPORAMENTO DEL MATERIALE

Quando su una tubazione è presente un foro e quindi una discontinuità, le sollecitazioni sulla parete aumentano in corrispondenza di essa:



σ_r = tensione radiale
 σ_t = tensione tangenziale;
 σ_a = tensione assiale.

I valori massimi di tali tensioni sono attinti in corrispondenza della fibra interna in accordo con le formule di Lamè :

$$\sigma_a = \frac{p}{\delta^2 - 1} \quad \sigma_r = \frac{p}{\delta^2 - 1} (1 - \delta^2)$$

$$\sigma_t = \frac{p}{\delta^2 - 1} (1 + \delta^2)$$

Considerando il legame costitutivo del materiale in campo elastico:

$$\sigma = \varepsilon \cdot E = \frac{\Delta x}{x_0} \cdot E$$

e facendo dei passaggi algebrici, si ottiene la Portata Effluente:

$$Q = \mu \Sigma \sqrt{2gh} = \mu A_n \sqrt{2g} \cdot [1 + Ah + Bh^2] \cdot h^{1/2}$$



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

dove:

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

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

CONCLUSIONI

Usufruendo di un codice di calcolo agli algoritmi genetici, sviluppato in ambiente **Matlab**, è stato possibile calibrare i coefficienti della legge di Perdita.

Per le prove dinamiche:

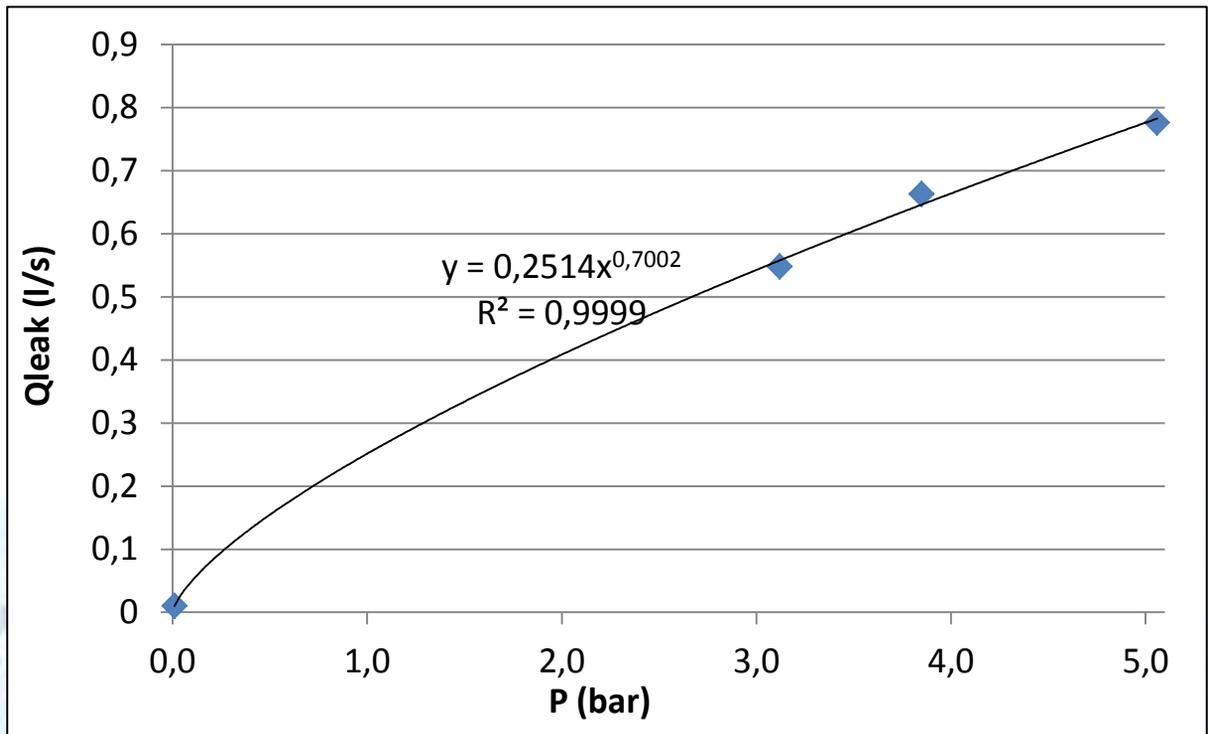
Prova dinamica	α	β	μ	ν	μ torricelliano	Durata della prova (sec)
1	0.3763	0.4220	1.3355	0.4217	0.835577	2700
2	0.3600	0.4688	1.2778	0.4686	0.717719	2700
3	0.3507	0.4845	1.2455	0.4837	0.674354	4500
4	0.3383	0.5128	1.3024	0.4582	0.609472	3600
5	0.3502	0.4935	1.2072	0.5524	0.659581	1800
6	0.3073	0.5706	1.0906	0.5704	0.484635	5400

	α	β	μ	ν	μ torricelliano
γ	0.3471	0.4920	1.2432	0.4925	0.6636
σ	0.0233	0.0492	0.0870	0.0574	0.1163
CV	0.0671	0.1000	0.0700	0.1165	0.1753

Per le prove statiche:

	Prova statica 3bar	Prova statica 4bar	Prova statica 5bar
P media [bar]	3.12	3.85	5.06
Q_{leak} media [l/s]	0.548	0.663	0.776

Noti i valori medi, si individuano 4 punti sul piano (P, Q_{leak}):



Interpolazione Legge di Perdita – Prova Statica

	α	β	Q (l/s) P=5bar	Q (l/s) P=4bar	Q (l/s) P=3bar
Statica	0.2514	0.7002	0.78	0.66	0.54
Dinamica	0.3471	0.4920	0.77	0.69	0.60

Si osservi come si ottengono differenti valori del coefficiente β per prova statica e dinamica; tale condizione è determinata dal coefficiente torricelliano μ Torr che risulta molto diverso nelle due prove.

Per comprendere meglio il comportamento del coefficiente β , nella tabella sono riportati i valori di vari studi:

Fonte	β
Thames Water (Burnell & Race, 2003)	1.00
Inghilterra (Goodwin e TR26, 1980)	1.18
Iran (Ardakanian & Ghazali)	1.10 ÷ 1.18
Arabia Saudita (Sendil & Al-Al-Dhowalia, 1992)	0.54 ÷ 1.61
Sud Africa (B.Greyvenstein e J.E.Van Zyl, 2007)	0.40 ÷ 1.90

Tali studi hanno evidenziato valori del coefficiente β maggiori del valore 0,5 che caratterizza l'efflusso torricelliano.

I risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove sperimentali effettuate nel presente lavoro di tesi, invece, hanno evidenziato come, nelle prove dinamiche, il coefficiente β non si discosti in maniera elevata dal valore torricelliano 0.5 e, inoltre:

- il parametro β risulta essere mediamente più alto nelle prove statiche;
- il parametro α , di contro, è risultato più basso nelle prove statiche.

