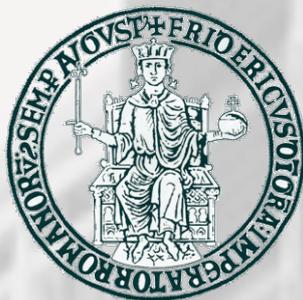


Università degli Studi di Napoli Federico II



Scuola Politecnica e delle Scienze di Base

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE ED AMBIENTALE

CORSO DI LAUREA IN

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

PRESENTAZIONE DELLA TESI DI LAUREA IN

INFRASTRUTTURE IDRAULICHE

***Analisi sperimentale della relazione tra perdite idriche e
pressioni per tubazioni in PEAD***

RELATORE

Prof. Ing. Maurizio Giugni

CORRELATORE

Prof. Ing. Francesco De Paola

CANDIDATA

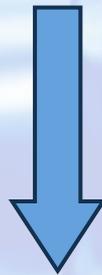
Maria Sarro

Matr. N49/103

Anno Accademico 2013/2014

OBIETTIVI E FINALITÀ DELLA SPERIMENTAZIONE

La riduzione dei livelli di pressione - nel rispetto delle esigenze dell'utenza - rappresenta oggi un aspetto di notevole interesse nell'ambito della gestione sostenibile di un sistema di distribuzione idrica.



- Studio del comportamento del materiale costituente le tubazioni attraverso la caratterizzazione dei parametri della legge di efflusso;
- Confronto delle evidenze sperimentali con i dati di letteratura.

CLASSIFICAZIONE DELLE PERDITE IDRICHE

Le perdite sono calcolate come differenza tra il volume immesso in rete e il consumo autorizzato (secondo il Bilancio Idrico Standardizzato dell'I.W.A.)



- **Perdite amministrative** (o apparenti)
- **Perdite fisiche** (o reali)

Sono influenzate da quattro aspetti principali:

- portata uscente alla pressione di riferimento;
- tempo di permanenza della perdita;
- tipo di relazione tra portata e pressione;
- frequenza degli eventi di rottura.

CONTROLLO DELLE PERDITE IDRICHE E QUADRO NORMATIVO

Il volume d'acqua disperso da una perdita dipende dalla portata e dal tempo che intercorre tra la formazione e la riparazione della perdita:

- *tempo di conoscenza*
- *tempo di localizzazione*
- *tempo di riparazione*

È possibile individuare tre livelli di controllo delle perdite in rete:

- **controllo passivo**
- **controllo sistematico**
- **controllo attivo**

- Legge n. 36/1994 (“legge Galli”), recante *Disposizioni in materia di risorse idriche*;
- D.Lgs. 152/2006 (“Testo Unico Ambientale”);
- D.M. 99/1997, *Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature.*

LEGGE DI PERDITA

Equazione di Torricelli:

$$v = c\sqrt{2gh} \rightarrow Q = \mu\sigma\sqrt{2gh}$$



$$Q = \alpha \cdot P^\beta \quad (A. Lambert)$$

dove:

- Q_P è la portata attribuita alle perdite [l/s];
- α è il coefficiente della legge monomia, noto in letteratura come *emitter coefficient* [l/s·bar ^{β}];
- P è la pressione in rete [bar];
- β è l'esponente adimensionale della legge monomia, noto in letteratura come *leakage exponent*.

α e β sono variabili in funzione delle caratteristiche della tubazione e del tipo di perdita.

ESPERIENZE PRECEDENTI

Fonte	β^1
Thames water (<i>Burnell & Race, 2003</i>)	1,00
Inghilterra (<i>Goodwin e TR26, 1980</i>)	1,18
Iran (<i>Ardakanian & Ghazali</i>)	1,10 ÷ 1,18
Arabia Saudita (<i>Sendil & Al-Al-Dhowalia, 1992</i>)	0,54 ÷ 1,61
Sud Africa (<i>B. Greyvenstein e J. E. Van Zyl, 2007</i>)	0,40 ÷ 1,90

β risulta sistematicamente più alto rispetto al valore torricelliano 0,5 quindi ha un'importanza significativa nella riduzione delle perdite.

Precedenti studi² hanno dimostrato che il foro della perdita si amplia all'aumentare della pressione:

Tipologia della tubazione	β
Tubo in cemento - amianto con crepe longitudinali	0,78 ÷ 1,04
Tubo in acciaio con zone corrose	1,90 ÷ 2,30
Tubo in acciaio e uPVC con crepe circolari	0,52 ÷ 0,53
Tubo in uPVC con crepe longitudinali	1,50 ÷ 1,85
Tubo in uPVC con crepe lungo la circonferenza	0,40 ÷ 0,52

Quindi, i parametri che influenzano l'esponente β sono riconducibili a tre fattori:

- diametro della luce
- materiale della tubazione
- tipologia del rivestimento

¹ J. E. van Zyl, C. R. I. Clayton, *The effect of pressure on leakage in water distribution system.*

² B. Greyvenstein, J. E. van Zyl - *An experimental investigation into the pressure – leakage relationship of some failed water pipes*

INSTALLAZIONE SPERIMENTALE

Figura 1

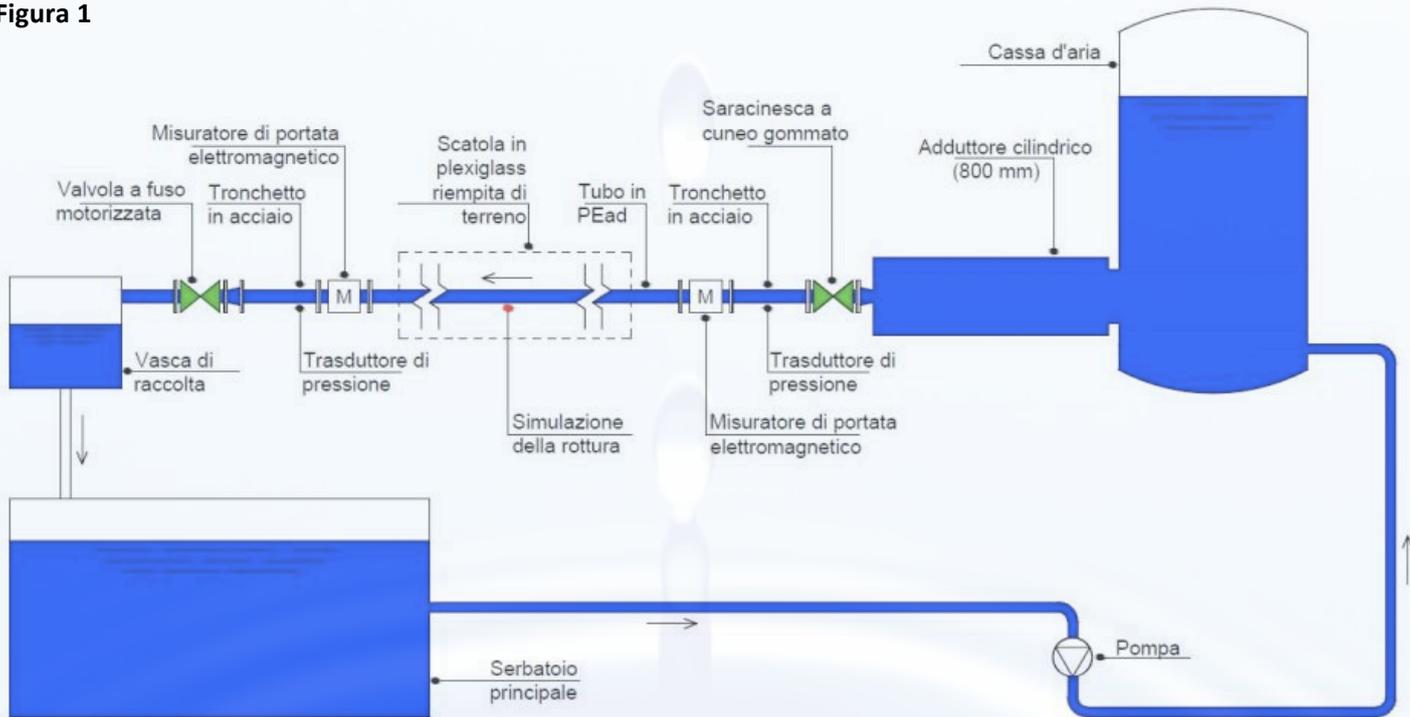
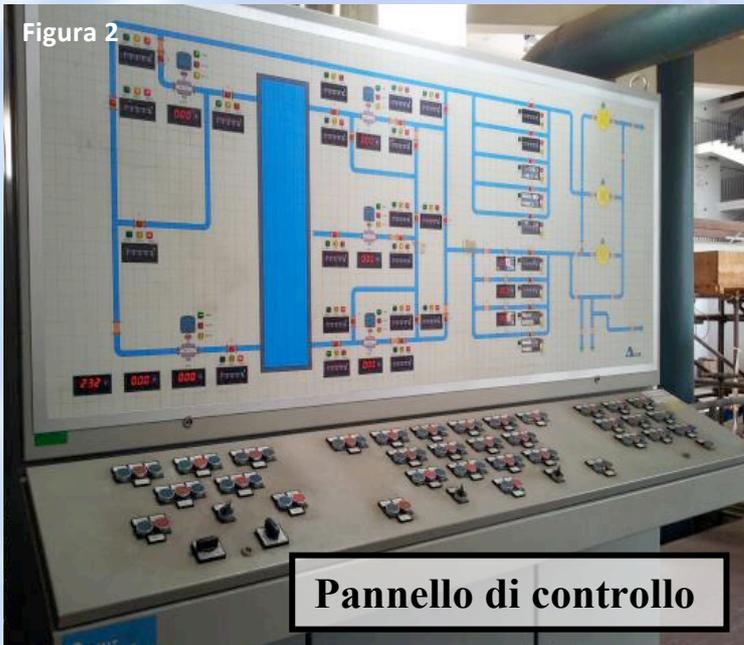
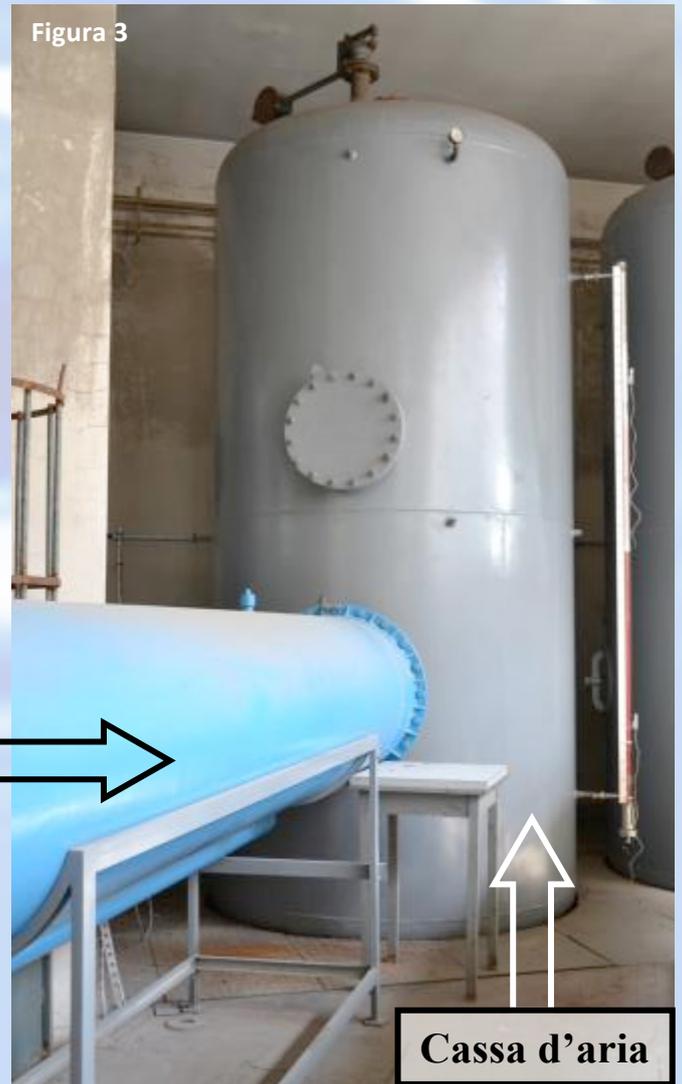


Figura 2



Pannello di controllo

Figura 3



Adduttore cilindrico
(D=800 mm)

Cassa d'aria

INSTALLAZIONE SPERIMENTALE: DETTAGLI

Figura 4

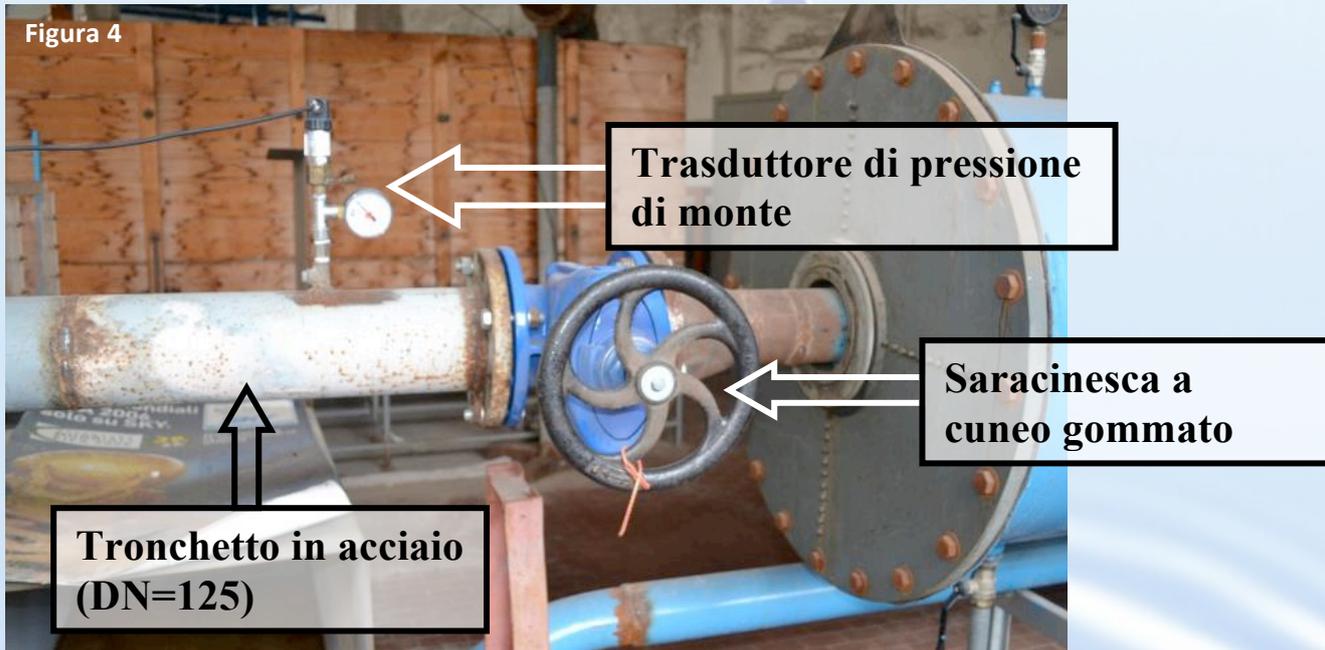


Figura 5

Flangia a 8 fori



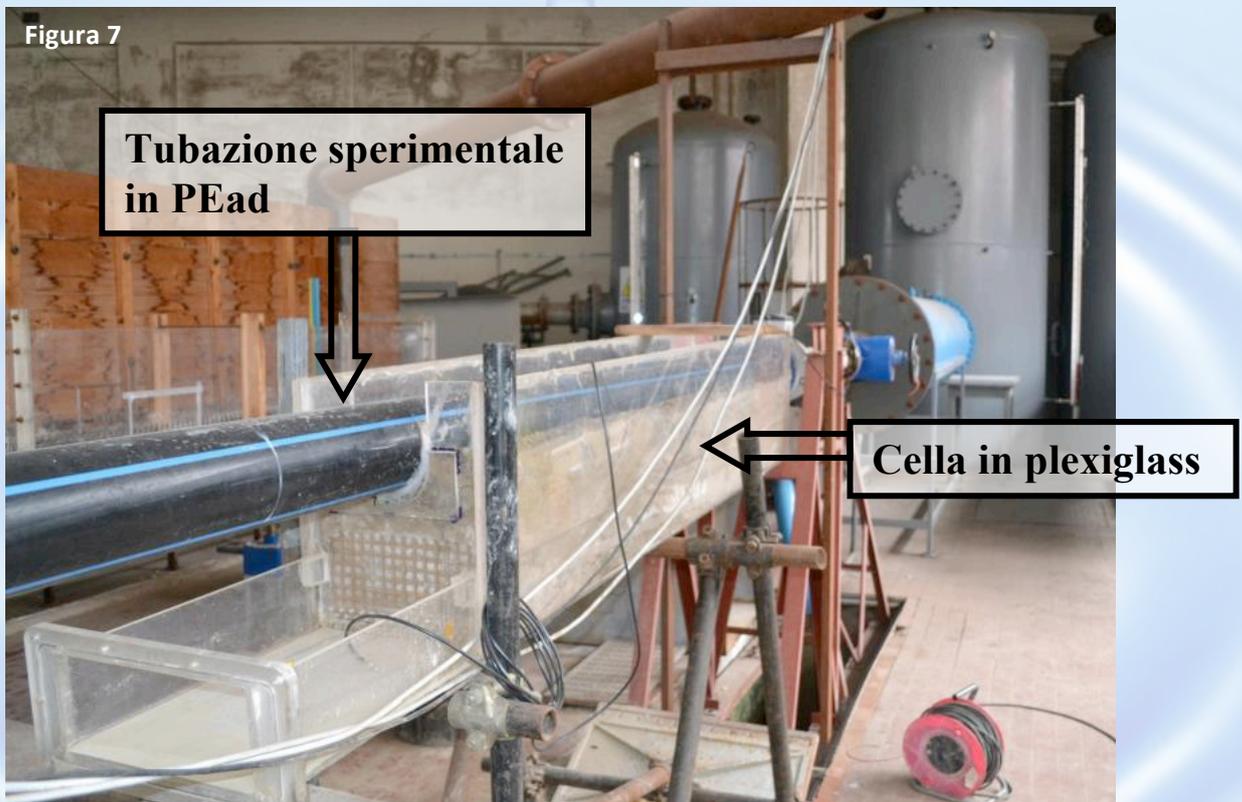
Figura 6



INSTALLAZIONE SPERIMENTALE: DETTAGLI

La sperimentazione ha riguardato tubazioni in Polietilene ad alta densità (PEad):

DN [mm]	L [m]	PN [bar]	Diametro Interno [mm]	Spessore [mm]
140	3,20	16	114,6	12,7



TEST SPERIMENTALI

- **Prove statiche** → Funzionamento notturno della condotta
- **Prove dinamiche** → Funzionamento diurno della condotta

Sono stati analizzati due diversi scenari:

1. Condotta a contatto con aria
2. Condotta interrate (riproducendo la maggior parte delle situazioni reali)

Nel corso di ogni prova si sono acquisiti i dati al fine di valutare il legame intercorrente tra pressione e portate perse, misurando quindi la pressione a monte e a valle della condotta (attraverso due trasduttori di pressione) e la portata a monte e a valle della condotta (attraverso due misuratori elettromagnetici di portata).



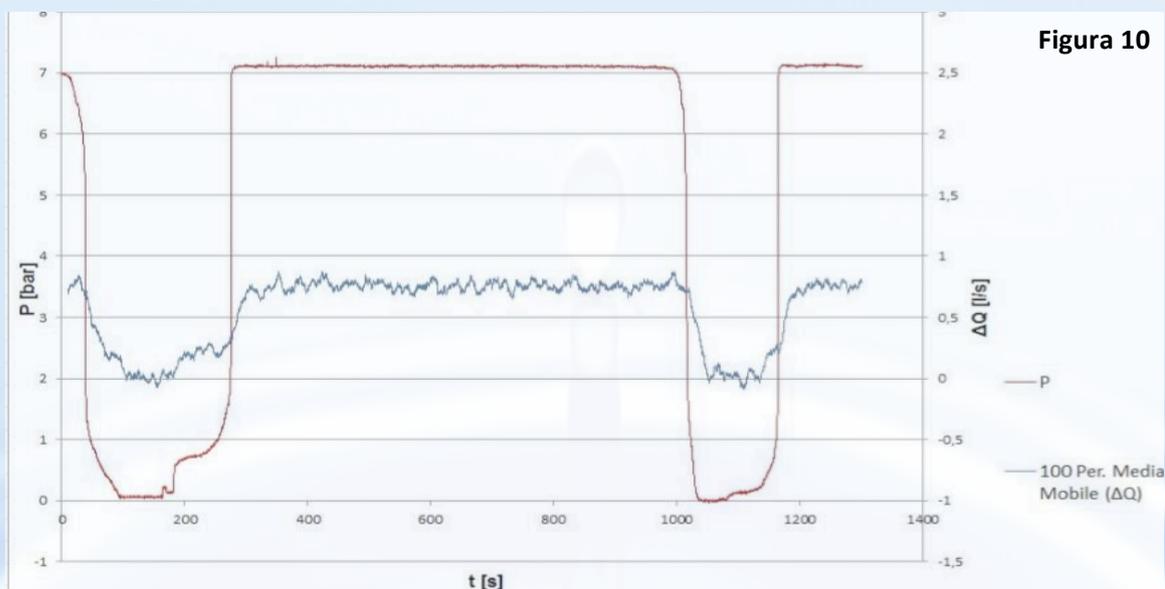
Figura 8:
Trasduttori di pressione



Figura 9:
Misuratore di portata

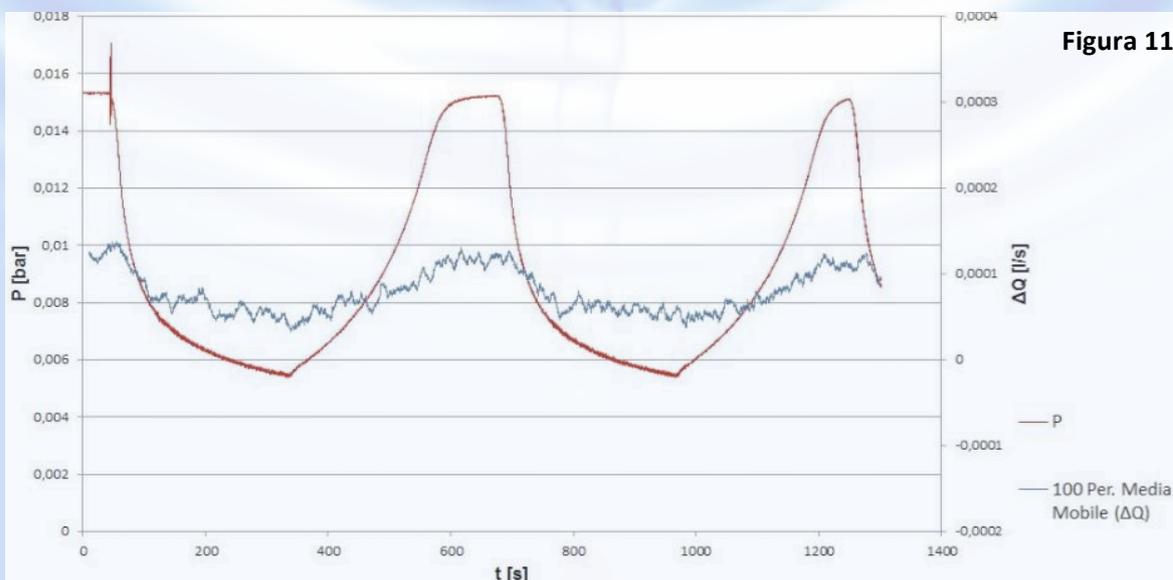
CONDOTTA A CONTATTO CON ARIA: PROVA STATICA

È stata condotta tenendo chiusa la valvola a valle dell'impianto e manovrando quella a monte, chiudendola e riaprendola alla velocità di 1 giro/minuto.



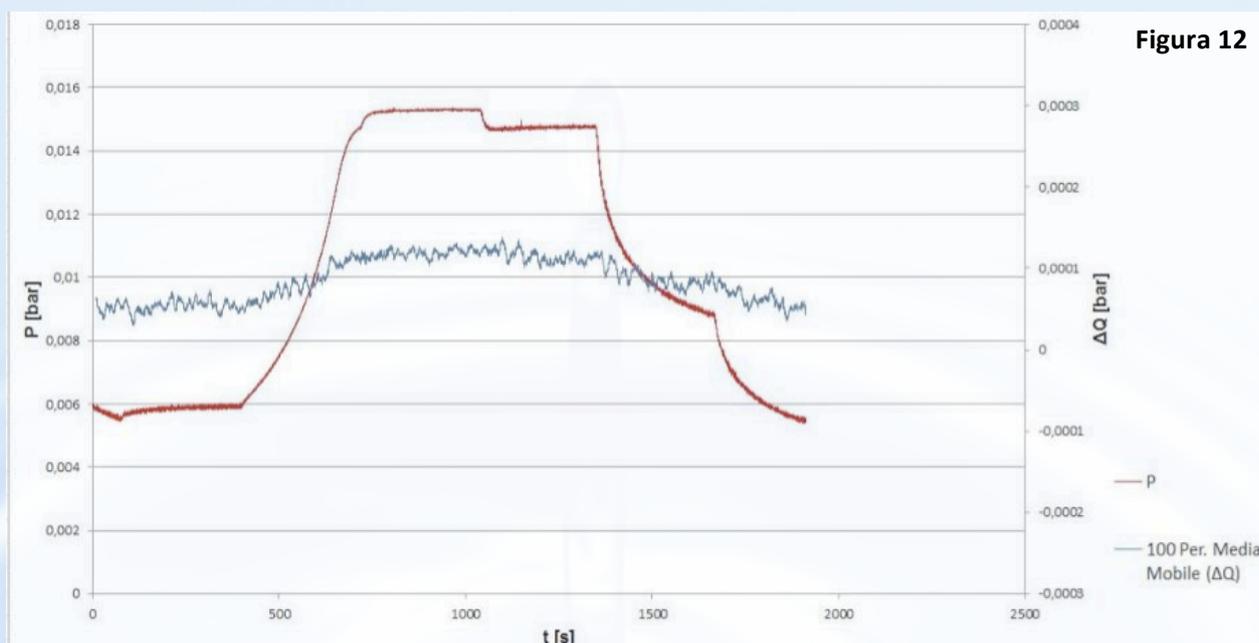
CONDOTTA A CONTATTO CON ARIA: PROVA DINAMICA

È stata condotta tenendo aperta la saracinesca a monte della condotta e manovrando la valvola a valle: si sono effettuate tre aperture e tre chiusure aspettando 5 minuti tra una manovra e l'altra.

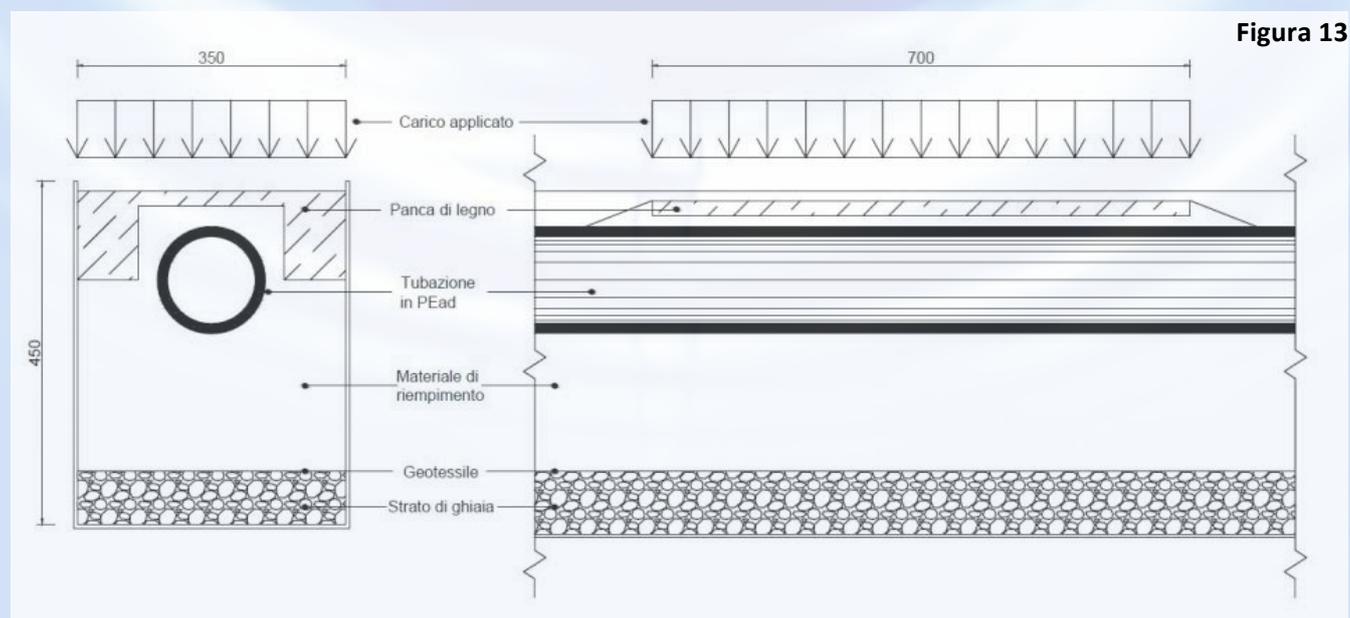


CONDOTTA A CONTATTO CON ARIA: PROVA DINAMICA

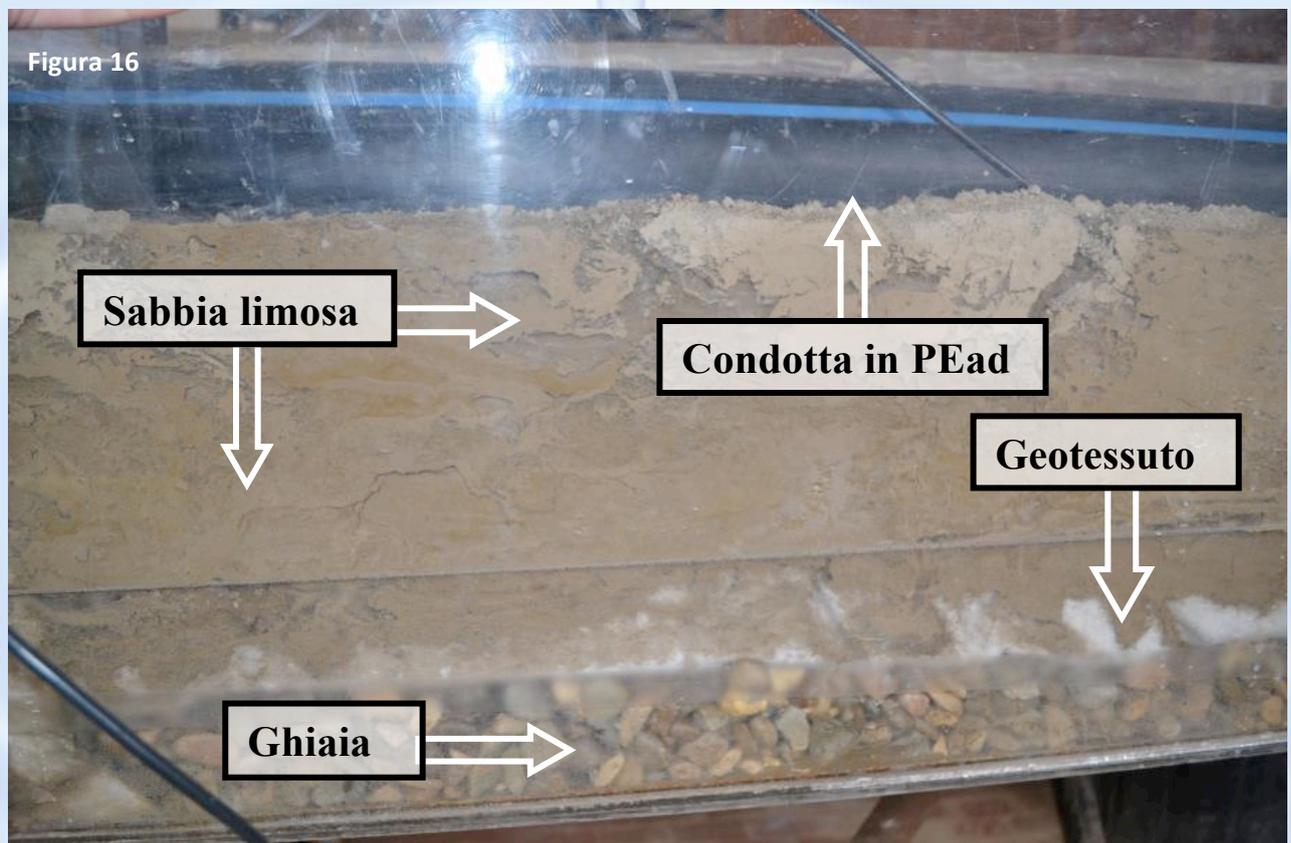
È stata condotta tenendo aperta la saracinesca a monte della condotta e manovrando la valvola a valle: è stata aperta e poi richiusa per step facendo corrispondere ad ogni step, di circa 5 minuti di durata, un grado di apertura della valvola.



CONDOTTA INTERRATA



CONDOTTA INTERRATA: DETTAGLI



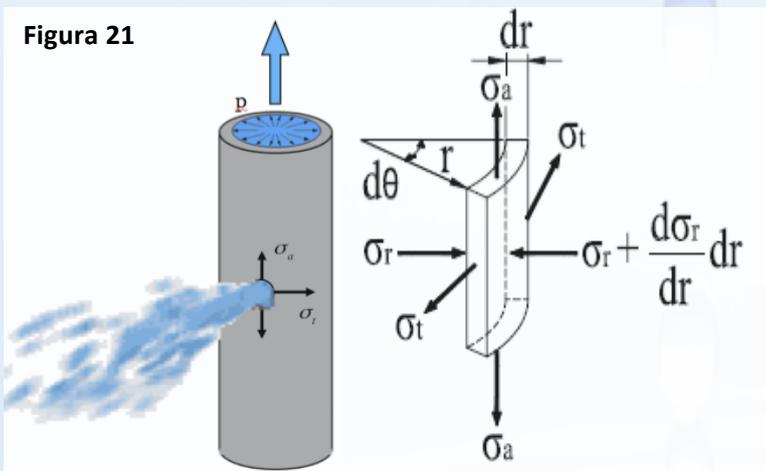
CONDOTTA INTERRATA: PROVA DINAMICA

È stata condotta tenendo aperta la saracinesca a monte della condotta e manovrando la valvola a valle: sono state effettuate manovre di apertura e chiusura di essa acquisendo i dati a vari gradi di apertura della valvola, per 5 minuti ad ogni step, in un range di pressioni da 1 a 7 bar.



COMPORAMENTO DEL MATERIALE

Tensioni principali di parete (Lamé):



- ✓ Valide in campo elastico;
- ✓ La tensione circonferenziale σ_t è sempre di trazione, raggiunge il valore massimo in corrispondenza della fibra interna e minimo in corrispondenza di quella esterna;
- ✓ La tensione assiale σ_a è sempre di trazione e si mantiene costante lungo lo spessore, assumendo valore intermedio tra quella radiale e quella circonferenziale.

$$\sigma_a = \frac{p}{\delta^2 - 1} \quad \text{tensione assiale}$$

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

$$\delta = R_{\text{ext}} / R_{\text{int}}$$

Sfruttando 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:

$$q = \mu \Sigma \sqrt{2gh} \quad \rightarrow \quad q = \mu \Sigma \sqrt{2g} \cdot h^\nu$$

$$q = \mu \Sigma_0 \sqrt{2g} \cdot [h^\nu + Ah^{1+\nu} + Bh^{2+\nu}]$$

dove:

$$A = \frac{\rho \cdot g \cdot [E_a \cdot (1 + \delta^2) \cdot E_t]}{E_t \cdot E_a \cdot (\delta^2 - 1)}$$

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

CONCLUSIONI

Lo studio sperimentale ha riguardato la caratterizzazione dei coefficienti della legge di perdita formulata secondo un approccio fisicamente basato:

PROVA	SCENARIO	α	β	μ	ν
STATICA	Condotta	0,2059	0,6464	0,3726	0,6445
DINAMICA	a contatto con aria	0,1893	0,6857	0,3138	0,6831
		0,1904	0,6737	0,3247	0,6709
	Condotta interrata	0,1768	0,6994	0,2829	0,6981

I risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove sperimentali hanno evidenziato che:

- il coefficiente β è risultato sistematicamente superiore al valore torricelliano 0,5 e per le prove dinamiche esso è mediamente più alto rispetto a quello riscontrato nella prova statica;
- i parametri α e β sono variabili a seconda che si consideri la perdita nel periodo notturno o diurno: questo comportamento è dovuto sostanzialmente alla “deformazione dinamica” della luce di efflusso che non avviene nella prova statica durante la quale la luce subisce una deformazione che si assesta su un definito valore.

Ai fini della comprensione dell'influenza del comportamento del materiale sui volumi d'acqua dispersi, si è ritenuto utile confrontare i risultati della sperimentazione con quelli di un precedente lavoro di ricerca, effettuato su una condotta in poliestere rinforzato con fibre di vetro (PRFV) di diametro nominale 125, condotto nel laboratorio di idraulica dello stesso Dipartimento:

Diametro orifizio (mm)	μ	ν
19	0,457	0,562
15	0,353	0,623
12	0,239	0,711
9	0,117	0,883

Per valutare se ci sono delle differenze significative tra il comportamento del PEad e del PRFV si è effettuato un test statistico d'ipotesi sulla media, utilizzando la funzione ancillare *T di Student*:

$$T = \frac{X_1 - X_2}{s_c \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Il test è stato condotto prima sulla media del parametro μ poi sulla media del parametro ν .

I risultati del test portano a poter affermare che le differenze riscontrate nei valori dei parametri μ e ν per i due materiali analizzati sono evidentemente dovute al caso e che nella pratica essi si comportano in maniera totalmente analoga.

Relativamente ai due scenari analizzati nell'ambito di questa sperimentazione si può concludere che l'andamento pressione – portata dispersa è analogo nel caso di tubazione a contatto con aria e interrata.

Dalla sperimentazione sulla condotta interrata sono emersi due aspetti interessanti:

- l'aliquota principale della portata dispersa tende a risalire cioè predilige, come via di drenaggio principale, quella verso l'alto;
- la sacca d'acqua che si forma attorno al punto in cui è stata simulata la perdita è spostata verso valle, facendo pensare probabilmente ad una influenza della componente velocità dei filetti fluidi all'interno della tubazione.

Sicuramente è necessario indagare in maniera più opportuna questi aspetti che rappresentano un ottimo spunto per la continuazione del lavoro di ricerca.

