

Università degli Studi di Napoli Federico II
FACOLTÀ DI INGEGNERIA



CORSO DI LAUREA IN INGEGNERIA PER L' AMBIENTE E IL TERRITORIO
Classe delle lauree in Ingegneria Civile e Ambientale, Classen° 8

DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA IDRAULICA, GEOTECNICA E AMBIENTALE
TESI DI LAUREA
IN
INFRASTRUTTURE IDRAULICHE

**«Perdite idriche e pressioni nei sistemi acquedottistici:
Analisi sperimentale »**

RELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

CORRELATORE

Ch.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

CANDIDATO

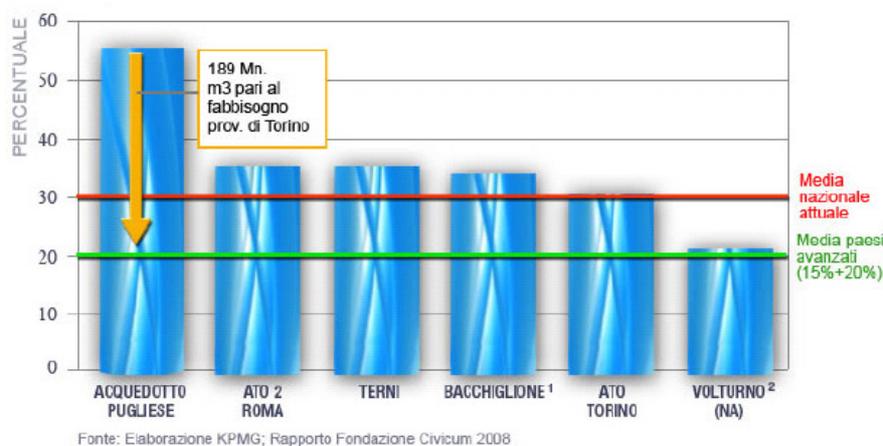
Francesco Pace

Matr. 518/450

1. INTRODUZIONE

A livello globale la domanda di acqua potabile è in aumento (si stima che nel 2025 la Terra ospiterà circa 8 miliardi di persone che avranno bisogno di circa il 20% di acqua in più rispetto al consumo attuale) mentre la disponibilità della risorsa idrica sta diminuendo. Anche in Italia abbiamo sperimentato negli ultimi anni, particolarmente nei periodi estivi, situazioni di emergenza e di razionamento idrico, in parte certamente dovute al problema delle perdite idriche (fisiche ed amministrative) che, soprattutto al sud, risultano mediamente maggiori del 40% dei volumi immessi in rete. In Italia, nel settore potabile (che non è quello dove si hanno le perdite maggiori) si stimano perdite fisiche superiori al 30%, con punte che raggiungono e superano il 50% in alcuni sistemi. Si stima che il loro valore economico superi i 500 milioni di euro l'anno, mentre ben più elevato è il valore ambientale, tenendo conto che la disponibilità dell'acqua non è affatto inesauribile, come ancora oggi a volte si continua a credere con un atteggiamento troppo semplicistico. Se si considera inoltre che si tratta di acqua di buona qualità ci rendiamo conto di quanto sia giustificato ogni sforzo per la riduzione delle perdite.

Tali perdite sono causate sia dalla vetustà dei sistemi acquedottistici che dalla mancanza di un'adeguata e pianificata manutenzione. Peraltro le pressioni di esercizio, spesso elevate, concorrono da un lato ad una più rapida obsolescenza dei sistemi e dall'altro ad incrementare l'entità delle perdite.



Il DM 8 gennaio 1997, n. 99 "Regolamento sui criteri e sul metodo in base ai quali valutare le perdite degli acquedotti e delle fognature" definisce gli Strumenti di controllo e le Strategie di riduzione delle perdite, ed in particolare che "Le misure di portata devono essere eseguite con strumenti in grado di fornire sia la portata istantanea sia il volume d'acqua complessivamente transitato in un determinato periodo di tempo. [...] Per il controllo delle perdite di un sistema di acquedotto è utile suddividere l'impianto in distretti, che possono comprendere interi elementi relativi alla produzione e porzioni di distribuzione di dimensioni da valutare con riferimento alla configurazione e dimensione della rete. Ogni distretto è definito dalla caratteristica di possedere organi di misura continua della portata immessa."

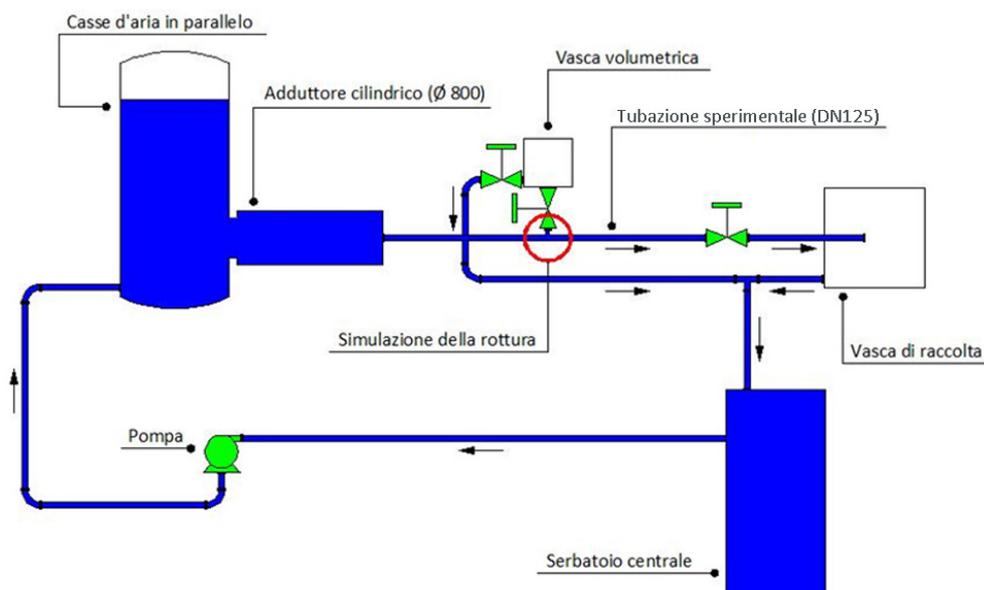
Per rilevare le perdite, non facilmente individuabili (salvo casi macroscopici), esistono diverse metodologie e strumenti. Ad esempio fin dagli anni '90 diversi studi sono stati consacrati all'elaborazione di metodi di ricerca delle perdite che si basano sulla propagazione delle onde di pressione all'interno delle condotte e sul modo in cui le perdite la modificano. Un valido strumento per il controllo delle perdite è una corretta gestione (controllo attivo) del cielo piezometrico di rete, atteso l'ovvio legame esistente tra le perdite e la pressione interna.

I modelli di simulazione per la gestione delle reti di condotte in pressione presentano, quindi, in maniera sempre più evidente, la necessità di disporre di equazioni in grado di simulare correttamente il funzionamento idraulico delle perdite idriche; in particolare, appare indispensabile una accurata definizione della relazione che lega la portata uscente da una perdita alle grandezze idrauliche in condotta, o "legge di perdita". Proprio in virtù dell'accresciuto interesse, specie nel recente passato tale legge è stata oggetto di numerosi studi volti a determinarne la dipendenza dal materiale della condotta e dal suo spessore, dalla geometria della perdita e dalla pressione.

L'articolazione del lavoro di tesi in oggetto, ovvero il miglioramento della comprensione dei legami che intercorrono tra le perdite idriche, le portate erogate alle utenze e le pressioni, si caratterizza con una prima fase di acquisizione bibliografica e di inquadramento generale del problema; successivamente, la fase di sperimentazione è stata dedicata all'analisi dei segnali di pressione e delle perdite per diversi scenari considerati.

2. SPERIMENTAZIONE

Le prove sperimentali prese a base del presente lavoro sono state condotte sull'impianto di circolazione ad alta pressione del laboratorio del *Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II"*.



Sono stati considerati due diversi scenari: condizione statica e dinamica. Nel primo caso la gestione delle pressioni è effettuata attraverso una valvola automatica di regolazione delle pressioni. Le diverse forme e dimensioni delle fessure sono state simulate attraverso degli ugelli.



La relazione tra le perdite idriche e le pressioni viene in generale interpretata mediante la legge di tipo monomio:

$$Q_p = a \cdot P^b \quad (3)$$

in cui

Q_p è la portata dispersa (l/s);

a è il coefficiente della legge monomia, noto in letteratura come *emission*

coefficient $\left[\frac{l}{s \cdot bar^b} \right]$;

P è la pressione in condotta (bar);

b è l'esponente della legge monomia, noto in letteratura come *discharge coefficient* (adimensionale).

Nelle seguenti tabelle sono riassunti i risultati delle prove statiche effettuate su ugelli circolari e rettangolari.

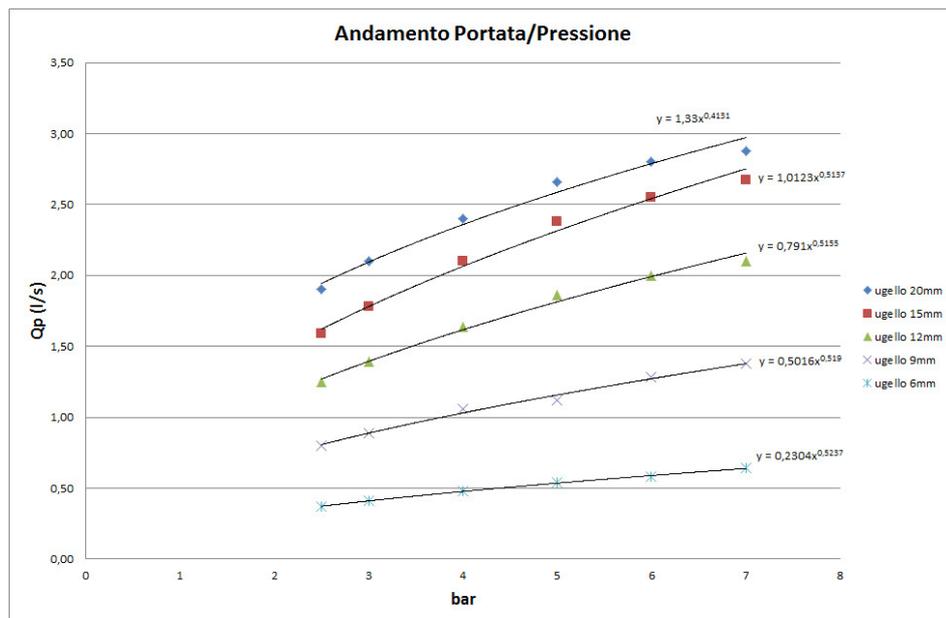
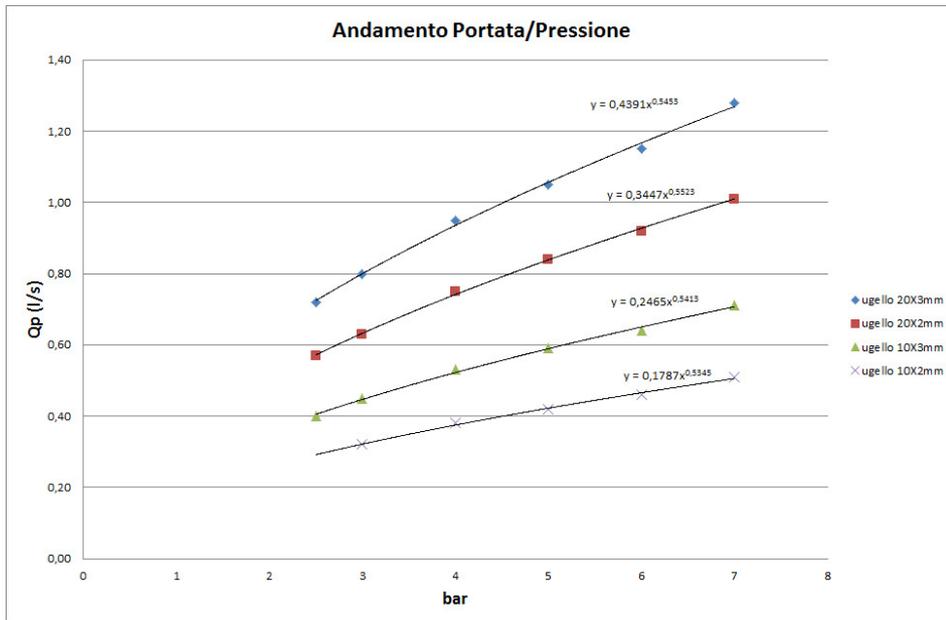
UGELLI CIRCOLARI	6mm	9mm	12mm	15mm	20mm
<i>P(bar)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>
7	0,64	1,38	2,10	2,67	3,08
6	0,58	1,28	2,00	2,55	2,80
5	0,54	1,12	1,86	2,38	2,66
4	0,48	1,06	1,64	2,10	2,40
3	0,41	0,89	1,39	1,78	2,10
2,5	0,37	0,80	1,25	1,59	1,90

Prove Statiche - Specchietto riassuntivo per ugelli circolari.

UGELLI RETTANGOLARI	12x12mm	10x2mm	10x3mm	20x2mm	20x3mm
<i>P(bar)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>	<i>Qp(l/s)</i>
7	2,55	0,51	0,71	1,01	1,28
6	2,31	0,46	0,64	0,92	1,15
5	2,13	0,42	0,59	0,84	1,05
4	1,90	0,38	0,53	0,75	0,95
3	1,60	0,32	0,45	0,63	0,80
2,5	1,43	---	0,40	0,57	0,72

Prove Statiche - Specchietto riassuntivo per ugelli rettangolari.

Di seguito sono riportati gli andamenti portate disperse/pressione:



Andamento Qp/P per ugelli circolari e rettangolari.

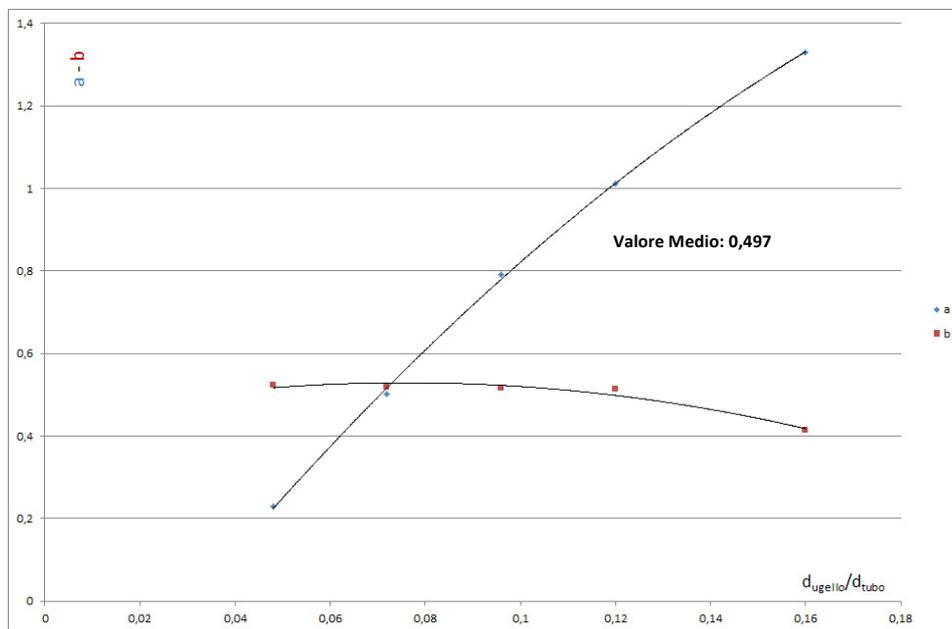
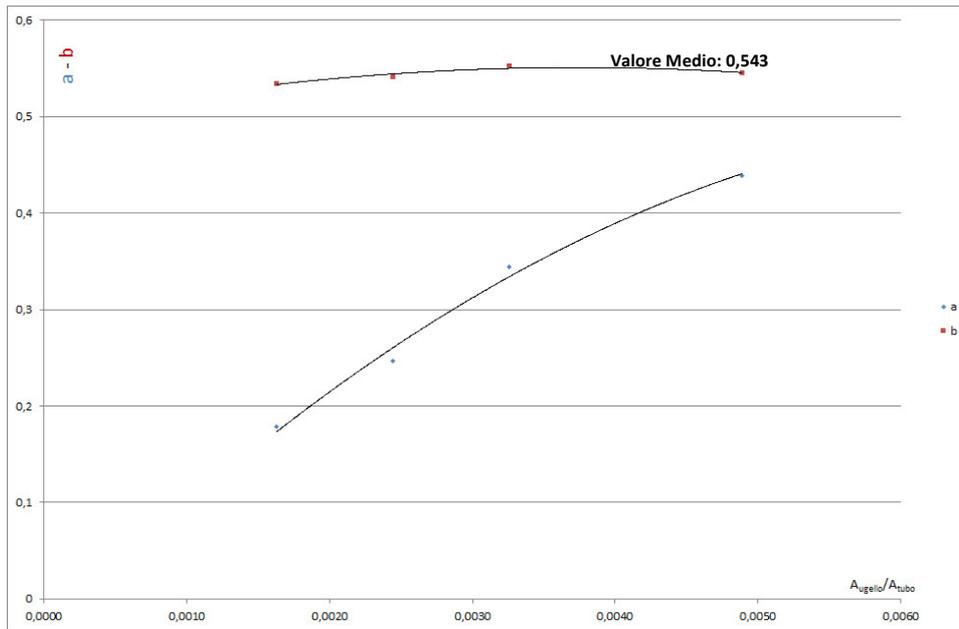
I risultati delle prove hanno permesso di determinare i valori dei parametri a e b , differenziati per ugelli circolari e rettangolari, qui di seguito sintetizzati:

D(mm)	A _{tubo} (mm ²)	Dimensioni ugelli(mm)	A _{ugello} (mm ²)	A _{ugello} /A _{tubo}	a	b
125	12265,625	20x3	60	0,0049	0,4391	0,5453
		20x2	40	0,0033	0,3447	0,5523
		10x3	30	0,0024	0,2465	0,5413
		10x2	20	0,0016	0,1787	0,5345

Tab. 6. Coefficienti della legge di efflusso (orifizi rettangolari).

D(mm)	d(mm)	$d_{\text{ugello}}/d_{\text{tubo}}$	a	b
125	20	0,16	1,33	0,4133
	15	0,12	1,0123	0,5137
	12	0,096	0,791	0,5155
	9	0,072	0,5016	0,519
	6	0,048	0,2304	0,5237

Tab. 7. Coefficienti della legge di efflusso (orifici circolari).



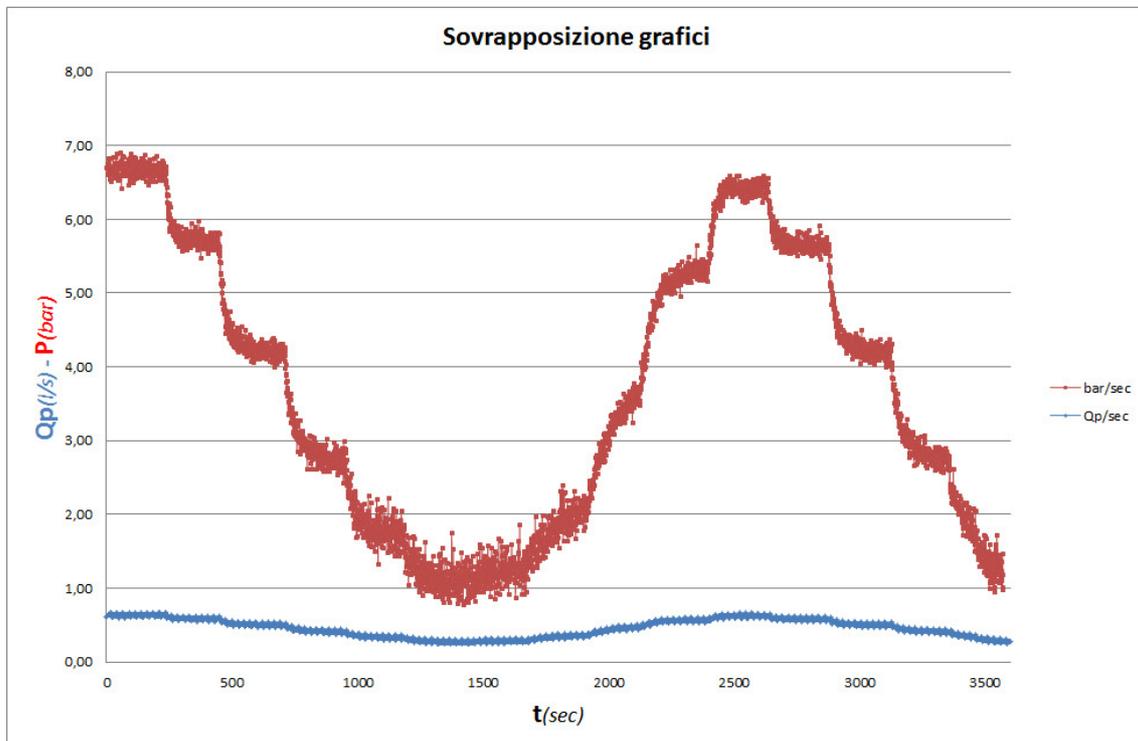
Andamento dei coefficienti della legge di efflusso.

Le prove dinamiche sono state invece effettuate per diversi intervalli di tempo e con differenti ugelli:

UGELLO	TEMPO
6mm	1h
9mm	1h
12mm	1h
15mm	1h
20mm	1h
9mm	2h
20mm	3h

Specchietto riassuntivo prove dinamiche.

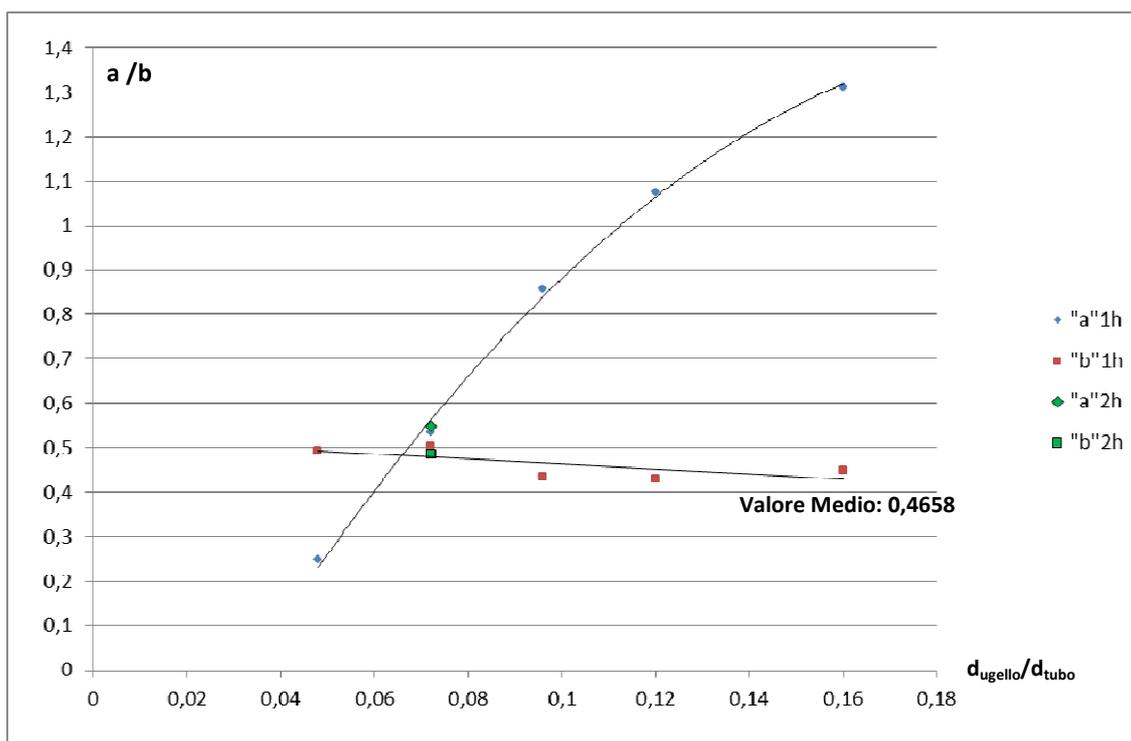
Inoltre è stato studiato l'andamento della portata dispersa confrontato con quello della pressione all'interno della tubazione (In figura i risultati della prova di 1ora con ugello di 6mm):



È possibile osservare che l'andamento delle portate è perfettamente coerente con quello delle pressioni, infatti minore è la richiesta idrica, maggiore sarà la pressione all'interno delle tubazioni, maggiore sarà la portata uscente.

Anche per queste prove sono stati determinati gli andamenti di a e b :

$d(\text{mm})$	$d_{\text{ugello}}/d_{\text{tubo}}$	a	b
20	0,16	1,3134	0,4496
15	0,12	1,0747	0,4285
12	0,096	0,858	0,4348
9	0,072	0,5493	0,485
9	0,072	0,535	0,5032
6	0,048	0,248	0,4937



Andamento coefficienti "a" e "b" rispetto al rapporto dugello/dtubo per prove dinamiche

Come è possibile notare dal diagramma, il coefficiente b assume valori inferiori a quello ipotizzato in letteratura (0,50). Questo risultato, ovviamente da verificare nell'ambito di un più ampio set di test sperimentali attualmente in fase di avvio, potrà risultare di estremo interesse nella fase di calibrazione dei modelli di simulazione quantitativa dei sistemi acquedottistici.

3. CONCLUSIONI

Le esperienze effettuate nell'impianto di circolazione ad alta pressione del laboratorio del *Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Geotecnica e Ambientale dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II"*, con pressioni variabili in un range molto ampio (2,5-7bar, sinora non indagato negli altri lavori sperimentali), con modalità sia statiche che dinamiche, hanno messo in evidenza quanto segue:

- la legge monomia $Q_p = a \cdot P^b$ consente un'attendibile previsione della portata dispersa al variare della pressione, se i valori dei coefficienti a e b sono adeguatamente definiti;
- Il valore del coefficiente a risulta pressochè costante tra prove statiche e dinamiche, il suo valore risulta strettamente legato alle dimensioni dell'ugello;
- nelle prove statiche l'esponente b è risultato non molto discosto dal valore teorico 0.50 sia per fori circolari che rettangolari;
- nelle prove dinamiche, invece, l'esponente b risulta lievemente minore del valore teorico. Sulla base di un set di prove più ampio potrà, quindi, essere possibile affinare la legge di perdita e rendere più efficienti i modelli di simulazione per la gestione delle reti;
- dal confronto tra Acciaio e Ghisa, non sono stati riscontrati valori particolarmente discosti. I due materiali hanno quindi un comportamento analogo nel range di pressioni considerato.

I dati sperimentali raccolti in questa esperienza hanno portato ad un miglioramento dei risultati presenti in letteratura. Si potrebbe quindi considerare questa sperimentazione come uno step di interesse da cui proseguire per definire in maniera sempre più accurata la relazione esistente tra le portate perse e le pressioni in rete.