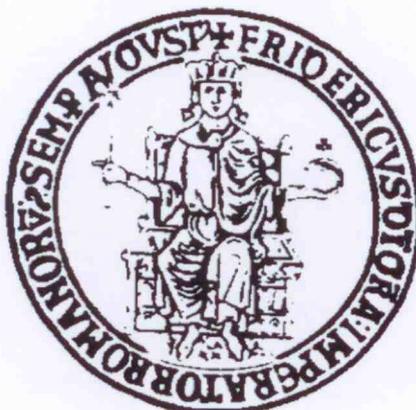


**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI
FEDERICO II**



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

INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL TERRITORIO

Classe L-7 delle Lauree in Ingegneria Civile e Ambientale

**ANALISI SPERIMENTALE DELLA RELAZIONE TRA PRESSIONE E
PERDITE IDRICHE IN UNA CONDOTTA IN PE_{ad} INTERRATA**

Relatori

Ch.mo Prof. Ing. Maurizio Giugni

Ch.mo Prof. Ing. Francesco De Paola

Correlatori

Ch.mo Prof. Ing. Gianfranco Urciuoli

Ing. Raffaele Papa

Ing. Enzo Galdiero

Candidati

Fabio Carotenuto

N49/346

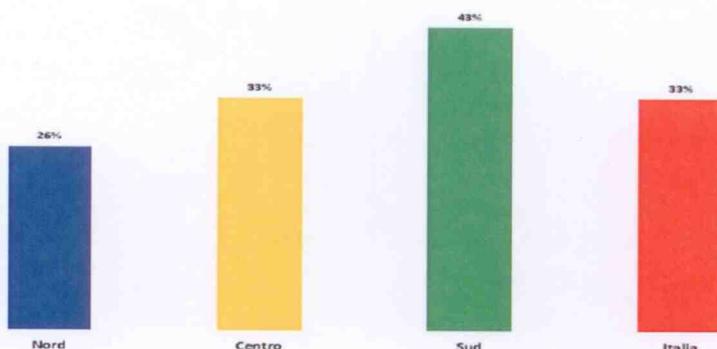
Lorenzo Del Giudice

N49/413

Anno accademico 2014-2015

INTRODUZIONE

- L'acqua riveste da sempre un ruolo fondamentale per il fabbisogno dell'ecosistema e quindi della civiltà umana che si è potuta evolvere grazie al corretto uso della risorsa idrica.
- L'acqua non è un bene rinnovabile, ma esiste una vera e propria emergenza legata al consumo e alla reperibilità di tale risorsa.
- È indispensabile attuare politiche di gestione della risorsa idrica mirate al contenimento dei fenomeni di perdite all'interno delle reti di cui il sistema è costituito.



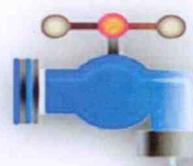
Dispersione idrica per aree geografiche italiane

1

IL PROBLEMA

Perdite nei sistemi acquedottistici

La ricerca delle perdite è una delle problematiche più importanti nella gestione della risorsa idrica. Una significativa aliquota del volume idrico immesso in rete e non contabilizzato è costituito dalle perdite attraverso i componenti della rete. Dal recupero delle perdite si possono ottenere molteplici benefici di matrice ambientale ed economica.



Milioni di euro e miliardi di m³ d'acqua persi ogni anno

Costo industriale delle perdite
226 milioni all'anno

Quantità d'acqua persa
2,61 miliardi di m³ all'anno

Mancato ricavo per il sistema Italia
3 miliardi all'anno

2

IL PROBLEMA



Situazione nazionale

I servizi idrici offerti ai cittadini restano di qualità inferiore rispetto a quelli di molti altri paesi europei. I volumi di acqua non fatturata sono relativamente elevati e il livello di accesso a infrastrutture efficienti per il trattamento delle acque reflue è relativamente basso. La *governance* del settore è carente e caratterizzata da ambiguità e incertezza.

3

Il problema delle perdite idriche riguarda l'intero sistema acquedottistico ma in particolar modo la **rete di distribuzione interna**

SISTEMA ACQUEDOTTISTICO	% PERDITA
Prelievo	2
Trattamento e adduzione	15
Stoccaggio	4
Distribuzione e allacciamenti	20

Le **perdite reali o fisiche** sono riconducibili alla non integrità e/o alla mancanza di tenuta degli elementi che costituiscono la rete idrica, quali le condotte, i giunti, le derivazioni di utenza, gli organi idraulici, le pareti dei serbatoi, etc. Tali perdite, in molti casi, possono rimanere non individuate per mesi o addirittura per anni.

Le **perdite amministrative o apparenti** costituiscono i volumi idrici consumati e non contabilizzati come ad esempio i volumi utilizzati per il lavaggio della rete, gli idranti, fontane o i volumi persi per sfiori dei serbatoi, errate aperture di scarichi ma anche i volumi prelevati illegalmente.



Le **perdite reali** rappresentano mediamente il 70% delle perdite globali e su di esse vengono in prevalenza concentrati gli sforzi di riduzione

4

PERDITE IDRICHE

La gravità della situazione dovuta all'elevata entità delle perdite può ben essere apprezzata riflettendo sul fatto che essa corrisponde ad un volume che, se non fosse sprecato, consentirebbe di **soddisfare le necessità idropotabili di oltre il 30% della popolazione italiana**

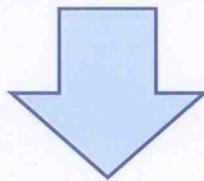


Esempi di perdite idriche fisiche nel sistema

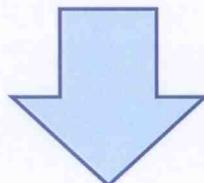
5

STIMA DELLE PERDITE

La stima delle perdite idriche si basa essenzialmente sulla redazione di un **Bilancio Idrico** e sulla misura della **portata minima notturna, MNF (Minimum Night Flow)**



I metodi di stima delle perdite idriche sono necessari per confrontare le diverse aree della rete e valutarne la vulnerabilità al fine di massimizzare l'efficacia degli interventi di riparazione



il gestore è tenuto a procedere ad una appropriata e specifica **campagna di ricerca delle perdite** per provvedere alle necessarie riparazioni

6

LEGGE DI PERDITA

Il fenomeno delle perdite è regolato dalla relazione intercorrente tra esse e la pressione di esercizio locale in rete. Questa relazione descrive l'aspetto quantitativo del fenomeno e due temi appaiono di notevole importanza:

- le perdite sono molto più sensibili alla pressione di quanto prevede la legge dell'efflusso da luce sotto battente;
- le diverse componenti delle perdite sono dipendenti dalla pressione in maniera diversa.

$$Q = \mu A \sqrt{2gh}$$

legge delle
foronomia

Attualmente, in base alle esperienze di laboratorio e sul campo, è possibile ritenere valido un legame tra la pressione P e le perdite Q secondo una relazione **monomia**

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

α = "discharge coefficient";
 β = "leakage exponent".

7

STUDI PRECEDENTI

Molti autori hanno cercato di caratterizzare i parametri della legge di perdita eseguendo numerose prove su condotte di diversi materiali e con lesioni di diversa tipologia. Di particolare importanza, in questo ambito di ricerca, sono stati gli studi effettuati dai ricercatori Greyvenstein e Van Zyl sulle condotte lesionate di Johannesburg.

Tipologia di tubazione	Tipologia di danno	β
Cemento amianto	Crepe longitudinali	0,78-1,04
Acciaio	Zone corrose	1,90-2,30
Acciaio e uPVC	Crepe circolari	0,52-0,53
uPVC	Crepe longitudinali	1,50-1,85
uPVC	Crepe circonferenziali	0,40-0,52

Sono state effettuate prove sperimentali anche su condotte interrata e in atmosfera presso il laboratorio di idraulica dell'Università di Napoli Federico II

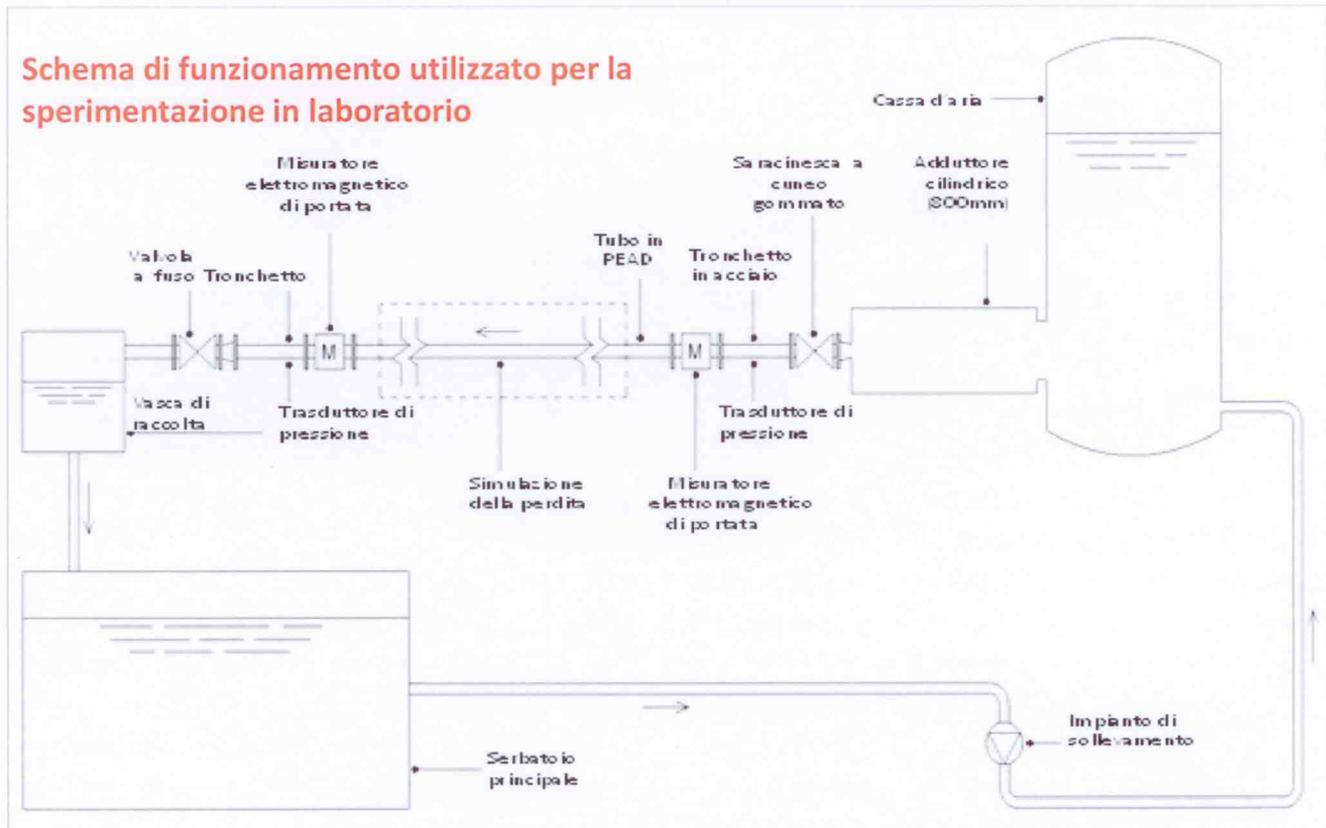
Tipologia di prova	α	β	μ	ν
non interrata	0,2059	0,6464	0,3726	0,6445
non interrata	0,1893	0,6857	0,3138	0,6831
non interrata	0,1904	0,6737	0,3247	0,6709
interrata	0,1768	0,6994	0,2829	0,6981

Risultati della calibrazione della Legge di Perdita (De Paola et al. 2014)

8

INSTALLAZIONE SPERIMENTALE

Schema di funzionamento utilizzato per la sperimentazione in laboratorio

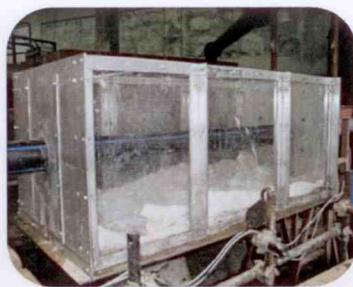


9

COMPONENTI PRINCIPALI DELL'INSTALLAZIONE



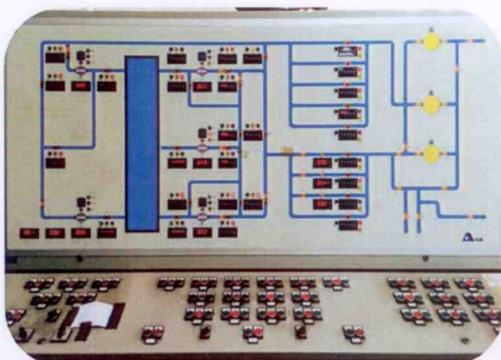
Condotta in PEAd
oggetto di studio



Installazione in
plexiglass



Cassa d'aria e
adduttore cilindrico



Quadro di comando
del laboratorio

10

TUBAZIONE IN PEad

Lo studio sperimentale è stato condotto su una tubazione in PEad (Polietilene ad alta densità), che appartiene alla categoria dei materiali sintetici.

La condotta oggetto di studio è un PE 100, DN 140, PN 16 e lunghezza 3,2 m



Tubazioni in PEad utilizzate per il trasporto d'acqua



Tubi in PEad – facilità di trasporto

Diametri [mm]	Pressioni [bar]
250-1000	PN 6,3
50-1000	PN10
32-630	PN16
20-450	PN25

Vantaggi:

- Leggerezza;
- Ridotta scabrezza;
- Flessibilità;
- Ridotto valore della celerità;
- Resistenza alla corrosione chimica.

Svantaggi:

- Ridotte caratteristiche meccaniche;
- Elevato coefficiente di dilatazione termica.

11

STRUMENTI DI MISURA



Trasduttore elettronico di pressione e manometro

consente di misurare pressioni nel range 0-10 bar mediante l'emissione in uscita di un segnale di corrente tra i 4 e i 20 mA. Tali trasduttori sono basati sul principio di misura estensimetrico, ossia trasformano le piccole deformazioni determinate dalla pressione dell'acqua in variazioni della loro resistenza

Misuratore elettromagnetico di portata

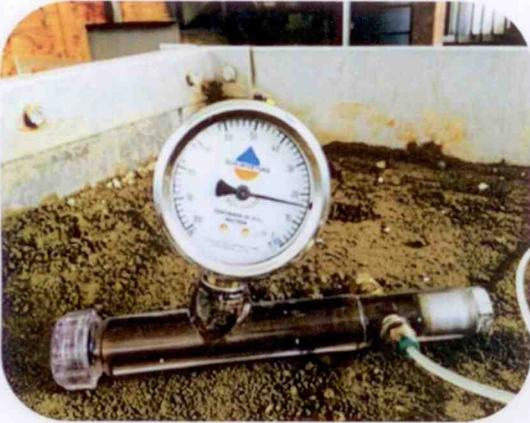
Il misuratore di portata elettromagnetico misura la portata di un fluido utilizzando la legge di induzione elettromagnetica di Faraday. Il fluido che scorre in una condotta isolata di diametro D è attraversato da un flusso magnetico di densità B ; se il flusso che scorre nella condotta è elettricamente conduttivo si induce una differenza di potenziale E rilevabile da due elettrodi posizionati perpendicolarmente alla direzione del flusso e del campo magnetico. La differenza di potenziale E è proporzionale alla velocità media del liquido V :

$$E = K \cdot B \cdot D \cdot V$$



12

STRUMENTI DI MISURA



La *suzione* rappresenta la pressione relativa negativa che si instaura in un terreno parzialmente saturo. Gli strumenti in grado di misurare la suzione sono i tensiometri.

Mini tensiometro

La misura della suzione si realizza mettendo a contatto tra loro il filtro poroso, di cui è dotato lo strumento, e il terreno. Si attende quindi che l'acqua presente all'interno della camera di misura e della pietra porosa raggiunga l'equilibrio con l'acqua di porosità del terreno. Poiché il filtro poroso è perfettamente saturo, grazie alla fase preventiva di saturazione dello strumento, mentre il terreno è insaturo, si determina una depressione all'interno della camera di misura che fa inflettere la membrana del dispositivo di misura. La pressione letta dallo strumento coincide quindi con la suzione del terreno, essendo il sistema in equilibrio.

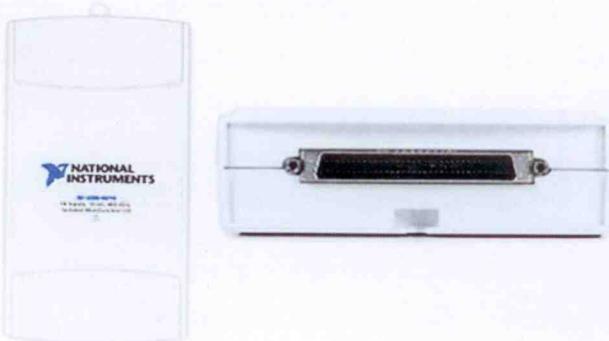
13

ACQUISIZIONE E LETTURA DATI

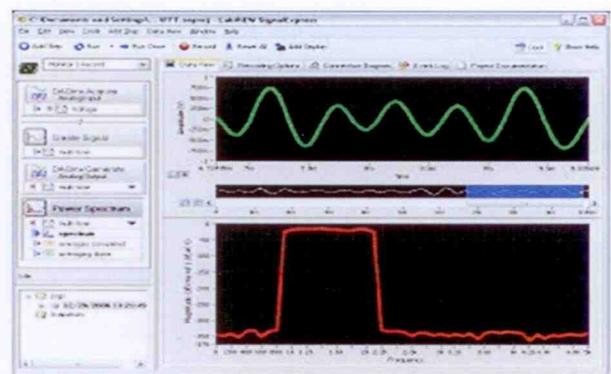
I valori misurati dalla strumentazione sono stati raccolti ed elaborati grazie ad una scheda di acquisizione collegata al PC.

Una volta acquisiti i dati sono state eseguite procedure standard che hanno permesso di leggere i dati in forma diretta:

- Raccolta dati di intensità su LabView SignalExpress 3.0;
- Trasferimento dei dati su foglio Excel;
- Calibrazione con intensità/portata e intensità/pressione
- Lettura finale dei dati.



Scheda di acquisizione



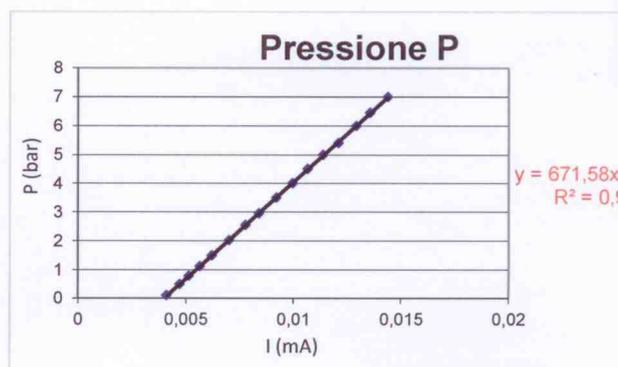
Interfaccia grafica LabView 3.0

14

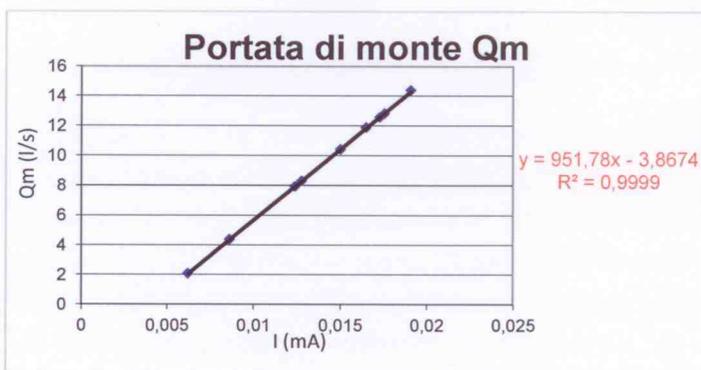
CALIBRAZIONE DEGLI STRUMENTI

È stato necessario procedere alla calibrazione del trasduttore e dei misuratori per la codifica del segnale. Per calibrazione si intende l'operazione volta a regolare uno strumento in modo da migliorarne l'accuratezza. Operativamente i dati ingresso/uscita vengono registrati in tabelle ed elaborati mediante una regressione in modo da ottenere una curva di calibrazione in forma analitica.

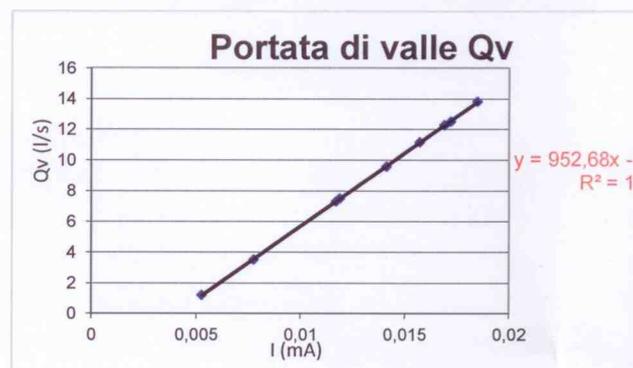
$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 \cdot X_i + u_i$$



Correlazione lineare per la pressione P



Correlazione lineare per la portata di monte Qm



Correlazione lineare per la portata di valle Qv

PREPARAZIONE DEL TERRENO

Il terreno all'interno del cassone è stato preparato per step:

ESSICCAMENTO

Realizzato per raggiungere un contenuto d'acqua «ottimale» per le fasi successive di costipamento

POSA

Eseguita per strati di circa 2 cm per permettere una compattazione più efficace

COMPATTAZIONE

Eseguita con un pestello in legno per aumentare il grado di costipamento del terreno

Mi

Il n
flu
Far
att
sco
dif
pe
ma
ve

ANALISI SPERIMENTALE

Le fasi antecedenti l'avviamento della prova hanno riguardato:

- Costipamento del terreno nell'installazione in plexiglass;
- Taratura e installazione dei tensiometri;
- Posizionamento del sovraccarico.



Compattatore manuale



Posizionamento dei
tensiometri



Sovraccarico

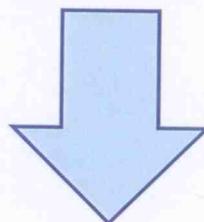
17

ANALISI SPERIMENTALE

La prova eseguita nell'installazione mira alla determinazione della portata persa dalla condotta da un foro circolare realizzato artificialmente delle dimensioni di 6 mm per simulare il fenomeno di perdita all'interno del terreno.

Una volta preparata l'intera installazione, è stato avviato l'impianto idraulico attraverso il quadro di comando ed è stata eseguita la prova sperimentale.

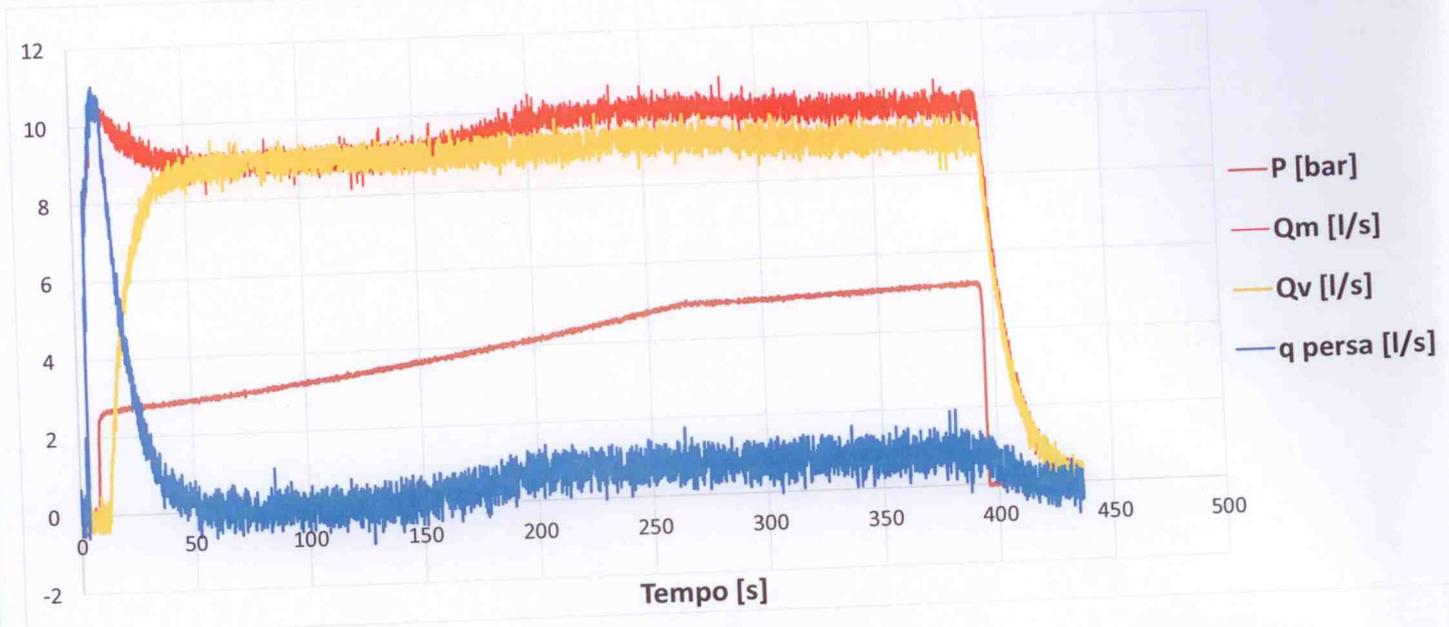
Mantenendo per l'intera durata della prova la saracinesca posta a monte completamente aperta, sono stati acquisiti i dati riguardanti la pressione in condotta P , la portata a monte e a valle dell'installazione, Q_m e Q_v , nonché il valore della suzione all'interno del terreno posto in prossimità dell'orifizio artificiale.



**LETTURA DELLA PORTATA PERSA (q)
DALL'ORIFIZIO**

18

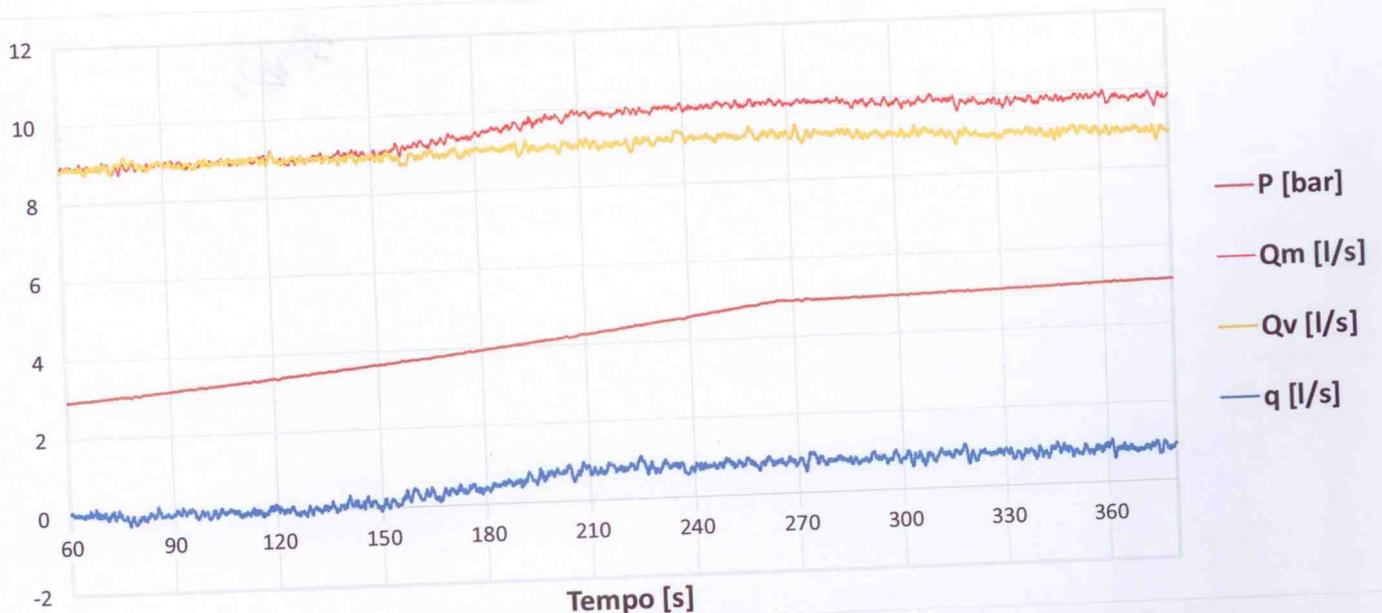
ANALISI IDRAULICA



L'acquisizione dei dati mostra una notevole variabilità dei valori causata dalla presenza di errori sistematici nella strumentazione. A questa elaborazione infatti è seguita un'operazione di filtrazione attraverso la funzione «**media mobile**» presente sul foglio di lavoro *Excel*.

19

MEDIA MOBILE DEI DATI ACQUISITI

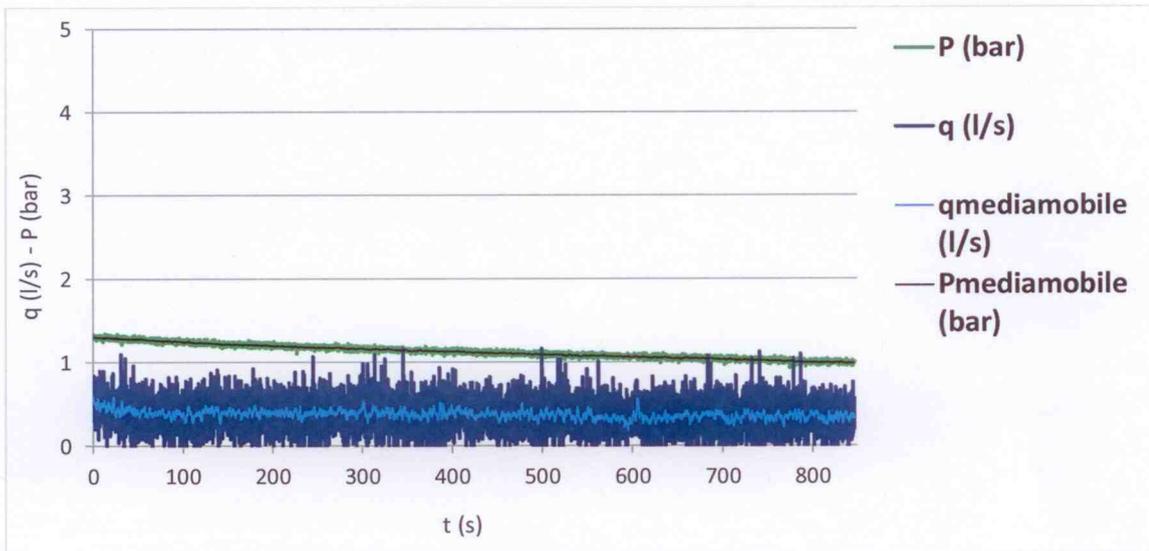


Si nota come la portata persa q sia inizialmente nulla, prova del fatto che la compattazione del terreno e il sovraccarico tensionale, dato dal carico applicato al piano campagna del cassone, abbiano contribuito al controllo della pressione in corrispondenza del foro evitando la fuoriuscita di acqua.

20

CONFRONTO

Le precedenti analisi effettuate nella medesima installazione hanno invece riscontrato un valore della portata persa sin dall'inizio della prova, a conferma del fatto che gli accorgimenti effettuati (costipamento e sovraccarico tensionale) hanno aumentato la resistenza del terreno nei confronti dell'attraversamento dell'acqua.



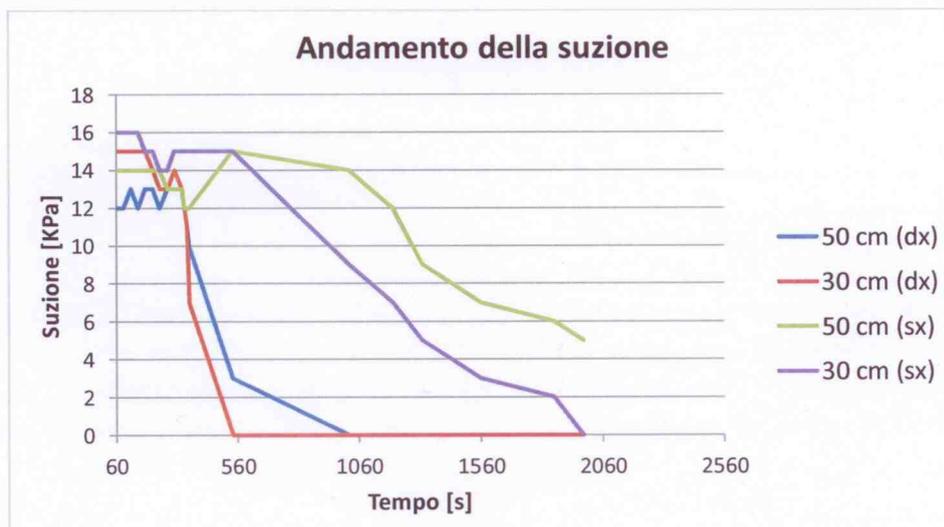
Andamento della portata persa nelle sperimentazioni precedenti

21

ANALISI GEOTECNICA

In sede geotecnica sono stati analizzati gli andamenti della suzione nei tensiometri posti all'interno del terreno nell'installazione al fine di rilevare il percorso che l'acqua, nel fuoriuscire dell'orifizio, ha fatto prima di riaffiorare al piano campagna del cassone.

Dalla lettura dei tensiometri si evince la risalita di acqua nella zona destra del cassone dove il terreno era stato meno compattato e dove quindi l'acqua ha incontrato minore resistenza al passaggio. In quella zona i tensiometri hanno registrato un decremento del valore di suzione verso i valori di saturazione più veloce di quelli installati sulla sinistra.



22

ANALISI GEOTECNICA

Durante la prova è stata anche realizzata una ripresa esterna del cassone dalla cui visione si nota subito come la zona "debole" sia stata soggetta preventivamente al passaggio di portata persa.

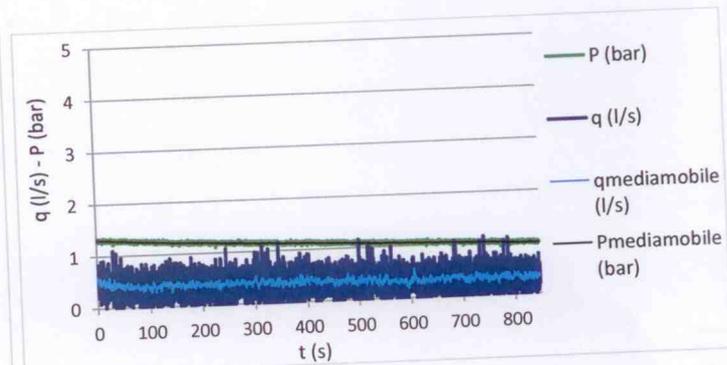
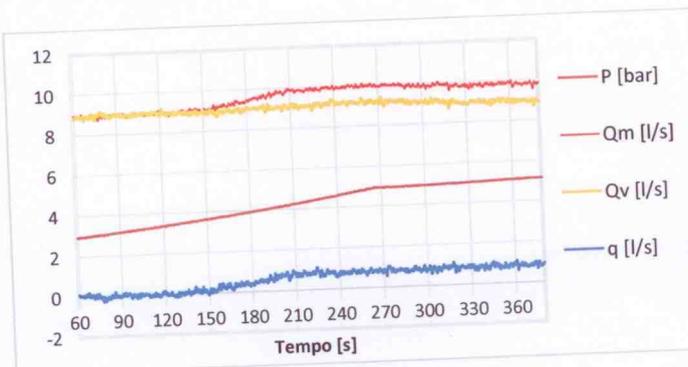


Risalita di acqua nel cassone durante la prova

23

CONCLUSIONI

- Nella prova effettuata, il comportamento della perdita idrica si discosta notevolmente dall'andamento della porta idrica persa riscontrata nei precedenti studi. Durante i primi minuti dell'esperimento, si è notato come la pressione esercitata dal terreno molto addensato, nonché dal sovraccarico posto al di sopra del piano campagna del cassone, abbia contenuto il fenomeno della perdita grazie alla pressione esercitata dal terreno circostante l'orifizio.



- La suzione ha avuto un andamento pressoché costante fino a quando l'acqua non è risalita verso un lato della vasca andando a saturare il terreno e facendo scendere repentinamente il valore della suzione dei due tensiometri installati in quel lato del cassone.
- Il moto dell'acqua sembra essere stato influenzato dal grado di costipamento non omogeneo del terreno.

24

CONCLUSIONI

La messa in opera delle tubazioni diventa quindi una fase determinante per la corretta realizzazione di un sistema acquedottistico mirato al contenimento quanto più efficace delle perdite idriche

