

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI NAPOLI  
“FEDERICO II”



DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, EDILE E  
AMBIENTALE

TESI DI LAUREA MAGISTRALE IN INGEGNERIA PER L'AMBIENTE E IL  
TERRITORIO

**INDAGINE SPERIMENTALE DI UN MANUFATTO DI  
CADUTA AD ASSE VERTICALE**

**Relatore:**

*Ch.mo Prof. Giuseppe Del Giudice*

**Correlatore:**

*Ing. Roberta Padulano*

**Candidato:**

*D'Amato Angelo*

*matr. M67/06*

ANNO ACCADEMICO 2012/2013

I manufatti di scarico ad asse verticale, o pozzi di caduta, sono elementi indispensabili all'interno di sistemi di drenaggio urbano che insistono su territori ricchi di dislivelli altimetrici; la loro funzione è infatti quella di collegare collettori posti a quote diverse. Il funzionamento idraulico dei pozzi di caduta, ed in particolare di quelli caratterizzati da un imbocco a spigolo vivo, non è però un problema completamente risolto nella letteratura tecnica, ed è oltretutto complicato dalla notevole variabilità delle portate (portata minima nera in tempo asciutto e portata pluviale variabile con l'evento meteorico).

Il caso reale oggetto di studio riguarda l'installazione di un manufatto di scarico lungo il collettore Vecchio Pastore Laganà, che rientra nella più ampia opera di sistemazione della Nuova Collettrice di via Tasso, nella rete di drenaggio della città di Napoli. Visti i pochi riferimenti bibliografici (Binnie, 1938; Anwar, 1965; Anderson et al., 1971) è risultato indispensabile uno studio sperimentale che andasse a descriverne il funzionamento per diverse configurazioni idrauliche. E' stata avviata una campagna di ricerca presso il Laboratorio di Idraulica del Dipartimento di Ingegneria Civile, Edile e Ambientale (DICEA) dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II", avente come oggetto la realizzazione di un manufatto di scarico ad asse verticale, con imbocco a spigolo vivo, mirante alla definizione della scala di deflusso dell'impianto, al fine di individuare una relazione che legghi la portata defluente nel sistema alle sue caratteristiche geometriche, in particolare lunghezza e diametro. È stata inoltre valutata l'influenza di un sistema di ventilazione, consistente in un tubo aeroforo coassiale al pozzo e in comunicazione con l'atmosfera, al variare del suo grado di affondamento rispetto al pozzo stesso. Sono stati adoperati tubi verticali dal diametro nominale  $D$  di 100, 70 e 50 mm, per ognuno dei quali sono state analizzate diverse lunghezze (1.5 m, 1 m, 0.5 m, 3D, 2D, 1D), e aerofori del diametro  $d$  di 70, 50 e 30 mm, per un totale di 70 configurazioni diverse, di cui circa la metà sperimentate dal Candidato e le restanti oggetto di una precedente tesi di Laurea Magistrale (D'Avino, 2013).

Osservando i dati sperimentali ottenuti è possibile notare che tutte le scale di deflusso sono essenzialmente composte da due rami: un ramo superiore caratteristico del deflusso in condizioni di *full flow* [ $Q = f(\Delta h)$ ] durante il quale il manufatto si presenta pressurizzato con assenza di aria, mentre in vasca si osservano tiranti stabili e alti e assenza di fenomeni vorticosi; un ramo inferiore caratteristico del deflusso in *non full flow*, che a sua volta si distingue in *transitional flow* e *weir flow*. La condizione di *weir flow* [ $Q = f(h^{3/2})$ ] caratterizza l'ultimo tratto della scala di deflusso, con le portate minime; nel manufatto di scarico si osserva una miscela di acqua e aria a pressione atmosferica e quasi sempre un vortice fisso in vasca. Durante il *transitional flow* si osservano andamenti ciclici dei tiranti,

tali per cui si alterna una condizione di *weir flow*, in cui il tirante aumenta nel tempo fino a un massimo e si osserva una contrazione del getto nella sezione di imbocco, e una condizione di *full flow* in cui la sezione è completamente piena e il tirante decresce nel tempo fino a un minimo, in corrispondenza del quale si ripristina la fase di *weir flow*. Per particolari configurazioni (tubi corti cioè con  $L \leq 3D$ ), inoltre, si è osservata una particolare condizione detta *Borda free flow* la cui scala di deflusso è composta da un unico ramo, mentre la sezione di imbocco è caratterizzata da una sezione contratta fissa con un getto del tutto staccato dalla pareti del pozzo, cosa che rende ininfluenza la lunghezza del tubo ai fini della caratterizzazione del deflusso. Infine, è stata analizzata per le tre luci disponibili la condizione di efflusso a battente in parete sottile.

La presenza dell'aeroforo è risultata molto significativa in termini di pressioni. Mentre infatti nelle prove prive di aeroforo le pressioni sono risultate tutte negative, con valori minimi importanti in prossimità dell'imbocco (seppure decrescenti al diminuire della quota), in presenza di ventilazione le depressioni massime sono risultate notevolmente inferiori. Inoltre, in questo caso si è osservata una perdita di carico dovuta al sistema di bloccaggio dell'estremità inferiore dell'aeroforo.

L'analisi matematica dei dati sperimentali ha permesso di caratterizzare analiticamente le scale di deflusso ed estrapolare leggi che potessero interpretare assetti dell'impianto anche diversi da quelli adottati durante la campagna sperimentale. Tale analisi è stata condotta separatamente per i dati *full flow* e quelli *non full flow*.

L'analisi dei dati *full flow* ha restituito una legge che ben interpreta i punti sperimentali; in particolare, applicando il teorema di Bernoulli con le opportune ipotesi semplificative, si è estratta la seguente equazione, valida sia in presenza che in assenza di aeroforo:

$$Q = C_d \cdot \sigma \cdot \sqrt{2g(h + L_{full})}$$

dove  $\sigma$  è la sezione idrica,  $h$  è il tirante in vasca,  $L_{full}$  è la lunghezza del *full flow* e

$$C_d = \sqrt{\frac{1}{1 + \beta + \xi}}$$

con  $\beta$  termine sintetico che tiene conto delle perdite di carico distribuite (nella fattispecie è stata adottata la teoria dei tubi lisci) e  $\xi$  termine che tiene conto della perdita di carico concentrata di imbocco.  $\xi$  è stato opportunamente tarato per ogni configurazione: per le configurazioni senza aeroforo esso è risultato indipendente sia dal diametro che dalla lunghezza del pozzo, potendo dunque considerare un valore medio  $\xi_{medio}=0.24$ ; in presenza di aeroforo, con  $n > 2$ , ( $n$  è la misura dell'affondamento dell'aeroforo espressa in numero di ripetizioni della misura del diametro  $D$ ), è risultata una dipendenza dal rapporto  $L_{full}/D_{eq}$  tale

per cui è  $\xi = 0.0233 \cdot L_{full} / D_{eq} + 0.5$  ma risultati più che accettabili sono stati ottenuti anche utilizzando un valore  $\xi_{medio}=0.652$  (fatta eccezione per la configurazione D70d50 che presenta  $\xi_{medio}=0.49$  per probabili effetti di scala dovuti alle ridotte dimensioni della sezione). Per  $n \leq 2$  invece  $\xi$  è risultato costante con la lunghezza ma dipendente solo dal diametro equivalente, per cui è risultato  $\xi=0.87$  per D100d70,  $\xi=0.59$  per D100d50 e  $\xi=0.56$  per D100d30.

L'analisi dei dati *non full flow* è stata effettuata tre volte, considerando prima i tiranti medi, poi quelli minimi e infine quelli massimi per i punti appartenenti al regime *transitional flow*.

La legge utilizzata per l'interpretazione dei punti sperimentali così come descritto in letteratura lega la portata  $Q$  a  $h^{3/2}$ :

$$Q = \mu \cdot P_{eq} \cdot h \cdot \sqrt{2gh}$$

dove  $P_{eq}$  è il "perimetro equivalente" pari a  $\pi(D-d)$ , valutato a partire dalla definizione di raggio idraulico. Il coefficiente di efflusso  $\mu$  è stato tarato ritenendolo diverso per ogni configurazione ma costante con il carico, soluzione che ha fornito risultati migliori rispetto ad un modello che vede  $\mu$  decrescente con  $h$ . È stato inoltre osservato che  $\mu$  aumenta, a parità di diametro, con la lunghezza del pozzo (ma in misura sempre più debole al diminuire del diametro) e a parità di lunghezza con il diametro, con riferimento alle configurazioni prive di aeroforo. In presenza di esso, invece,  $\mu$  risulta diminuire all'aumentare della sezione indipendentemente dalla lunghezza.

In Fig. 1.a è mostrato il confronto tra la portata osservata per ogni punto sperimentale e quella calcolata secondo il modello, con riferimento al regime di *full flow*, mentre in Fig. 1.b è mostrato lo stesso confronto relativo però al *non full flow*. Si osserva che, fatta eccezione per pochi punti, gli scarti percentuali del modello *full flow* sono molto contenuti e comunque inferiori al 10%, mentre gli scarti del modello *non full flow*, con riferimento all'analisi dei tiranti medi, sono leggermente superiori ma contenuti entro il 30%, con una dispersione maggiore per le portate più piccole.

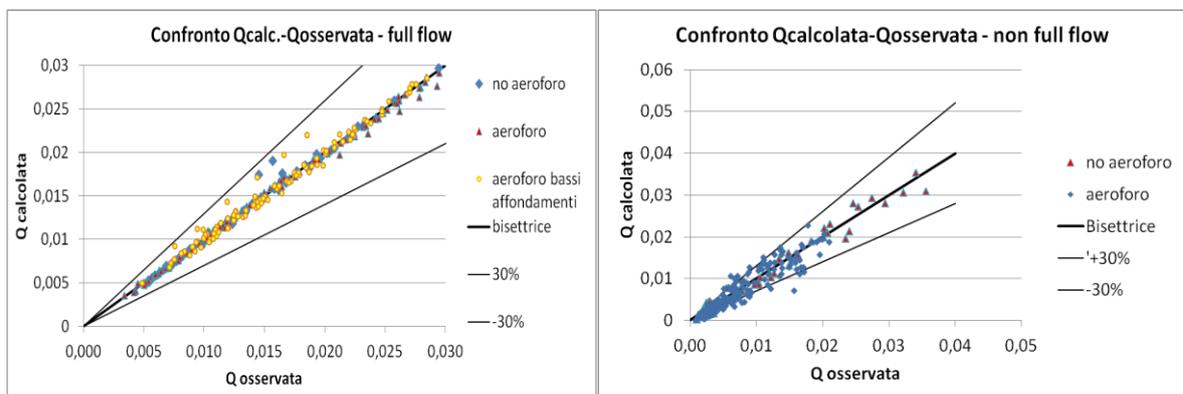


Figura 1: Accordo  $Q_{calcolata}-Q_{osservata}$  per tutte e le configurazioni in *full flow* (a) e *non full flow* (b).