

IL DIMENSIONAMENTO IDRAULICO DEI MANUFATTI NEI SISTEMI DI DRENAGGIO URBANO LACUNE NORMATIVE E NUOVI INDIRIZZI PROGETTUALI

Corrado Gisonni



1



corrado.gisonni@unicampania.it
Dipartimento di Ingegneria
Università della Campania 'Luigi Vanvitelli'

Corrado Gisonni

- Professore Ordinario di Costruzioni Idrauliche (s.s.d. CEAR-01/B, già ICAR/02)
- Principali attività di ricerca e consulenza scientifica:
 - ✓ *Sistemi di drenaggio urbano*
 - ✓ *Protezione idraulica del territorio e Sistemazioni idrauliche*
 - ✓ *Infrastrutture acquedottistiche*
- Autore di oltre 150 articoli, pubblicati anche su riviste internazionali, e coautore del "Manuale italiano per la progettazione del sistema fognario" e autore di "Idraulica dei sistemi fognari - dalla teoria alla pratica" (coautore Willi H. Hager)
- È stato più volte "visiting professor" presso il Politecnico Federale di Zurigo (ETHZ) ed il Politecnico Federale di Losanna (EPFL)
- Chair della Divisione Europea della International Association of Hydraulic Engineering and Research (I.A.H.R.) dal 2016 al 2022
- Commissario Straordinario di Governo per la sicurezza del sistema idrico del Gran Sasso (ex. D.P.C.M. del 5.11.2019, fino al 15.08.2023)
- Recenti riconoscimenti internazionali:
 - 20 giugno 2023, insignito del titolo di Inaugural Fellow Member dell'I.A.H.R.;
 - Premio 2025: "J.C. Stevens award" per la migliore Discussion pubblicata sul "Journal of Hydraulic Engineering" della "American Society of Civil Engineering" (A.S.C.E.).

2

Indice

1. **Introduzione**
2. La Normativa di riferimento
3. Strumenti e Metodi
4. Alcuni casi reali
5. Conclusioni



3

Calamità alluvionali

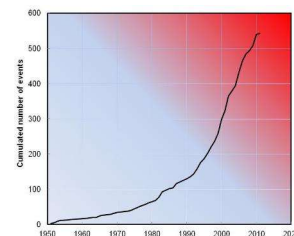
Le conseguenze degli eventi classificati come Alluvioni e Colate di Fango sono drammatiche, come dimostrano le statistiche estratte dall'International Disaster Database (CRED, Université Catholique de Louvain - UCL, Bruxelles, Belgio; <http://www.emdat.be>)

Total Deaths	No. Injured	No. Affected	No. Homeless	Total Affected	Total Damage, Adjusted ('000 US\$)
31296	35391	26425725	2584321	29045437	566589035

-Dal 1920 ad oggi il danno economico stimato ammonta a circa **570 miliardi di euro (90 in Italia)**;

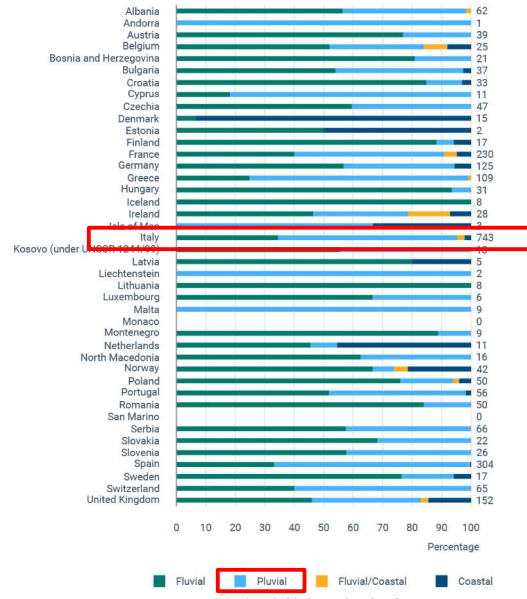
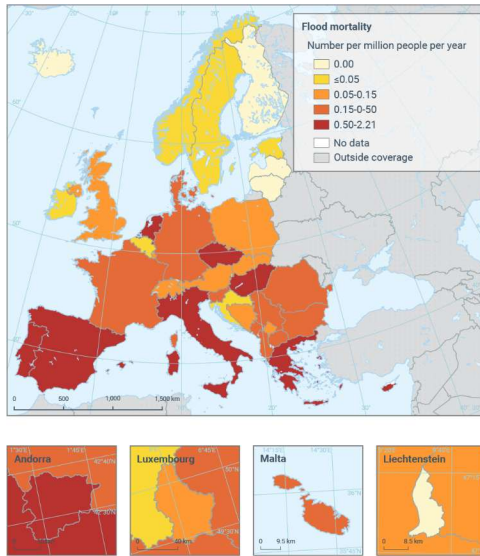
- Nel corso dell'ultimo secolo, più di **29 (3 in Italia) milioni** di persone sono state colpite da eventi distruttivi, per un totale di oltre **31.000 vittime (circa 4mila in Italia)**;

- Negli ultimi 60 anni sono stati registrati più di **500 eventi**, con un trend in netta crescita negli ultimi decenni.



4

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano



FONDAZIONE CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Reference data: © EuroGeographics, © FAO (UN), © TurkStat Source: European Commission - Eurostat/GISCO

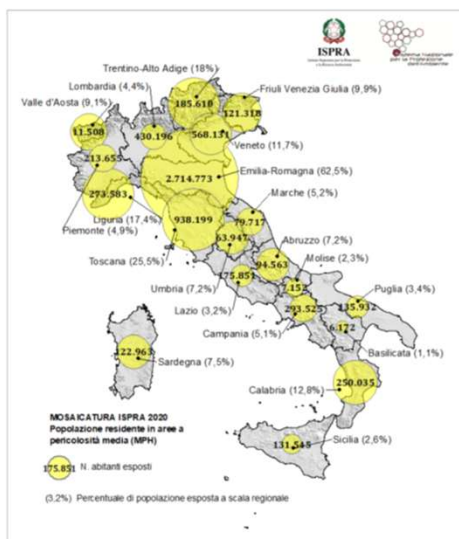
<https://www.eea.europa.eu/it/analysis/maps-and-charts/flood-events-by-type-and>

Corrado Gisondi



5

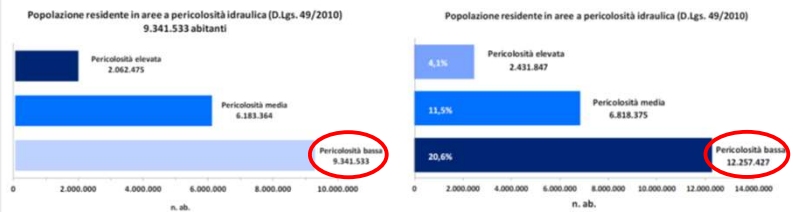
Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano



L'indicatore **Popolazione esposta a rischio di alluvione** è stato utilizzato nell'ambito della *Carta del Rischio delle Aree Metropolitane* per l'identificazione dei comuni con una popolazione più esposta a Rischio Idraulico in 14 aree metropolitane. L'obiettivo era stabilire le priorità di finanziamento per le azioni di mitigazione del rischio (ISPRA, 2018 e 2021-2024).

ISPRA: Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale
<https://www.isprambiente.gov.it/>

La popolazione esposta è aumentata di oltre il 30%



ISPRA 2018

ISPRA 2021-2024

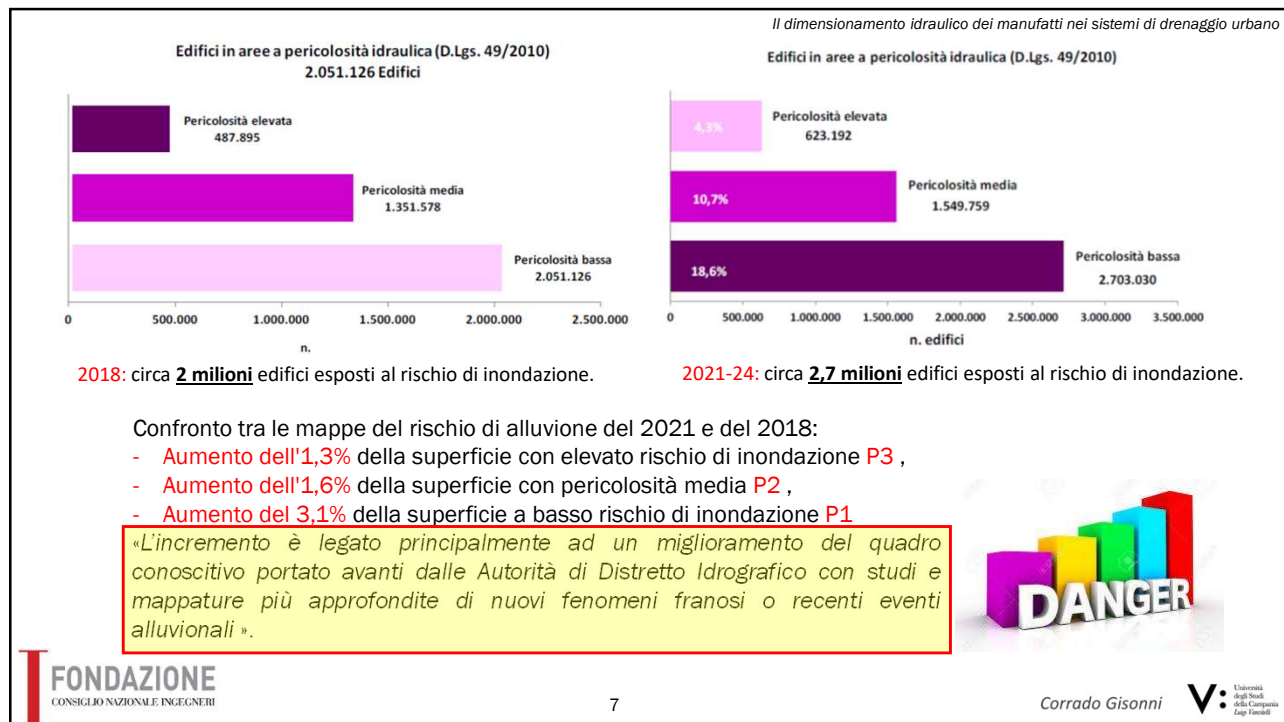
FONDAZIONE CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

6

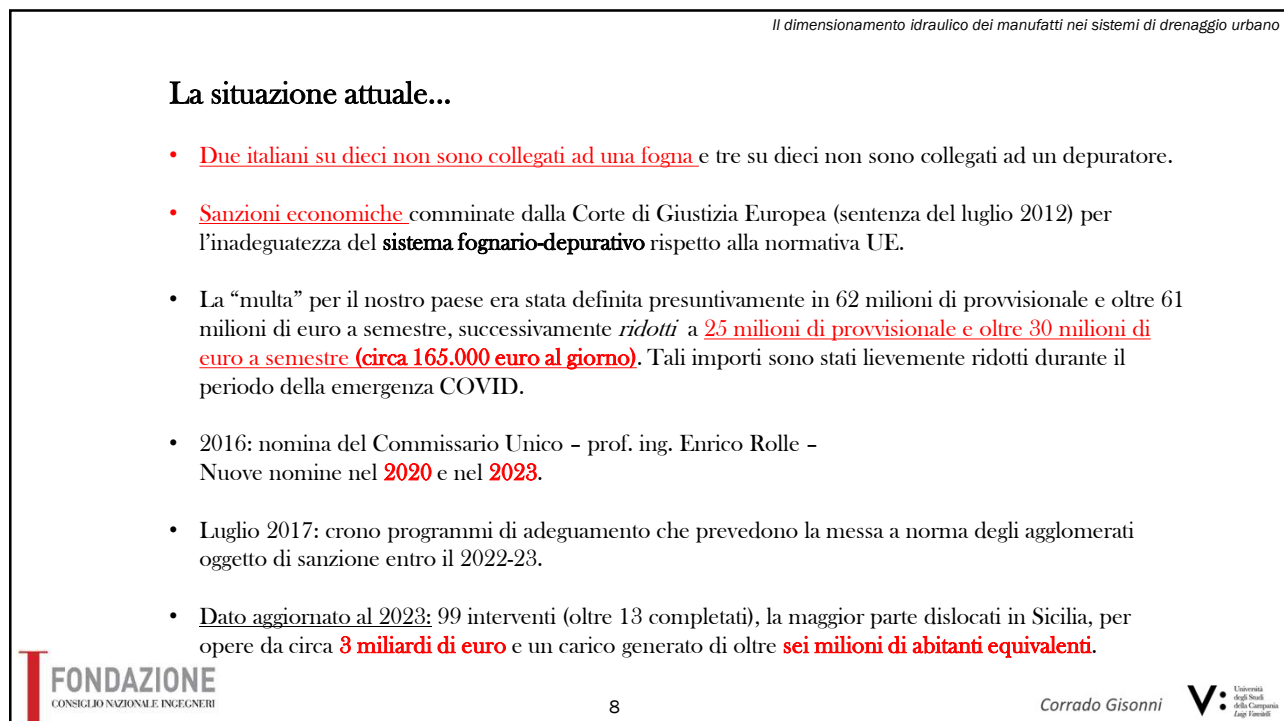
Corrado Gisondi



6



7



8



DECRETO 6 agosto 2021.
 Assegnazione delle risorse finanziarie previste per l'attuazione degli interventi del Piano nazionale di ripresa e resilienza (PNRR) e ripartizione di traguardi e obiettivi per scadenze semestrali di rendicontazione

MISSIONE	COMPONENTE	TIPOLOGIA	INTERVENTO	Importi (€)				NOTE
				Importo totale	di cui Progetti in essere	di cui Manuf. progettati	di cui POC	
ME	C3	Investimento	2.1. Efficienza e Sostenibilità fino al 10% per l'efficienza energetica e la sicurezza degli edifici	13.950.000.000,00	10.250.000.000,00	3.895.000.000,00	-	
ME	C3	Investimento	3.1. Evoluzione di sistemi di riscaldamento	200.000.000,00	-	200.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	1.1. Realizzazione di un sistema avanzato ed integrato di monitoraggio e prevenzione	500.000.000,00	-	500.000.000,00	-	
ME	C4	Sub-Investimento	2.1a. Misura per la gestione del rischio di alluvione e per la riduzione del rischio idrogeologico	1.287.130.000,00	1.287.130.000,00	-	-	
ME	C4	Investimento	3.1. Tutela e valorizzazione del verde urbano ed extraurbano	300.000.000,00	30.000.000,00	300.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	3.2. Digitalizzazione dei parchi nazionali	100.000.000,00	-	100.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	3.3. Ripristinazione dell'area del Po	357.000.000,00	-	357.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	3.4. Sviluppo del verde urbano	500.000.000,00	-	500.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	3.5. Ripristino e tutela dei fondali e degli habitat marini	400.000.000,00	-	400.000.000,00	-	
ME	C4	Investimento	4.4. Investimenti in fognatura e depurazione	400.000.000,00	-	400.000.000,00	-	
ME	C2	Investimento	1.1. Interventi per la sostenibilità ambientale dei porti Cines-Porto	270.000.000,00	-	270.000.000,00	-	
Interventi a titolarità del Ministero della Salute (MS)				15.625.541.003,51	2.979.000.000,00	9.645.941.003,51	3.000.000.000,00	
ME	C1	Investimento	1.1. Case delle Comunità e presa in carico della persona	2.000.000.000,00	-	500.000.000,00	1.500.000.000,00	Ministero della Salute tramite l'Agenzia nazionale per i servizi sanitari regionali
ME	C1	Investimento	1.2. Case come primo livello di cura e assistenza	4.000.000.000,00	-	4.000.000.000,00	-	Ministero della Salute tramite l'Agenzia nazionale per i servizi sanitari regionali
ME	C1	Sub-Investimento	1.2.1. Case come primo luogo di cura (AoS)	2.720.000.000,00	-	2.720.000.000,00	-	Ministero della Salute tramite l'Agenzia nazionale per i servizi sanitari regionali



Indice

1. Introduzione
- 2. La Normativa di riferimento**
3. Strumenti e Metodi
4. Alcuni casi reali
5. Conclusioni

NORMA EUROPEA	Connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici - Gestione del sistema di fognatura	UNI EN 752
---------------	--	------------

GIUGNO 2017

Versione Italiana del giugno 2018

Drain and sewer systems outside buildings - Sewer system management

La norma specifica gli obiettivi delle connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici e specifica inoltre i requisiti funzionali e i principi relativamente alla pianificazione, progettazione, installazione, esercizio, manutenzione e risanamento. La norma si applica alle connessioni di scarico e ai collettori di fognatura dal punto in cui le acque reflue lasciano l'edificio, il sistema pluviale o la pavimentazione, fino al punto di scarico in un impianto di trattamento o nei condotti fognari. Sono inclusi gli scarichi e le fognature al di sotto degli edifici purché non facciano parte della rete fognaria dell'edificio.



Quadro normativo di riferimento per i sistemi di drenaggio urbano

- **1882** (25 giugno 1882, n. 269, *Legge Baccarini*, deputato e ingegnere): lo Stato finanzia opere pubbliche migliorando le condizioni geologiche del territorio e debellare la malaria (bonifiche)
-
- **Circolare Ministero dei Lavori Pubblici - Presidenza del Consiglio superiore - Servizio Tecnico centrale, 7 gennaio 1974, n. 11633: "Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque di rifiuto".**
- Ministero dei Lavori Pubblici - Comitato dei Ministri per la Tutela delle Acque dall'Inquinamento: "Norme tecniche generali per la regolamentazione dell'installazione e dell'esercizio degli impianti di fognatura e depurazione" - Allegato 4 alla Deliberazione del 4 febbraio **1977** (S.O. alla G.U. 21 febbraio 1977 n. 48).
- Delibera Comitato Interministeriale del 30.12.**1980** (G.U. 10 gennaio 1981, n. 9). "Direttive per la disciplina degli scarichi delle pubbliche fognature e degli insediamenti civili che non recapitano in pubbliche fognature".
- Decreto Ministero LL.PP. 12 Dicembre **1985** (G.U. 13.3.1986, n.61). "Norme tecniche relative alle tubazioni".
- D.P.C.M. del 4 marzo **1996** (G.U. del 14.3.1996). «Disposizioni in materia di risorse idriche». (Allegato 8. Livelli minimi dei servizi in AATTOO).

Quadro normativo di riferimento per l'ingegneria strutturale

- Legge n. 1985 del 5 Marzo **1884**. A seguito del terremoto di Casamicciola (Isola d'Ischia) del 28 luglio 1883, Regio Decreto n. 2600 del 29 Agosto 1884.
- Varie leggi dopo altri eventi sismici (Calabria e Messina, 1908; Avezzano, 1915; Belice, 1968...)
-
- L. 5 novembre **1971** n.1086 (G.U. 21 dicembre 1971 n.321). Norme per la disciplina delle opere in c.a., normale e precompresso ed a struttura metallica.
- D.M. 03 marzo **1975** n.40 (G.U. 08 aprile 1975 n.93). Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche.
- D.M. 26 marzo **1980** (G.U. 28 giugno 1980 n.176). Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale, precompresso e per le strutture metalliche.
-
-
-
- D.M. 9 gennaio **1996** (G.U. 05 febbraio 1996 n.29). Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in c.a. normale e precompresso e per le strutture metalliche.

Quadro normativo di riferimento per i sistemi di drenaggio urbano

- alcune norme UNI EN, quasi mai seguite da Regolamento Nazionale per la definizione di criteri cogenti.

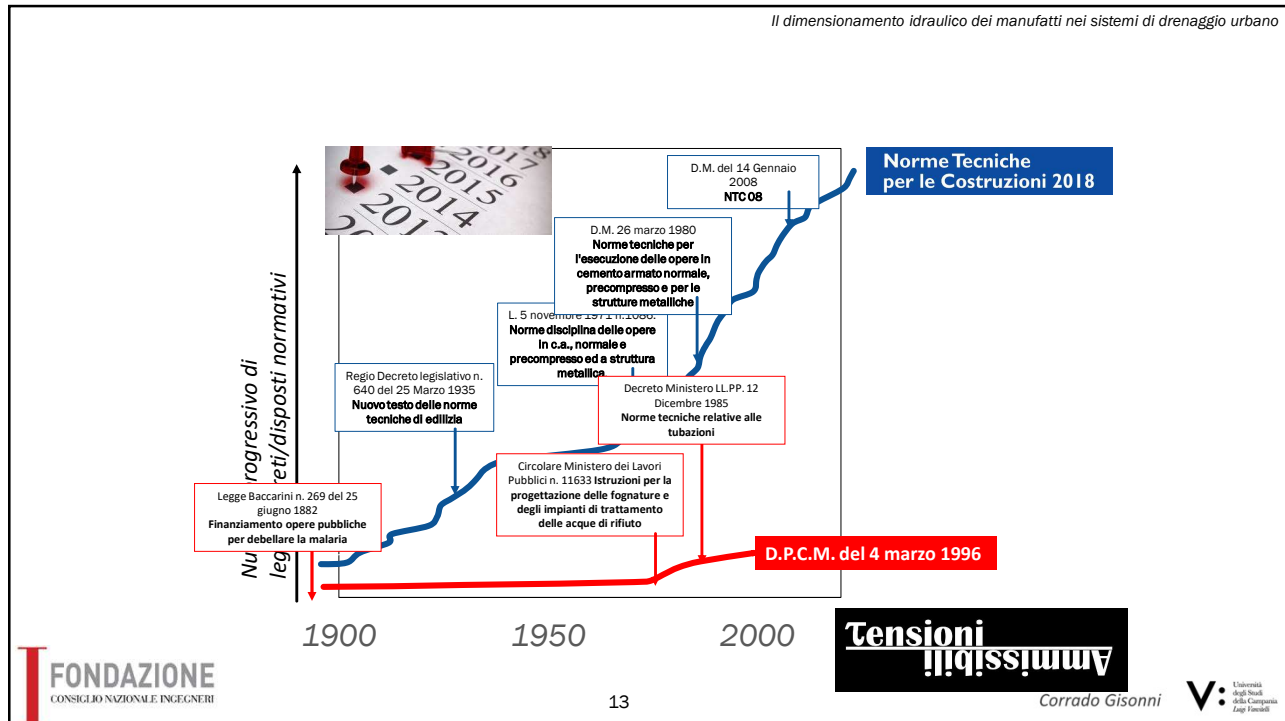
???



Quadro normativo di riferimento per l'ingegneria strutturale

- Decreto Ministeriale del 14 Settembre 2005 (G.U. n. 222 del 23/09/2005). "Norme Tecniche per le Costruzioni" (inizialmente denominato "Teso Unico").
- ...
- ...
- D.M. 14 gennaio 2008 (G.U. 04 febbraio 2008 n.29). Norme tecniche per le costruzioni. NTC 2008
- ...
- ...
- D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. 20 febbraio 2018). Norme tecniche per le costruzioni. NTC 2018
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 (G.U. 11 febbraio 2019 n. 35). Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018
- ...

Circa 100 provvedimenti (Leggi, Decreti e Circolari) nell'ultimo secolo!



13

Velocità di autopulitura

Circolare n.11633/74 del Ministero dei LL.PP.

La velocità relativa alle portate medie non dovrà di norma essere inferiore ai **50 cm/s**. Quando ciò non si potesse realizzare dovranno essere interposti in rete adeguati sistemi di lavaggio.



UNI EN 752: 2008

Connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici

Si raccomanda una velocità minima **di 0.7 m/s** per fognature fino a DN 300. La velocità di autopulitura, per prevenire accumuli di depositi sul lungo termine, deve essere garantita almeno una volta al giorno (i.e. sulla portata nera di punta).



~~UNI EN 752: 2008~~

~~Stato : **RITIRATA**
Data ritiro: **08 giugno 2017**~~

UNI EN 16933-2

Data pubb.: **ottobre 2017**

14

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Manufatti di ispezione

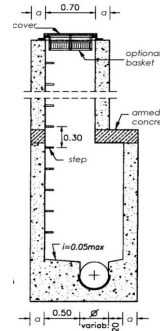
Circolare n.11633/ 1974 del Ministero dei LL.PP.

... dovrà altresì indicarsi il criterio secondo il quale sono intervallati i pozzetti di ispezione. Questi ultimi, comunque, non potranno distare tra loro più di **20-25 metri** quando le sezioni non siano praticabili (altezza inferiore a 1,05 m); potranno disporsi a maggiore distanza, e comunque non superiore a **50 m** per le fogne praticabili. Qualora l'altezza dei collettori o dell'emissario sia superiore a 2,00 m potrà accettarsi che i pozzetti siano disposti tra loro sino alla distanza massima di **150 m**; per tratti in galleria la distanza sarà stabilita caso per caso.

UNI EN 752: 2008

La norma dà indicazioni di massima, [rinviando ai vari Regolamenti Nazionali](#).

Forniva **precise indicazioni sulle dimensioni delle camere** dei pozzetti per agevolare le operazioni di ispezione e manutenzione, dettando le misure minime per l'accesso del personale.



~~**UNI EN 752: 2008**~~

~~Stato : **RIELENATA**~~

~~Data ritiro: **08 giugno 2017**~~

UNI EN 16933-2

Data pubb.: **ottobre 2017**

The layout of the manhole or inspection chamber, for example the use of benching, and the angle of the connections, should minimize head losses as far as practicable.

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

~~**UNI EN 752: 2008**~~



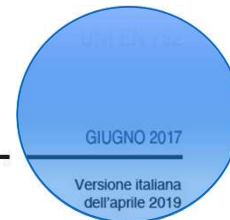
UNI EN 752: 2017

NORMA EUROPEA

Connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici - Gestione del sistema di fognatura

Drain and sewer systems outside buildings - Sewer system management

La norma specifica gli obiettivi delle connessioni di scarico e collettori di fognatura all'esterno degli edifici e specifica inoltre i requisiti funzionali e i principi relativamente alla pianificazione, progettazione, installazione, esercizio, manutenzione e risanamento. La norma si applica alle connessioni di scarico e ai collettori di fognatura dal punto in cui le acque reflue lasciano l'edificio, il sistema pluviale o la pavimentazione, fino al punto di scarico in un impianto di trattamento o nei condotti fognari. Sono inclusi gli scarichi e le fognature al di sotto degli edifici purché non facciano parte della rete fognaria dell'edificio.



UNI EN 752: 2017

8.7.3

Condizioni di auto-pulizia

Le acque reflue tendono a contenere una serie di materiali che possono accumularsi negli scarichi o nelle fognature o causare ostruzioni.

Gli scarichi e le fognature devono essere progettati per ridurre al minimo il rischio di ostruzioni di qualsiasi materiale penetrato nelle acque reflue.

L'accumulo di depositi di solidi permanenti negli scarichi e nelle fognature può aumentare notevolmente il rischio di inondazioni delle fognature e inquinamento. Gli scarichi e le fognature devono essere progettati per fornire un sufficiente sforzo di taglio per limitare l'accumulo di solidi a livelli che non aumentino notevolmente questo rischio.

Possono essere richieste disposizioni particolari di manutenzione per garantire una frequente pulizia delle fognature laddove non sia stato possibile fornire condizioni di auto-pulizia.

8.7.4

Accesso agli scarichi e alle fognature

Si deve predisporre un accesso sicuro a intervalli ragionevoli per permettere l'ispezione e la manutenzione. L'accesso deve essere progettato per facilitare l'ingresso e l'uscita in sicurezza del personale addetto e provvedere uno spazio sufficiente per lavorare.

Laddove possibile si dovrebbe predisporre la possibilità di eseguire i lavori dal livello superficiale. Le regolamentazioni nazionali o locali o le autorità competenti possono specificare i requisiti per l'accesso. I requisiti per la progettazione dell'accesso, tenendo conto delle considerazioni operative, sono reperibili nell'appendice D.

UNI EN 476:2022 - Requisiti generali per componenti utilizzati nelle connessioni di scarico e nei collettori di fognatura per sistemi di scarico a gravità

17

Periodi di ritorno di progetto EN 752: 2017

Località	Periodo di Ritorno (deflusso a sezione piena)	Periodo di Ritorno (allagamento urbano)
Aree rurali	1	2
Aree residenziali	2	20
Centri Urbani/industriali/commerciali:		
Strade		5
Edifici senza piani interrati	5	10
Edifici con piani interrati		30
Metropolitane/Sottopassi	10	50

D.P.C.M del 4 marzo 1996, nel quale si specifica che "... ai fini del drenaggio delle acque meteoriche le reti di fognatura bianca o mista debbono essere dimensionate e gestite in modo da garantire che fenomeni di rigurgito non interessino il piano stradale o le immissioni di scarichi neri con frequenza superiore ad una volta ogni cinque anni per ogni singola rete."

18

Direttiva 2024/3019/UE

Abroga la storica direttiva 1999/271/Ce (recepita in Italia dalla Parte III del Dlgs 152/2006) a decorrere dal 1° agosto 2027.



Gazzetta ufficiale
dell'Unione europea

IT
Serie L

2024/3019

12.12.2024

DIRETTIVA (UE) 2024/3019 DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO

del 27 novembre 2024

concernente il trattamento delle acque reflue urbane

Articolo 3

Reti fognarie e calcolo del carico di un agglomerato

1. Gli Stati membri provvedono affinché tutti gli agglomerati con 2 000 a.e. o più rispettino le prescrizioni seguenti:
 - a) sono provvisti di reti fognarie;
 - b) tutte le loro fonti di acque reflue domestiche sono collegate alla rete fognaria.
2. Gli Stati membri provvedono affinché gli agglomerati con un numero di a.e. di 1 000 o più ma inferiore a 2 000 rispettino le prescrizioni del paragrafo 1 entro il 31 dicembre 2035.

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

19

Corrado Gisondi



19

LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO

D.Lgs. 49/2010

(con modifiche apportate dalla LEGGE 6 agosto 2013, n. 97)

Articolo 2 - Definizioni

a) alluvione: l'allagamento temporaneo, anche con trasporto ovvero mobilitazione di sedimenti anche ad alta densità, di aree che abitualmente non sono coperte d'acqua. Ciò include le inondazioni causate da laghi, fiumi, torrenti, eventualmente reti di drenaggio artificiale, ogni altro corpo idrico superficiale anche a regime temporaneo, naturale o artificiale, le inondazioni marine delle zone costiere ed esclude gli allagamenti *non direttamente imputabili ad eventi meteorologici causati da impianti fognari*;

DIRECTIVE 2007/60/EC OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL
of 23 October 2007
on the assessment and management of flood risks

Article 2

For the purpose of this Directive, in addition to the definitions of 'river', 'river basin', 'sub-basin' and 'river basin district' as set out in Article 2 of Directive 2000/60/EC, the following definitions shall apply:

1. 'flood' means the temporary covering by water of land not normally covered by water. This shall include floods from rivers, mountain torrents, Mediterranean ephemeral water courses, and floods from the sea in coastal areas, and may exclude floods from sewerage systems;



20

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

Corrado Gisondi



20

Alluvioni pluviali dalle reti di drenaggio urbano

Le reti di drenaggio urbano appartengono alla categoria "**lontano dagli occhi, lontano dal cuore**", finché non arriva un inaspettato giorno di pioggia...



Geyser fognario in uscita da un pozzetto lungo Wolfe Street, Montreal 18.07.2011



...la strada ha inghiottito un camion della spazzatura... (Casalmuro, Napoli - 10 agosto 2011)

Cambiamento climatico?...



Progettazione errata?...



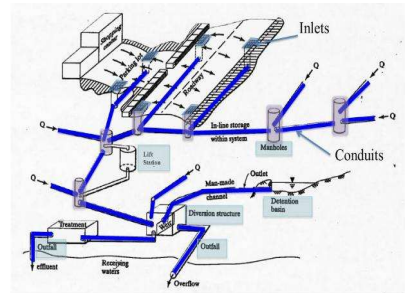
Il SISTEMA di drenaggio urbano...

Nei punti del sistema fognario in cui interviene la variazione di **ANCHE UN SOLO** parametro di natura geometrica o idraulica bisogna prevedere la realizzazione di un pozzetto.

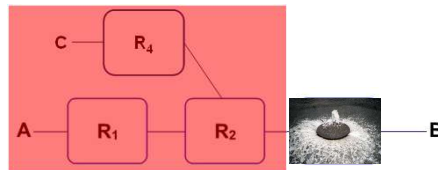
Una rete fognaria si comporta come una “**catena di montaggio**” in cui i singoli componenti sono tra di loro collegati in serie: tubazioni, pozzetti, manufatti di salto, manufatti di scarico, impianti di sollevamento ecc..

L'efficienza dei sistemi fognari è quindi influenzata dal funzionamento inappropriato di singoli manufatti, le cui cause principali sono:

- *errata progettazione idraulica*
- *difetti di costruzione.*



La crisi idraulica di una rete fognaria può essere determinata dal malfunzionamento di un singolo componente!



Se un pozzetto fognario non funziona adeguatamente dal punto di vista idraulico, risulta compromessa l'efficienza di tutta la parte della rete fognaria a monte del pozzetto, e non solo dei collettori che si immettono nel pozzetto stesso.

Cosa succede quando un singolo elemento del sistema fognario non funziona correttamente?

- La capacità idraulica del manufatto è inferiore alla somma delle portate in ingresso;
- Brusco passaggio dal regime di moto a pelo libero a quello di moto in pressione (“*choking*”);
- Innalzamento del livello idrico nel pozzetto fino a causare la completa saturazione del manufatto, la fuoriuscita di volumi d'acqua dal pozzetto sulla sede stradale e, nel peggiore dei casi, l'espulsione del chiusino del pozzetto (“*geysering*”).



Sewer geysier in uscita da un pozzetto lungo Universitätstrasse, Zurigo

Dimensionamento di un collettore in condizioni di moto uniforme

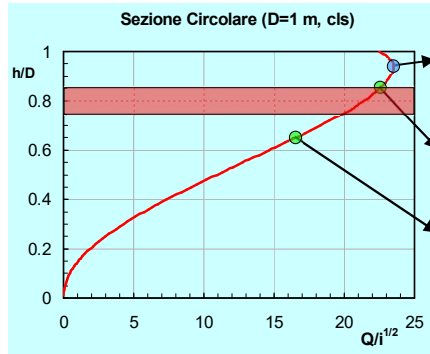


h/D=60%

h/D=80%

Limiti dell'ipotesi di moto uniforme:

- condizione asintotica in canale prismatico di lunghezza indefinita
- condizione di deflusso 1D



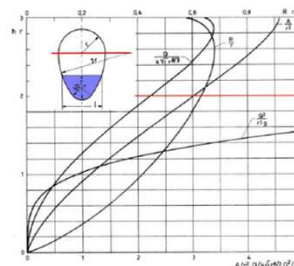
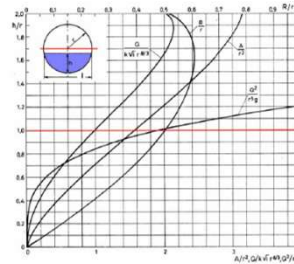
- h/D=0.94
Q=Q_{max}=1.04 Q_{full}
- h/D = 0.85
Q = Q_{full}
- h/D = 0.65
Q = 0.74 Q_{full}

Dimensionamento di un collettore in condizioni di moto uniforme

Grandezze geometriche caratteristiche della sezione trasversale di una corrente a pelo libero (i gradi sono dati nel sistema sessagesimale).

SEZIONE	RETTANGOLARE	TRAPEZIA	CIRCOLARE	OVOIDALE INGLESE
Area A	$L h$	$h \left(L + \frac{h}{m} \right)$	(1)	(3)
Contorno bagnato p	$L + 2 h$	$L + 2 h \sqrt{1 + \frac{1}{m^2}}$	$r \left[\frac{\pi}{90} \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right) \right]$	(4)
Larghezza del pelo libero B	L	$L + 2 \frac{h}{m}$	(2)	(5)

(1) $\frac{1}{2} r^2 \left[\frac{\pi}{90} \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right) - \text{sen} \left[2 \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right) \right] \right]$
 (2) $r \left[2 \text{sen} \arccos \left(1 - \frac{h}{r} \right) \right]$
 (3) per $h \leq \frac{r}{4}$ $r^2 \left\{ \frac{\pi}{720} \arccos \left(1 - \frac{2h}{r} \right) - \frac{1}{4} \text{sen} \left[\arccos \left(1 - \frac{2h}{r} \right) \right] \right\} \left(1 - \frac{2h}{r} \right)$
 per $\frac{r}{4} < h \leq 2r$ $r^2 \left\{ 3,023 - \frac{\pi}{20} \arccos \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) - 9 \left[\cos \left[\arccos \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right] \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) + 12 \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right] \right\}$
 per $2r < h \leq 3r$ $r^2 \left\{ 4,594 - \frac{\pi}{180} \arccos \left(\frac{h}{r} - 2 \right) + \left(\frac{h}{r} - 2 \right) \text{sen} \arccos \left(\frac{h}{r} - 2 \right) \right\}$
 (4) per $h \leq \frac{r}{4}$ $r \left[\frac{\pi}{180} \arccos \left(1 - \frac{2h}{r} \right) \right]$
 per $\frac{r}{4} < h \leq 2r$ $r \left[4,788 - \frac{\pi}{30} \arccos \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) \right]$
 per $2r < h \leq 3r$ $r \left[4,788 + \frac{\pi}{90} \left(90 - \arccos \left(\frac{h}{r} - 2 \right) \right) \right]$
 (5) per $h \leq \frac{r}{4}$ $r \left[\text{sen} \arccos \left(1 - \frac{2h}{r} \right) \right]$
 per $\frac{r}{4} < h \leq 2r$ $r \left[6 \cos \arccos \left(\frac{2}{3} - \frac{h}{3r} \right) - 4 \right]$
 per $2r < h \leq 3r$ $r \left[2 \text{sen} \arccos \left(\frac{h}{r} - 2 \right) \right]$



Il comportamento idraulico delle canalizzazioni e dei manufatti fognari è fortemente influenzato dal contenuto energetico delle correnti in ingresso ai manufatti.

Nella modellazione idraulica delle correnti a pelo libero il **numero di Froude F** rappresenta il parametro idraulico principale. Dal suo valore derivano importanti conclusioni sul comportamento della corrente.

❑ **Correnti SUBcritiche (F<1)**

- Similitudine tra le correnti a pelo libero e quelle in pressione (**Modellazione 1D**)
- Necessità di stimare le **perdite di carico concentrate** e di caratterizzare i **profili di corrente**
- Possibile formazione di zone di “acqua morta” (ristagno e accumulo di sedimenti/sostanza organica)



Vista da valle di un pozzetto di curva a 45°

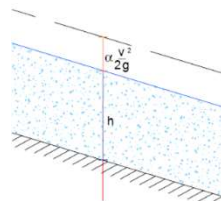
❑ **Correnti SUPERcritiche (F>1)**

- A rigore **approccio di tipo 3D** (modelli numerici complessi)
- Equazioni basate sui risultati di prove su modello fisico
- Necessità di limitare le singolarità/instabilità superficiali (**shock waves**)

Alcune considerazioni energetiche

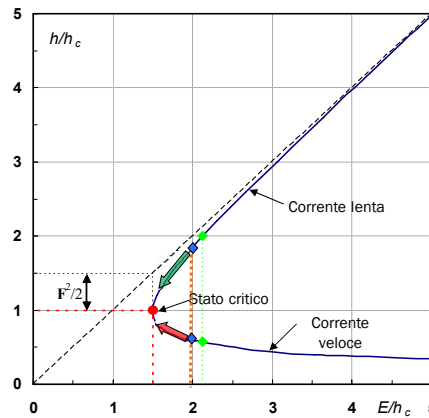
Minimo energetico per assegnata Q:

Stato Critico (F=1)



Energia specifica

$$E = h + \frac{V^2}{2g} = h + \frac{Q^2}{2g h^3}$$



(sezione rettangolare)

$$\frac{E}{h_c} = \frac{h}{h_c} + \frac{1}{2} \left(\frac{h_c}{h} \right)^2$$

Effetti di una riduzione di energia

Nella modellazione idraulica delle correnti a pelo libero il **numero di Froude F** rappresenta il parametro idraulico principale. Dal suo valore derivano importanti conclusioni sul comportamento della corrente.

$$F = \frac{V}{\sqrt{g \frac{A}{B}}}$$

V: velocità media nella sezione trasversale
A: area della sezione trasversale
B: larghezza del pelo libero

Il numero di Froude può essere visto come il rapporto fra la velocità della corrente e la velocità di propagazione di una piccola perturbazione.

Quindi:

- **F > 1** (*corrente supercritica o veloce*): la velocità della corrente è superiore a quella della perturbazione.
- **F < 1** (*corrente subcritica o lenta*): la velocità della corrente è inferiore a quella della perturbazione che può propagarsi verso monte.

Nel caso di canale a sezione scatolare, il numero di Froude è definito come

$$F = \frac{Q}{\sqrt{g B^2 h^3}}$$

Nel caso di collettori fognari a sezione circolare (di diametro D), il numero di Froude può essere calcolato ($0.20 < h/D < 0.85$), come

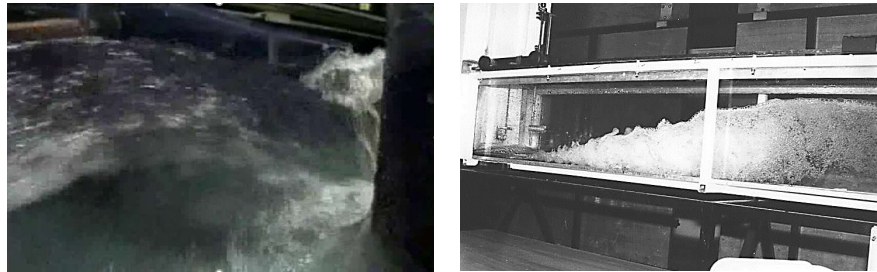
$$F = \frac{Q}{\sqrt{g D h^4}}$$

Nella realtà, è possibile effettuare la seguente classificazione:

$0 < F < 0.7$	correnti <i>subcritiche</i>
$0.7 < F < 1.5$	correnti <i>di transizione (instabile. risalto idraulico ondulato)</i>
$1.5 < F < 3.0$	correnti <i>supercritiche</i>
$3.0 < F$	correnti <i>iperitiche (gravi danni in presenza di ostacoli)</i>

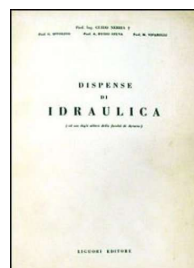
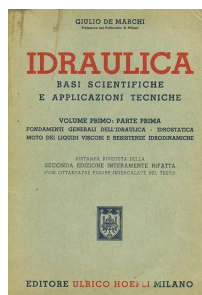
Due sono i fenomeni che possono verificarsi nel caso in cui una corrente supercritica all'interno di un pozzetto risulti significativamente perturbata:

- Formazione di *Onde di shock* (*shockwaves*)
- *Risalto idraulico* (interruzione del moto in corrente supercritica)



In definitiva, **non è possibile procedere alla progettazione o alla verifica di un sistema fognario senza avere la necessaria conoscenza** dei fenomeni e dei parametri che governano le correnti a superficie libera, perchè...

33



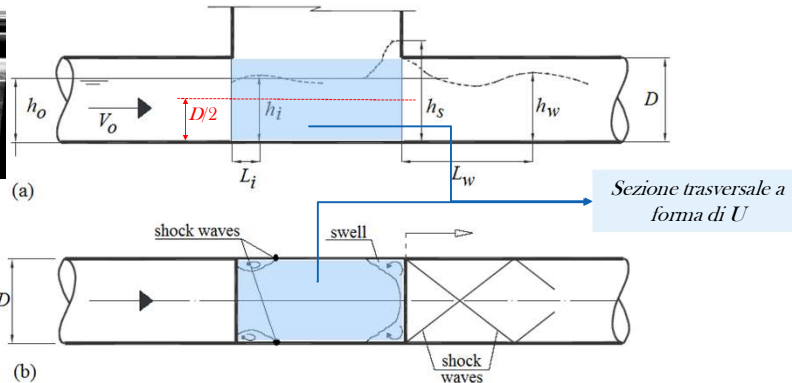
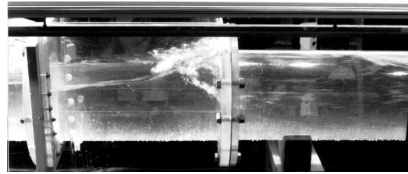
«... perché l'**IDRAULICA** non è la moglie dell'*Idraulico*!»



34

Pozzetti di ispezione

I pozzetti di ispezione funzionano correttamente, anche in presenza di **correnti in arrivo supercritiche**, se risulta $y_o = h_o/D < 0.50$, perchè in questo caso la corrente resta confinata nella metà inferiore della sezione ad U, senza “risentire” del passaggio dalla sezione circolare a quella ad U.



D → diametro del collettore
 h_o → tirante della corrente in ingresso
 V_o → velocità della corrente in ingresso

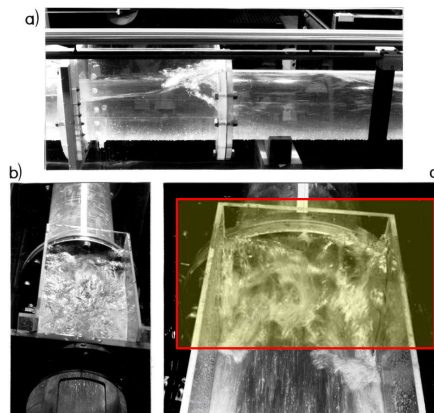
h_i → altezza nella zona di disturbo
 h_s → altezza del rigonfiamento idrico (swell)
 h_w → altezza dell'onda di shock

37

Pozzetti di ispezione

Qualora risulti $y_o > 0.50$ può verificarsi una brusca espansione della corrente all'ingresso nel pozzetto, che provoca due zone di depressione laterale seguite da **due piccole onde di shock di altezza h_s** .

Più a valle, **la corrente in uscita dal pozzetto impatta contro la parete di chiusura del manufatto generando un rigonfiamento di altezza h_s** .



- a) vista laterale,
- b) vista da monte,
- c) dettaglio dell'uscita della corrente dal pozzetto.



Nel caso in cui il rigonfiamento idrico sia caratterizzato da un'altezza significativa, può accadere che lo stesso finisca per occludere la sezione di sbocco del manufatto.

In questo caso il trasporto d'aria si interrompe, determinando l'innescò del fenomeno del **choking**.

38

Pozzetti di ispezione

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Linee guida progettuali

1. Il parametro idraulico di riferimento è il **numero di Froude del pozzetto**

$$F_U = \frac{Q}{\sqrt{gD^2 h_o^3}}$$

2. Il **tirante allo sbocco** h_s adimensionalizzato rispetto al tirante della corrente in ingresso h_o può essere calcolato come

$$h_s/h_o = 1 + (1/3) \cdot (F_U y_o)^2$$

3. Se risulta $0.70 < y_o < 0.75$, il **numero di Froude limite** $F_C = Q_C / (gD^2)^{0.5}$ può essere stimato come

$$F_C = 14.6 - 17.3 \cdot y_o \quad \longrightarrow \quad Q_C = (gD^2)^{0.5} \cdot (14.6 - 17.3 \cdot y_o)$$

4. Nella pratica progettuale tipicamente si assume che il grado di riempimento di progetto di un collettore **può essere al più pari all' 85%**. Tuttavia, prove su modello fisico hanno dimostrato che...

si innesca il fenomeno del **choking** se $y_o \geq 0.75$

39

Pozzetti di ispezione

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Esempio:

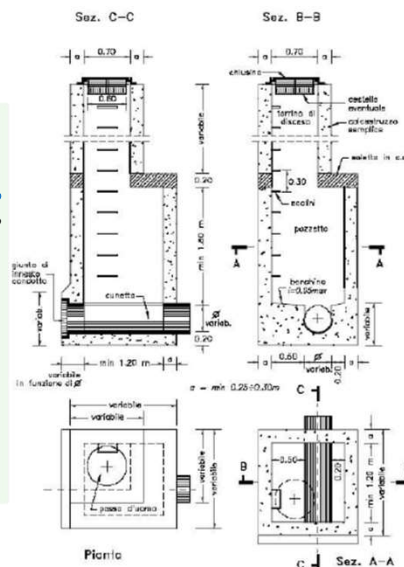
Assegnato un collettore fognario (a sezione circolare) con $D = 2$ m, quale è la **capacità idraulica** di un **pozzetto di ispezione** caratterizzato da un grado di riempimento progettuale pari al **75%** ($h_o = 1.5$ m)?

$$F_C = 14.6 - 17.3 \cdot 0.75 = 1.625$$

$$Q_{max} = 1.625 (gD^2)^{1/2} = 28.79 \text{ m}^3/\text{s}$$

a cui corrisponde un valore del numero di Froude:

$$F_o = 2.89$$



40

Manufatti ordinari:

1. Pozzetti di ispezione
2. ***Pozzetti di curva***
3. Pozzetti di confluenza
4. Pozzetti con salto di modesta ampiezza
5. Manufatti di salto di notevole ampiezza

V

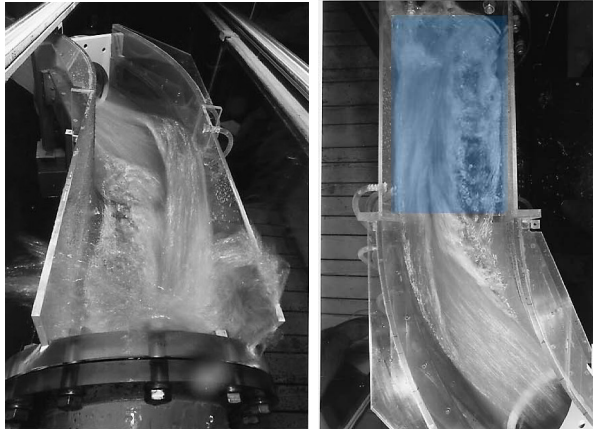
Corrente in curva

Pozzetti di curva

Il **pozzetto di curva** è un manufatto fognario di tipo ordinario.

Gli angoli di deviazione planimetrica sono normalmente posti pari a 45° o 90° .

Nella prassi progettuale, il raggio di curvatura è generalmente $R_a = 3D$.

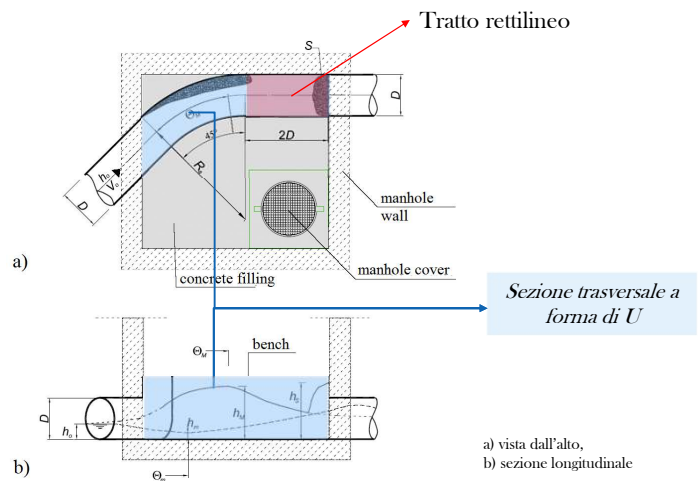


Inserimento di un tratto rettilineo all'uscita del pozzetto, di lunghezza pari a $2D$

Modello fisico di pozzetti di curva:
a sinistra: vista da valle del pozzetto,
a destra: vista dall'alto

Pozzetti di curva

D → diametro del collettore
 h_o → tirante della corrente in ingresso
 V_o → velocità della corrente in ingresso

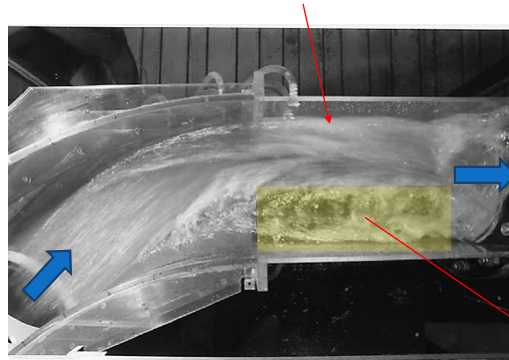


a) vista dall'alto,
b) sezione longitudinale

Pozzetti di curva

Il **parametro idraulico di riferimento** nel corso della progettazione di un pozzetto di curva è costituito dalla **massima ampiezza dell'onda di shock lungo la parete esterna della curva**, in corrispondenza dell'angolo di deviazione $\delta - \theta_M$.

L'estensione rettificata del pozzetto ha l'obiettivo di "allontanare" l'onda di shock dallo sbocco del pozzetto nel collettore dei valle



Il comportamento idraulico risulta governato dal **numero di curva**

$$B = (D/R_a)^{0.5} F_o$$

$$\text{in cui } F_o = Q/(gD^3 h_o^3)^{0.5}$$

Il numero di curva combina le caratteristiche idrodinamiche della corrente (i.e. numero di Froude) a quelle geometriche del manufatto.



Regione di separazione del flusso

45

Pozzetti di curva

Linee guida progettuali

1. La **massima ampiezza d'onda relativa** $Z_M = (h_M/h_o)^{0.5} - 1$ può essere espressa in funzione del numero di curva come (Del Giudice et al., 2000 e Gisonni e Hager, 2002)

$$Z_M = 0.50 \cdot B_o^2$$

2. La **coordinata angolare** θ_M che localizza il massimo valore dei tiranti idrici (generalmente tra 35° e 55°) può essere calcolata come

$$\theta_M = 0.50 \cdot B_o^2 \cdot \frac{D}{R_a}$$

3. Si può ritenere che per prevenire **choking** il grado di riempimento deve risultare $y_o < 0.65$ (**condizione limite**)

4. Il **numero di Froude limite** $F_C = Q/(gD^5)^{0.5}$ in pozzetti dotati di **un tratto rettilineo alla fine della curva**, per $y_o < 2/3$ risulta pari a (Gisonni e Hager, 2002)

$$F_C = (3 - 2 \cdot y_o) y_o^{1.5}$$



$$Q_C = (gD^5)^{0.5} \cdot (3 - 2 \cdot y_o) y_o^{1.5}$$

46

Pozzetti di curva

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Esempio:

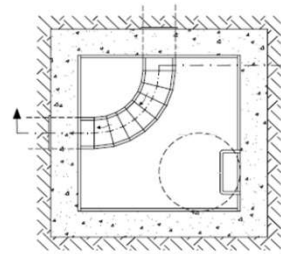
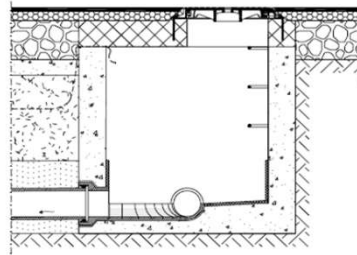
Assegnato un collettore circolare di diametro $D = 2$ m, si calcoli la **capacità idraulica** di un **pozzetto di curva a 45°** nel caso in cui la corrente in ingresso al manufatto sia caratterizzata da un grado di riempimento del **6.5%** ($h_0 = 1.3$ m)

$$F_C = (3 - 2 * 0.65) * 0.65^{3/2} = 0.89$$

$$Q_{max} = 0.89 (gD^5)^{1/2} = 15.78 \text{ m}^3/\text{s}$$

Al valore della portata corrisponde un numero di Froude:

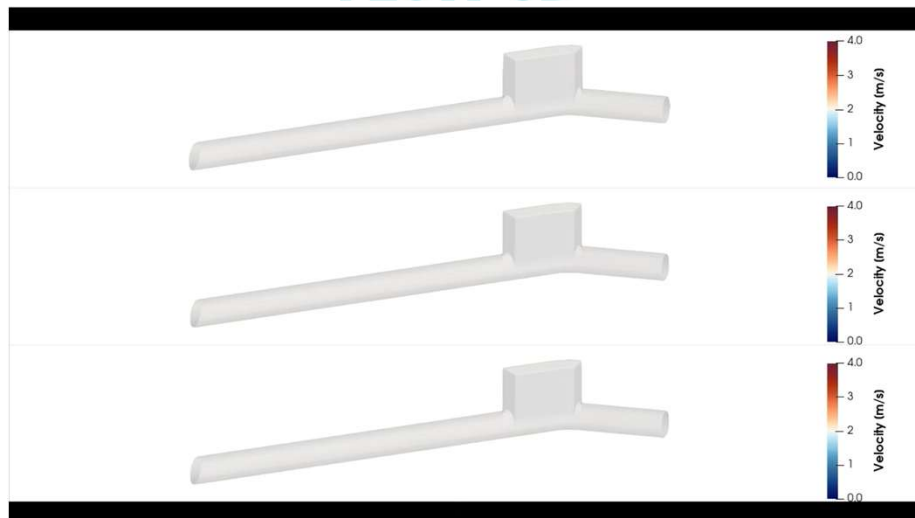
$$F_o = 2.10$$



Capacità del pozzetto di curva molto inferiore a quello di ispezione!!!

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

FLOW-3D®



G. Crispino, D. Dorthe, C. Gisonni, M. Pfister - *Hydraulic capacity of bend manholes for supercritical flow*. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 2023, 149(2):

Manufatti ordinari:

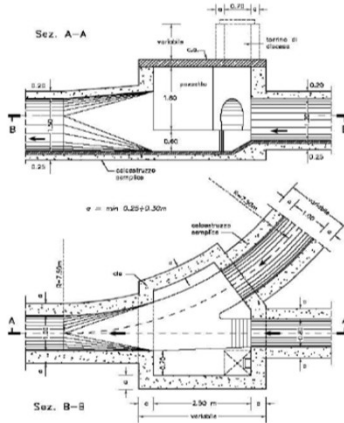
1. Pozzetti di ispezione ▼
2. Pozzetti di curva ▼
3. ***Pozzetti di confluenza***
4. Pozzetti con salto di modesta ampiezza
5. Manufatti di salto di notevole ampiezza

Pozzetti di confluenza

Pozzetti di confluenza

Cos'è un pozzetto di confluenza?

Il pozzetto di confluenza è un **molto ricorrente** nell'ambito dei sistemi di drenaggio urbano, data la conformazione fortemente ramificata delle reti fognarie nei contesti urbanizzati.

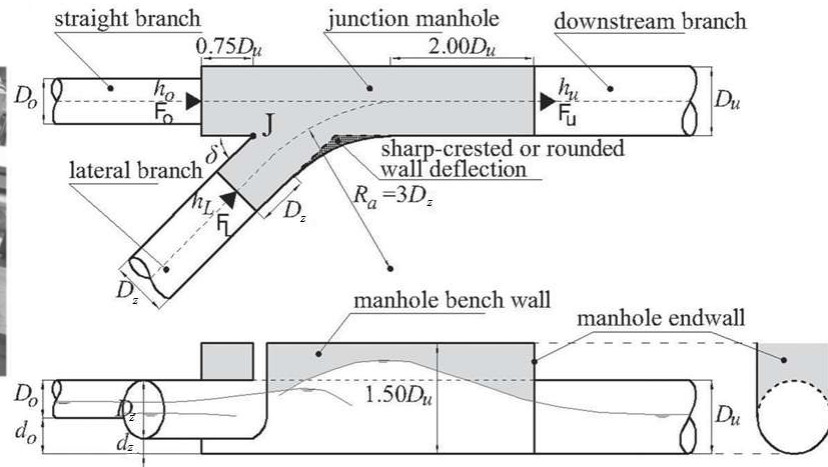
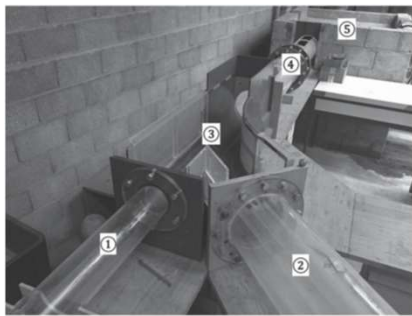


Criticità che caratterizzano il funzionamento idraulico di un manufatto di confluenza

Per evitare il **malfunzionamento delle canalizzazioni fognarie entranti o uscenti dal pozzetto di confluenza** è importante valutare:

- la capacità idraulica del manufatto,
- la formazione di onde di shock,
- perdite di carico indotte dalla presenza del manufatto.

Pozzetti di confluenza



Il parametro che governa il fenomeno è la spinta totale delle correnti in gioco e, in particolare per correnti veloci, la sua **componente dinamica (quantità di moto) pari a $\gamma \cdot F$**

Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Il diagramma di stato

Il diagramma può essere utilizzato per prevedere il regime della corrente che si instaura nella confluenza in funzione delle caratteristiche delle correnti in arrivo.

Diagramma per confluenza a 45° con diametri uguali a monte e valle del pozzetto $D = 0,240$ m (Del Giudice and Hager, 2001)

No shock waves!

↑ Supercritical flow
↑ Subcritical flow

(1) Correnti in arrivo entrambe subcritiche
 (2) Corrente veloce nel tronco rettilineo e lenta nel tronco laterale
 (3) Zona di transizione (formazione di risalto idraulico)
 (4) Correnti in arrivo entrambe supercritiche
 (5) Choking uno e entrambe i collettori in arrivo
 (6) Corrente lenta nel tronco rettilineo e veloce nel tronco laterale
 (7) Choking del collettore in uscita da pozzetto

53

Corrado Gisonni

Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

If all the experimental test-runs (top- (T) and bottom (B) -aligned set-ups) are included....

$\beta_t = D_t / D_u$

Area non coperta da dati sperimentali

Zona di transizione

Confluenza con cieli allineati

- Entrambe correnti supercritiche

Confluenza con fondi allineati

- Risultati numerici - Kőestler (2014)
- Entrambe correnti supercritiche
- Entrambe correnti supercritiche
- Corrente veloce nel tronco rettilineo e lenta nel tronco laterale
- ◇ Corrente lenta nel tronco rettilineo e veloce nel tronco laterale
- △ Entrambe correnti subcritiche

Gaetano Crispino, Michael Pfister & Corrado Gisonni. *Supercritical flow in junction manholes under invert- and obvert-aligned set-ups*. Journal of Hydraulic Research (2018). <https://doi.org/10.1080/00221686.2018.1494056>

54

Corrado Gisonni

Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Stima delle massime altezze delle onde di shock (corrente veloce)

L'onda B è dovuta all'impatto della corrente laterale sulla parete opposta del pozzetto di confluenza

L'onda A è dovuta all'allargamento della corrente passante fino a collidere sulla parete del pozzetto

L'onda C ha origine dalla brusca deviazione imposta alla corrente laterale dal flusso di corrente in arrivo dal tronco passante

straight branch (subscript o)

lateral branch (subscript z)

downstream branch (subscript u)

swell S

wave B (subscript B)

wave A (subscript A)

wave C (subscript C)

wave D

wave E

J

x_j

x₁

x₂

δ

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

55

Corrado Gisondi Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli

55

Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Onda di shock B – evidenze sperimentali nel caso del pozzetto con fondi allineati

Overtopping della banchina laterale

Corrente in uscita dal pozzetto di confluenza: rischio di *choking* del collettore di valle

Viste da monte del pozzetto di confluenza in regime corrente veloce:

- (sinistra) dettaglio dello scavalco dell'onda rispetto al ciglio della banchina laterale
- (destra) effetti della riflessione dell'onda di shock B, con Corrente in uscita fortemente perturbata

FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

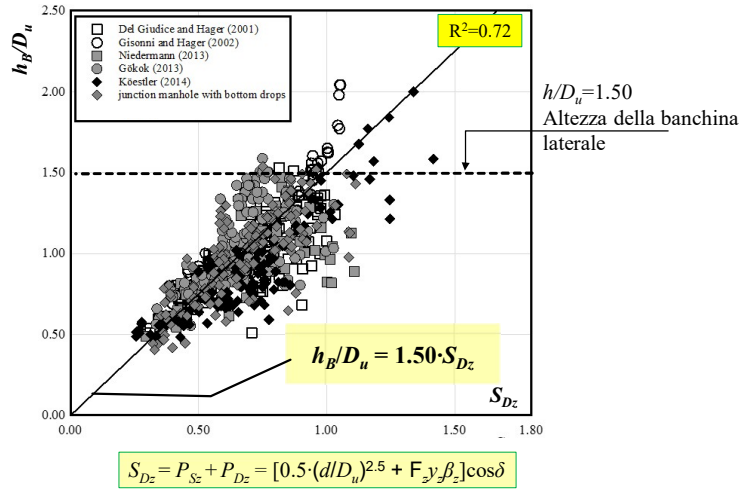
56

Corrado Gisondi Università degli Studi della Campania Luigi Vanvitelli

56

Pozzetti di confluenza

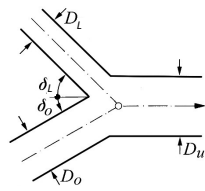
Onda di shock B – stima della massima altezza h_B



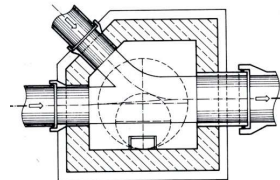
57

Pozzetti di confluenza

Stima delle perdite di carico localizzate



Schema teorico generale



Pozzetto di confluenza ($\delta_o=0, \delta_l=\delta$)

- Nei pozzetti (manufatti di estensione limitata):

$$\Delta z \cong 0 \Rightarrow \Delta H \cong \Delta E$$

- Le perdite di carico localizzate possono essere calcolate come:

$$H_O - H_U = \xi_o \frac{V_U^2}{2g} \quad H_L - H_U = \xi_L \frac{V_U^2}{2g}$$

ξ_o e ξ_L sono i coefficienti di perdita di carico da determinare sperimentalmente

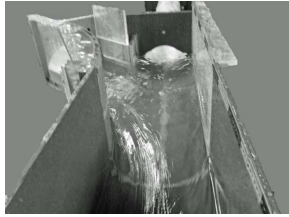
Prove di laboratorio su modello fisico (Pfister e Gisonni, 2014: 660 test, 9 geometrie) con $0.11 \leq F_o \leq 9.55, 0.10 \leq F_L \leq 8.39, 0.18 \leq Y_o \leq 0.89, 0.19 \leq Y_L \leq 0.87, 0.51 \leq \beta_o = D_o/D_u \leq 1.00, 0.51 \leq \beta_L = D_L/D_u \leq 1.00$

58

Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

F_o e $F_L < 1$



F_o e $F_L > 1$



$$\begin{cases} \xi_{o,max} = 0.25 \\ \xi_{L,max} = 0.35 \end{cases}$$

$$\xi_o = c_o + a_o \left[1 - 2 \frac{F_o^2 Y_o^{2.5} \beta_o^3 + F_L^2 Y_L^{2.5} \beta_L^3 \cos \delta}{F_U^2 Y_U^{2.5}} + \beta_o \frac{F_o^2 Y_o}{F_U^2 Y_U} \right]$$

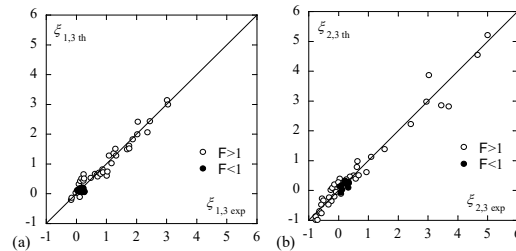
$$\xi_L = c_L + a_L \left[1 - 2 \frac{F_o^2 Y_o^{2.5} \beta_o^3 + F_L^2 Y_L^{2.5} \beta_L^3 \cos \delta}{F_U^2 Y_U^{2.5}} + \beta_L \frac{F_L^2 Y_L}{F_U^2 Y_U} \right]$$

Regime di funzionamento del pozzetto		a_o	c_o	a_L	c_L
$\delta=45^\circ$	F_o e $F_L > 1$	0.72	0.27	0.83	0.16
	F_o e $F_L < 1$	0.91	-0.30	0.75	-0.16
$\delta=90^\circ$	F_o e $F_L > 1$	0.70	0.15	0.70	0.15
	F_o e $F_L < 1$	0.80	-0.13	0.54	-0.08

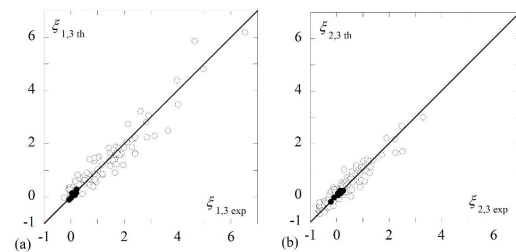
Pozzetti di confluenza

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Confronto tra i valori sperimentali (exp) e teorici (th) di ξ per pozzetti di confluenza a 45° con riferimento: (a) tronco passante e (b) Tronco laterale.



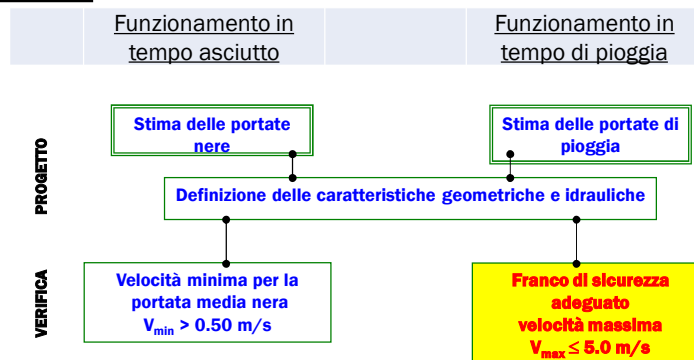
Confronto tra i valori sperimentali (exp) e teorici (th) di ξ per pozzetti di confluenza a 90° con riferimento: (a) tronco passante e (b) Tronco laterale.



Manufatti ordinari:

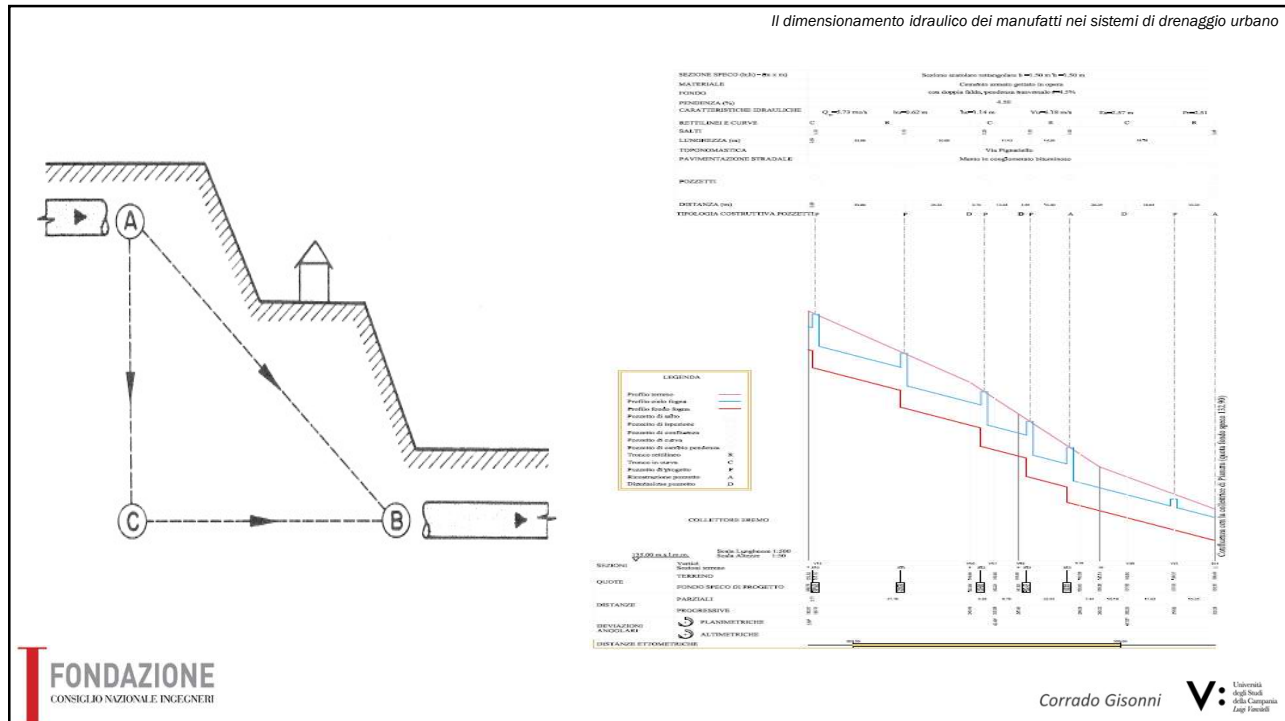
1. Pozzetti di ispezione ∨
2. Pozzetti di curva ∨
3. Pozzetti di confluenza ∨
4. Pozzetti con salto di modesta ampiezza
5. Manufatti di salto di notevole ampiezza

61

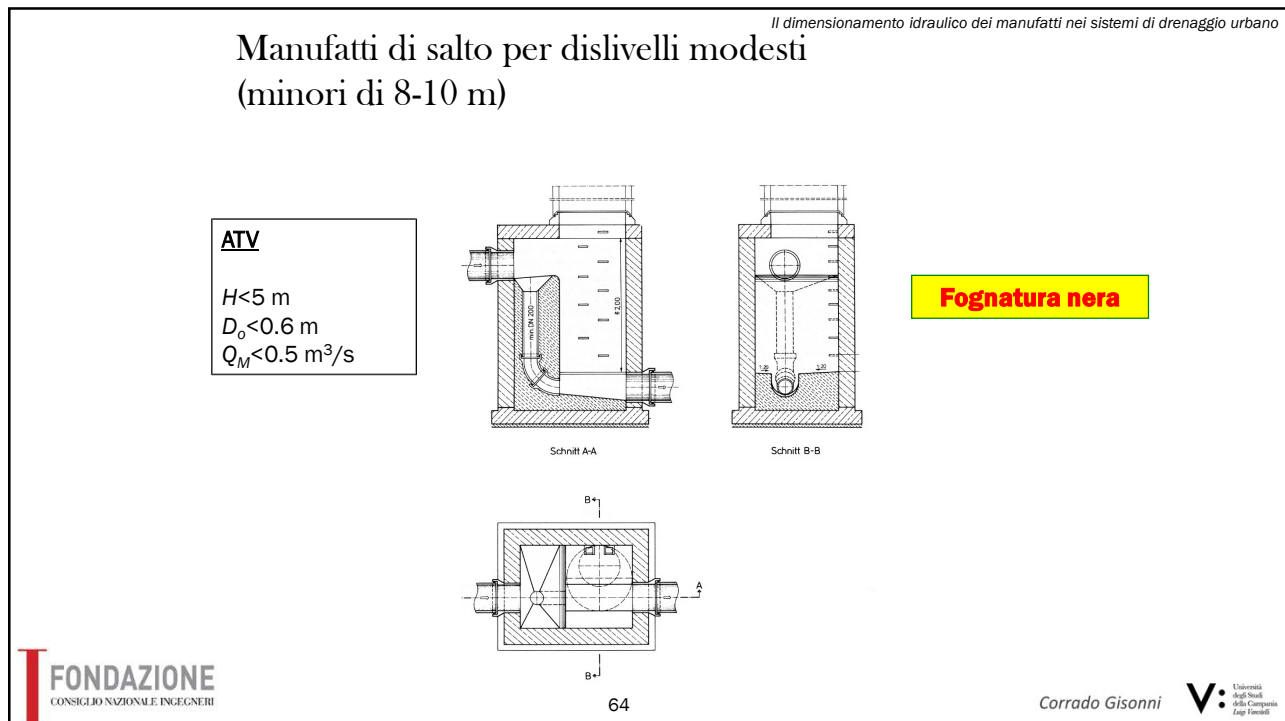
Circolare Ministero LL. PP. 11633/74**Fognatura mista****Fognatura a sistema separato**

- La fognatura *nera* andrà progettata secondo le indicazioni adottate in tempo asciutto per il sistema misto ($V_{min} > 0.50 \text{ m/s}$) imponendo però che risulti $V_{max} < 4.0 \text{ m/s}$ (in corrispondenza della portata di punta nera).
- La fognatura *bianca* andrà progettata secondo le indicazioni adottate in tempo di pioggia per il sistema misto ($V_{max} < 5.0 \text{ m/s}$) in corrispondenza della portata di pioggia di progetto.

62



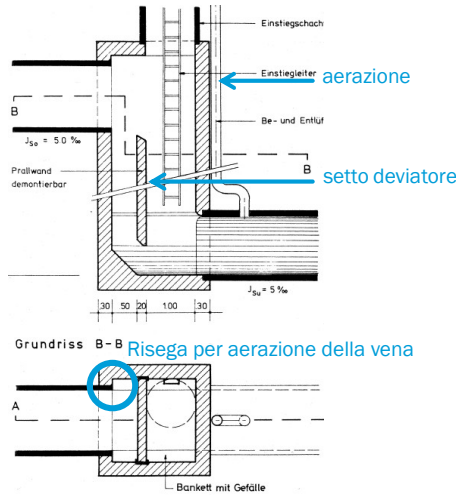
63



64

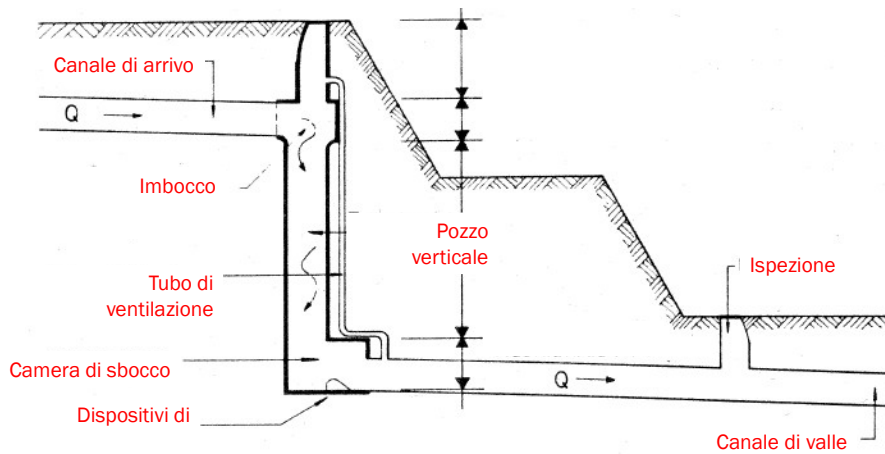
Manufatti di salto per dislivelli modesti (minori di 8-10 m)

SIA
 $H < 10 \text{ m}$
 $D_0 > 0.4 \text{ m}$
 $0.5 \text{ m}^3/\text{s} < Q_M < 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$



Fognatura mista

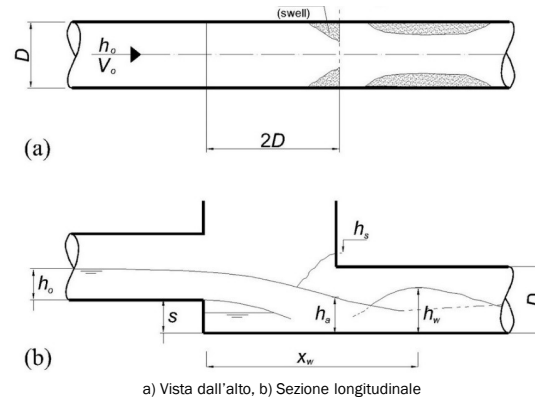
Manufatti di salto per dislivelli elevati (maggiori di 10 m)



Pozzetti di salto di piccola ampiezza ($s/D < 1$)

I **salto di modesta ampiezza** ricorrono spesso nelle fognature allo scopo di:

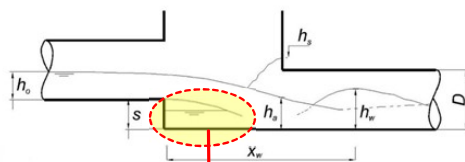
- ridurre la pendenza di scorrimento del collettore;
- Scongiorare effetti di rigurgito sui collettori di monte;
- agevolare l'aerazione della corrente per effetto delle macro-turbolenze indotte dal salto;
- rispettare limiti e vincoli costruttivi dovuti a particolari condizioni locali.



$$s/D = 0.25 \div 1$$

Pozzetti di salto di piccola ampiezza ($s/D < 1$)

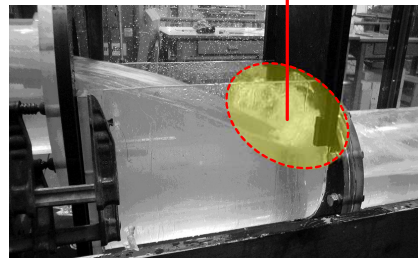
Il parametro progettuale di riferimento è l'**ampiezza relativa del salto $S = s/D$**



Regione di separazione della corrente dal fondo del pozzetto, con la formazione di un getto libero.

La vena inferiore del getto risulta non completamente aerata per $y_0 > 0.50$.

Per i valori maggiori del grado di riempimento, la corrente impatta sulla parete opposta, generando allo sbocco un rigonfiamento della superficie libera di altezza h_s funzione di S .



Pozzetti di salto di piccola ampiezza ($s/D < 1$)

Linee guida progettuali

MASSIMA PORTATA



$$Q_{max} = F_c \cdot \sqrt{gD^5}$$

$s/D < 0.5$	}	$F_c = 2$	$y_o < 0.70$
		$F_c = 1 - (15 - 17s)(y_o - 0.85)$	$0.70 < y_o < 0.80$
$s/D \cong 1$	}	$F_c = 1$	$y_o < 0.80$

$$[(Q > Q_{max}) \text{ OR } (y_o > y_{max})]$$



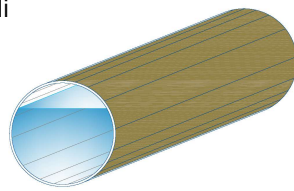
Choking
del pozzetto

Pozzetti di salto di piccola ampiezza ($s/D < 1$)

Canalizzazione a sezione circolare in cls ($K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$, $D = 1.5 \text{ m}$, con pendenza $i = 2.5\%$ e grado di riempimento pari al 75%.

$$h_o = 1.125 \text{ m} \quad Q_u = 9.28 \text{ m}^3/\text{s}$$

$h/D = 75\%$



ESEMPIO
di Progetto / Verifica

Pozzetto	F_c	Q_c	$Q_u < Q_c$	$y_o < y_{max}$
Salto ($s/D = 1$)	1.0	8.63	NO	~OK

Informazioni fondamentali

Numero di Froude della condotta	Tipologia	Massimo grado di riempimento della corrente in ingresso
$F_C \approx 2$	Pozzetti di ispezione	$y_o \approx 75\%$
$F_C \approx 0.8$	Pozzetti di curva	$y_o \approx 65\%$
$F_C \approx 1.4$	Pozzetti di confluenza	$y_o \approx 70\%$
$F_C \approx 1.7$	Pozzetti di salto di modesta ampiezza	$y_o \approx 75-80\%$

Nella pratica progettuale viene spesso **erroneamente assunto** un valore massimo del grado di riempimento **pari all' 85% !!!**



71

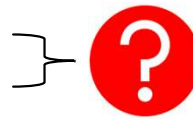
Ulteriori informazioni ed approfondimenti sulla versione integrale della presentazione trasmessa alla Segreteria del Corso, oppure....



72

Manufatti ordinari:

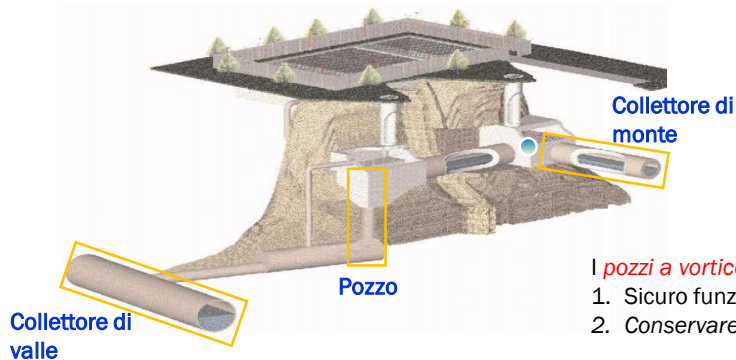
1. Pozzetti di ispezione ✓
2. Pozzetti di curva ✓
3. Pozzetti di confluenza ✓
4. Pozzetti con salto di modesta ampiezza ✓
5. Manufatti di salto di notevole ampiezza
6. *Scaricatori di piena*

**Indice**

1. Introduzione
2. La Normativa di riferimento
3. Strumenti e Metodi
4. *Alcuni casi reali*
5. Conclusioni



Manufatti di salto di grande ampiezza ($H > 10$ m)



I **pozzi a vortice** devono garantire:

1. Sicuro funzionamento idraulico
2. Conservare deflusso a superficie libera

In generale, i **pozzi a vortice** devono essere presi in considerazione, in luogo dei normali pozzetti di salto, nelle seguenti circostanze:

- Differenze di quota con salti di ampiezza pari o superiori a **10 m**,
- La corrente in arrivo è stabilmente lenta ($F_o < 0.7$) o stabilmente veloce ($F_o > 1.5$).

75

Schema del pozzo a vortice

Il pozzo a vortice è costituito essenzialmente da **tre** elementi:

1. STRUTTURA DI IMBOCCO:

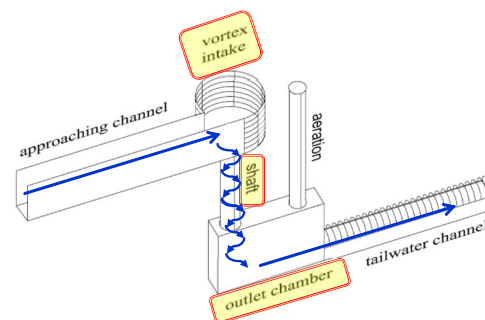
- Trasforma il flusso orizzontale in elicoidale
- Garantisce l'afflusso di aria attraverso il "nucleo del vortice"

2. POZZO VERTICALE :

- La forza centrifuga assicura che il flusso aderisca alle pareti del pozzo, dissipando energia.
- Il flusso d'aria è garantito dalla presenza del "nucleo del vortice"

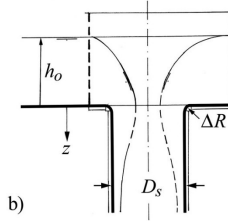
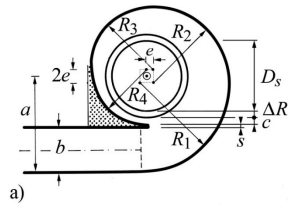
3. MANUFATTO DI USCITA

- La corrente viene ritrasformata da flusso verticale ad orizzontale
- Dissipazione di energia
- Favorire la de-aerazione della corrente



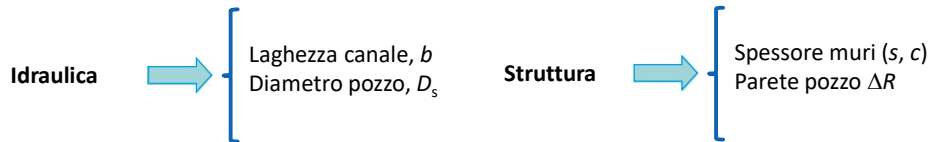
76

Imbocco del pozzo a vortice per **corrente lenta**



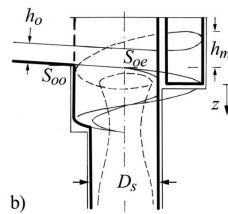
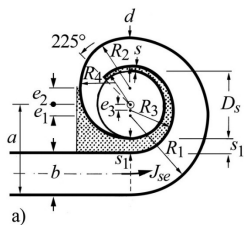
$$\begin{aligned}
 a &= D_s/2 + \Delta R + b/2 + c + s \\
 e &= 1/7(b+s) \\
 R_1 &= R_4 + 5e \\
 R_2 &= R_4 + 3e \\
 R_3 &= R_4 + e \\
 R_4 &= D_s/2 + \Delta R + c + e
 \end{aligned}$$

Condizioni geometriche da rispettare:
 $0.8 < D_s/a < 1$, $a-b/2 > 0.65 D_s$, $\Delta R > D_s/6$.



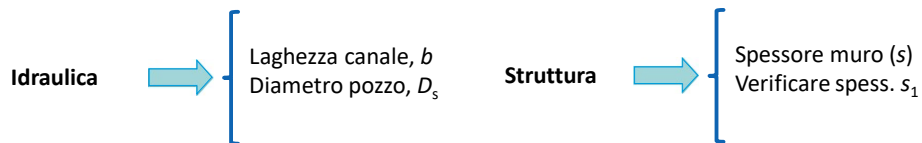
77

Imbocco del pozzo a vortice per **corrente veloce**



$$\begin{aligned}
 R_1 &= (a + D_s/2 + s + d)/2 & e_1 &= a - R_1 \\
 R_2 &= (D_s + s + d)/2 & e_2 &= D_s/2 + s + d - R_2 \\
 R_3 &= (a + D_s/2 + s - b)/2 & e_3 &= a - b - R_3 \\
 R_4 &= D_s/2 + s & s_1 &= a - b - D_s/2
 \end{aligned}$$

Condizioni geometriche da rispettare:
 $0.4 D_s \leq b \leq D_s$ $0.4 D_s \leq d \leq D_s$

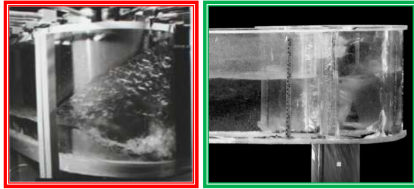


78

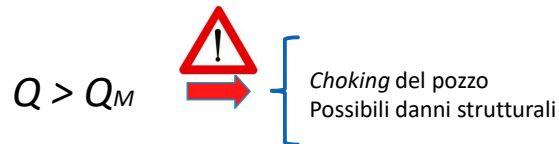
Imbocco del pozzo a vortice: differenze

L'aspetto della corrente per imbocco supercritico è molto differente da quello dell'imbocco subcritico.

Insorgenza di una **onda di shock**, di altezza h_M



Imbocco a vortice per corrente **veloce** e **lenta**



Pozzi a vortice nella città di Napoli

A causa del contesto collinare e degli elevati dislivelli altimetrici, l'attuale sistema fognario della città comprende **numerosi pozzi a vortice**, progettati e realizzati negli anni '70 e '80.

La analogia della Pizza

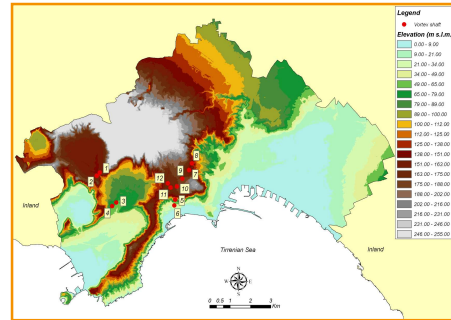


Pozzi a vortice nella città di Napoli

Imbocco subcritico (Drioli,1947)

Vortex shaft	D	L _s	Q _{max}	F _o
	m	m	m ³ /s	
1	2.5	27.80	18.00	1.27
2	2.5	27.80	18.00	1.27
3	2.5	21.50	18.00	0.98
4	2.5	21.50	18.00	0.98
5	2.4	26.48	11.82	8.25
6	2.4	35.22	11.82	0.76
7	3.2	67.78	24.00	0.27
8	2.2	50.80	8.00	0.31
9	1.6	77.98	3.00	0.28
10	1.4	33.35	6.70	0.20
11	1.1	15.57	3.40	0.54
12	1.5	14.00	7.50	1.05

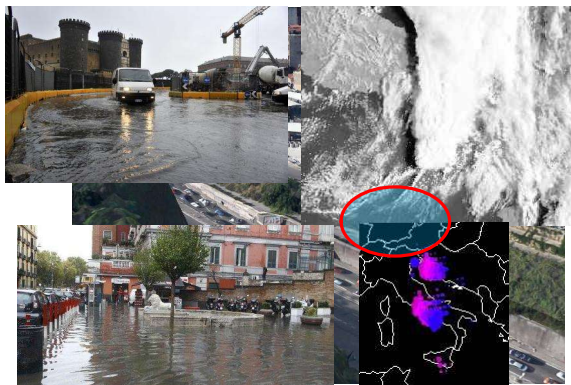
Principali caratteristiche geometriche ed idrauliche dei pozzi a vortice della città di Napoli



- L'imbocco Drioli può operare correttamente solo nel caso di correnti subcritiche in arrivo
- Solo **cinque su dodici** manufatti presentano una corrente stabilmente lenta in arrivo da monte

Un caso di malfunzionamento

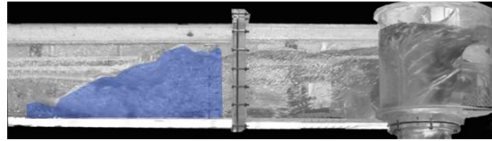
Napoli (Italia), 14-15.09.2001: **181** mm in **tre** ore.



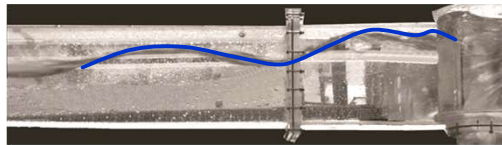
Vortex shaft	D	L _s	Q _{max}	F _o
	m	m	m ³ /s	
1	2.5	27.80	18.00	1.27
2	2.5	27.80	18.00	1.27

Un caso di malfunzionamento

- Nel caso di correnti veloci, anche con portate modeste, si sviluppa un'onda di shock lungo la parete interna della camera di imbocco. L'altezza dell'onda di shock aumenta con la portata fino alla formazione di un **risalto idraulico** che comporta il passaggio da corrente veloce ad lenta in una sezione ubicata a monte della struttura di imbocco.



- L'altezza della corrente può aumentare considerevolmente, rendendo quindi necessario un innalzamento della altezza del canale di alimentazione in modo da prevenire il funzionamento in pressione del condotto nonché fenomeni di saturazione (**choking**) della zona aerata (air core) presente nel pozzo.

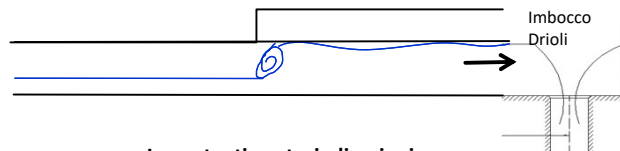


Esiste una soluzione?

Possiamo adattare l'imbocco Drioli al caso di corrente supercritica in arrivo, in modo da **contenere i costi di costruzione** ovvero **adeguare manufatti esistenti**?





- Un **risalto idraulico** si forma lungo il canale di alimentazione; conseguentemente, **l'altezza del canale di alimentazione dovrebbe essere aumentata** (spesso non fattibile) in modo da prevenire funzionamento in pressione





Importanti controindicazioni:

- La esatta **ubicazione del risalto idraulico** dovrebbe essere calcolata, in modo da definire la lunghezza del tratto per il quale la altezza va incrementata
- Il risalto idraulico può comunque continuare a provocare **fluttuazioni della superficie idrica** che certamente disturbano il **funzionamento dell'imbocco**, con effetti indesiderati sul comportamento del pozzo (**choking**)

Cambiamento climatico? ..





..Progettazione sbagliata!

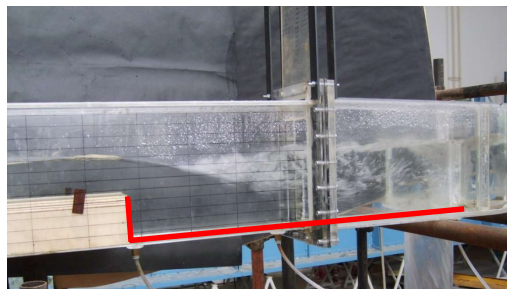
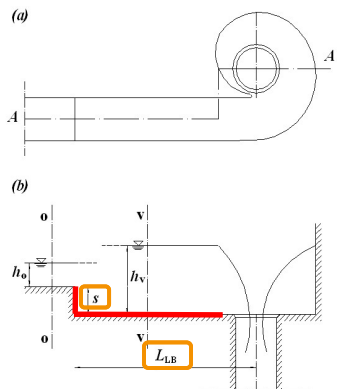
FONDAZIONE
CONSIGLIO NAZIONALE INGEGNERI

85

Corrado Gisondi 

85

La soluzione... Imbocco ibrido



- ❑ Abbassamento parziale del fondo (**gradino**) lungo il canale di alimentazione, in modo da stabilizzare il risalto idraulico a valle del gradino stesso.
- ❑ La **lunghezza** del tratto di canale soggetto ad abbassamento deve essere sufficiente a prevenire oscillazioni della superficie idrica (generate dal risalto idraulico) in prossimità dell'imbocco.

86

Indice

1. Introduzione
2. La Normativa di riferimento
3. Strumenti e Metodi
4. Alcuni casi reali
5. **Conclusioni**



Conclusioni

- La **normativa** attualmente vigente presenta importanti carenze/lacune cui va posto urgente rimedio.
- Il progetto/verifica idraulico di manufatti e canalizzazioni fognarie richiede **competenza** e particolare prudenza **in regime di corrente veloce**. *In alcuni casi le conseguenze possono essere drammatiche...*
- La conoscenza del **numero di Froude** è fondamentale per valutare correttamente il funzionamento di canalizzazioni e manufatti fognari.
- Se possibile, sarebbe opportuno affrontare lo studio di manufatti fognari complessi con geometrie non standardizzate (campi di moto 3D, correnti bi-fase aria-acqua, moto vario) conducendo **prove su modello fisico**.
- La più recente letteratura tecnico-scientifica fornisce **criteri progettuali ed equazioni di natura sperimentale** da applicare per il progetto e la verifica di pozzetti ricorrenti (da inglobare in una nuova normativa).
- Queste relazioni possono essere implementate in modelli di calcolo 1D per simulare il funzionamento dei sistemi fognari, senza incorrere in eccessive complicazioni.



Norme sì, ma non troppe...

«Ho desiderato accennare al "tecnicismo" perché con esso in qualche aspetto si può collegare la tendenza alla proliferazione delle norme, quindi anche degli Eurocodici.....»

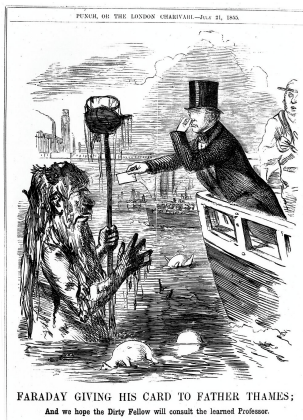
Ma un numero di regole eccessivo comporta vari degli inconvenienti dianzi citati e in particolare: l'impoverimento dell'autonomia e della creatività, in quanto l'opera del progettista è irretita dalle norme; la difficoltà di discernere ciò che veramente conta; la sensazione di avere, al riparo delle norme, responsabilità assai alleviate; la difficoltà non infrequente di rendersi conto dei ragionamenti che giustificano certe regole, rischiando di considerare queste alla stregua di algoritmi, ossia di schemi operativi che, una volta appresi, il pensiero non è più chiamato a giustificare. **Ma tra le varie conseguenze, una delle più temibili è l'attenuazione del senso di responsabilità...**»

Proliferazione delle normative e tecnicismo

Ultima lezione ufficiale del corso di Tecnica delle costruzioni tenuta dal prof. Piero Pozzati nell'a.a. 1991-'92, presso la Facoltà di Ingegneria dell'Università di Bologna - 3 giugno 1992)

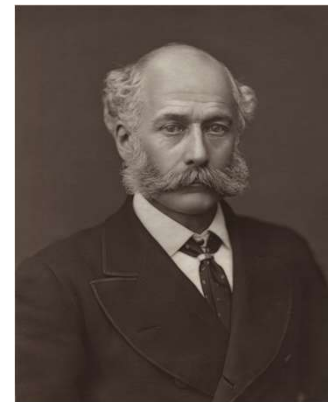


Piero Pozzati
(Bologna 20.7.1922-31.10.2015)



«Bazalgette, dal canto suo, si dedicò ad altri progetti. Costruì alcuni dei più bei ponti di Londra, a Hammersmith, Battersea e Putney, e per alleggerire il traffico nel cuore della città aggiunse diverse nuove strade piuttosto audaci, fra cui Charing Cross Road e Shaftesbury Avenue. Negli ultimi anni della sua vita venne nominato cavaliere, ma in realtà non ottenne mai la fama che avrebbe meritato. **Capita di rado agli ingegneri fognari.**»

(Bill Bryson, "Breve storia della vita privata")



Sir Joseph Bazalgette
(28 March 1819 – 15 March 1891)

Il dimensionamento idraulico dei manufatti nei sistemi di drenaggio urbano

Grazie per la vostra attenzione!



Idraulica dei sistemi fognari...
il **lavoro sporco!**



...domande?



Corrado Gisonni
corrado.gisonni@unicampania.it