

Corso di Protezione Idraulica del Territorio

Sistemi di drenaggio urbano

Prof. Antonino Cancelliere



*Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale
Università di Catania*
acance@dica.unict.it
095 7382718

I sistemi di drenaggio urbano

- Tradizionalmente, con il termine “fognature” si intende il sistema di impianti destinato all’allontanamento delle acque reflue e meteoriche dal centro abitato
- Oggi tale termine viene sostituito dalla denominazione “sistema di drenaggio urbano”, sottintendendo un insieme di impianti destinati sia all’allontanamento delle acque, sia al controllo dell’inquinamento sull’ambiente

I sistemi di drenaggio urbano

- Gli elementi di un sistema di drenaggio urbano sono:
 - Opere di raccolta delle acque meteoriche (caditoie e pluviali) e reflue (scarichi privati)
 - Reti di collettori stradali
 - Opere per il controllo idraulico ed ambientale (vasche di prima pioggia, scaricatori di piena, vasche volano, impianti di sollevamento)
 - Impianti per il trattamento e lo scarico nel corpo ricettore dei reflui
- Un sistema di drenaggio urbano deve quindi garantire da un lato una efficace difesa idraulica del centro abitato, dall'altro un controllo sulla qualità degli scarichi dei reflui nei corpo idrici

Caratteristiche delle acque da allontanare dal centro abitato

- Le acque che vengono convogliate in un sistema di drenaggio urbano sono di due tipologie principali:
 - Acque nere, costituite dai reflui civili e/o industriali.
 - Basse portate, poca variabilità
 - Caratteristiche qualitative particolarmente nocive per l'ambiente
 - Acque meteoriche (bianche)
 - Portate elevate con elevata variabilità nel tempo e nello spazio (per sistemi molto estesi)
 - Qualità variabile: scarsa durante la prima fase dell'evento meteorico (dilavamento strade), che migliora con il tempo

Tipologia dei sistemi

- I sistemi di drenaggio urbano possono essere classificati in:
 - Sistemi unitari
 - Sistemi separati
- Nei sistemi unitari i collettori convogliano sia le acque reflue (civili e/o industriali), sia le acque meteoriche durante le precipitazioni
- Nei sistemi separati le acque reflue sono convogliate in collettori distinti da quelli destinati alle acque meteoriche

Sistemi unitari

- Nei sistemi unitari i collettori convogliano sia le acque reflue (civili e/o industriali), sia le acque meteoriche durante le precipitazioni
 - Più diffusi
 - Più economici dal punto di vista della realizzazione e della gestione
 - Dimensionati rispetto alle portate meteoriche
 - Possono avere problemi idraulici durante i periodi asciutti
 - Possono dare problemi nel recapito agli impianti di depurazione
 - Necessità di inserire manufatti di controllo (scaricatori di piena)

Sistemi separati

- Nei sistemi separati le acque reflue sono convogliate in collettori distinti da quelli destinati alle acque meteoriche
 - Meno diffusi
 - Elevati costi di costruzione e gestione
 - Difficoltà gestionali (difficile impedire immissioni di reflui non controllate)
 - Migliore funzionamento dal punto di vista idraulico
 - Pochi problemi nel recapito agli impianti di depurazione

Configurazione planimetrica delle reti

- La scelta della tipologia di rete dipende da diversi fattori:
 - Altimetria e morfologia del centro abitato
 - Tipologia e ubicazione del corpo/i idrico/i ricettore/i
 - Tipologia dell'intervento (nuova rete o intervento riabilitativo)
- In generale occorre distinguere tra collettori principali e collettori secondari
- I collettori principali possono essere disposti:
 - Perpendicolari
 - A ventaglio
 - Radialmente
 - A terrazze
 - A configurazione mista
- I collettori secondari possono essere disposti:
 - A pettine
 - A doppio pettine
 - A configurazione ortogonale
 - A configurazione dendritica

Configurazione planimetrica delle reti

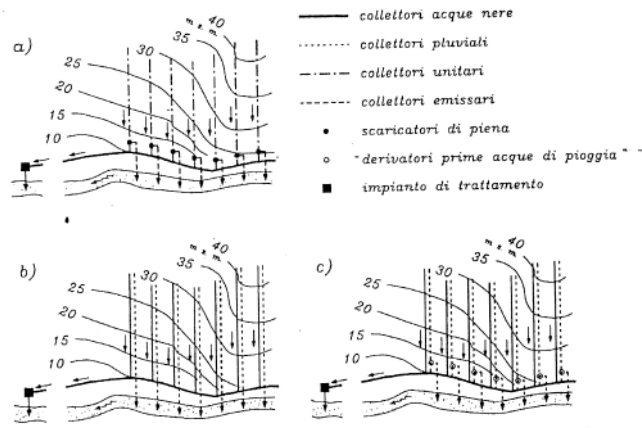


Figura 3.1 - Reti fognarie con configurazione del tipo perpendicolare:
 (a) sistema unitario;
 (b) sistema separato;
 (c) sistema separato con invio alla depurazione anche delle prime acque di pioggia.

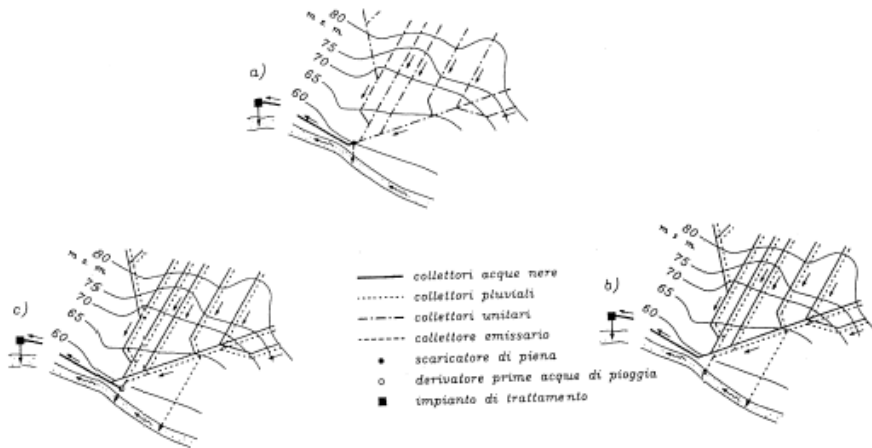
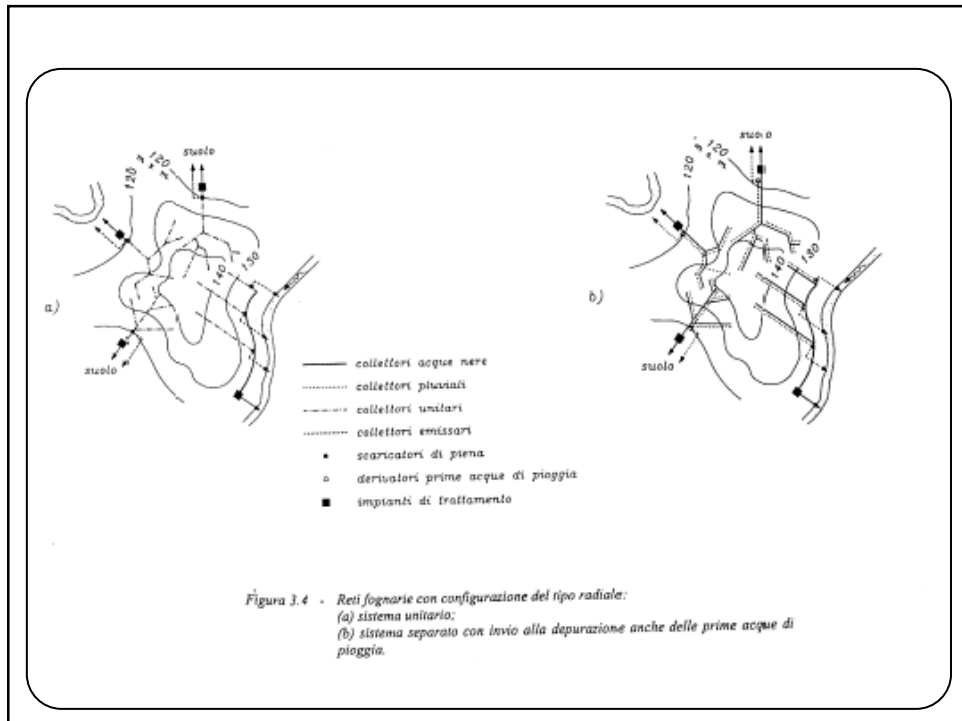
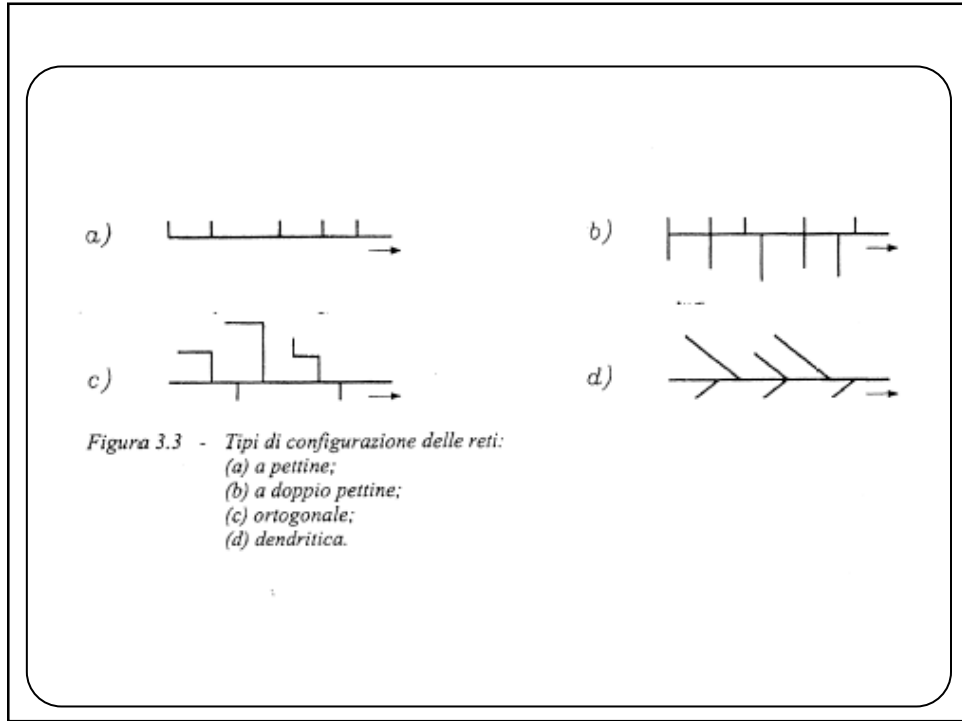
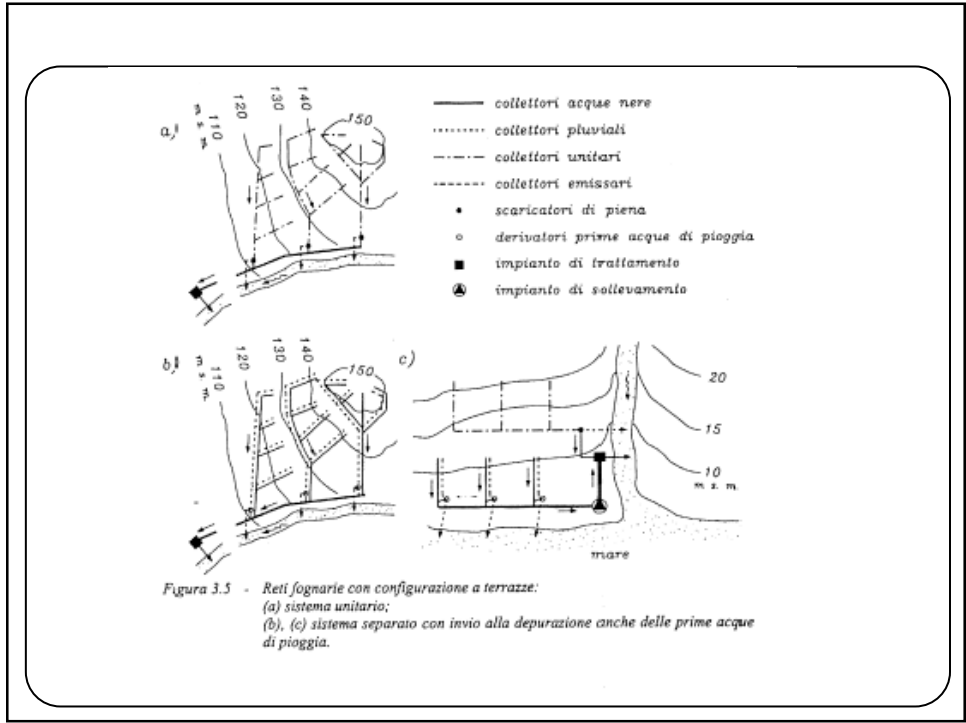
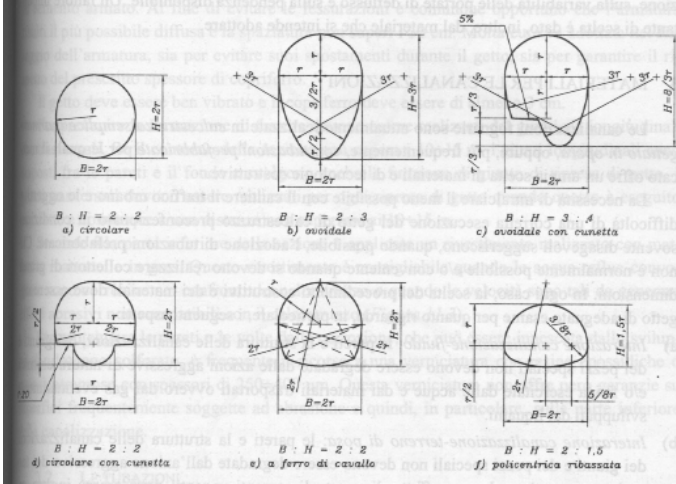


Figura 3.2 - Reti fognarie con configurazione del tipo a ventaglio:
 (a) sistema unitario;
 (b) sistema separato;
 (c) sistema separato con invio alla depurazione anche delle prime acque di pioggia.





Canali e condotte per fognature



Materiali per le canalizzazioni

- Le tubazioni fognarie possono essere realizzate:
 - In calcestruzzo semplice o armato gettato in opera
 - Prefabbricate (oggi più diffuse)
- A seconda del materiale:
 - Lapidie (gres, fibrocemento, calcestruzzo semplice o armato)
 - Metalliche (ghisa, acciaio)
 - Plastiche (PVC, PEaD, PRFV)

Tubazioni in gres porcellanato



- Tubi realizzati in argilla sottoposta a cottura di vetrificazione
- Bassi valori di scabrezza
- Resistenti agli agenti chimici, abrasione
- Le giunzioni sono generalmente realizzate a bicchiere con anello elastico in gomma o poliuretano

Altre tubazioni in materiali lapidei

- **Fibrocemento**
 - Tubi costituiti da una miscela di cemento, fibre e acqua
 - Un volta veniva usato l'amianto, oggi si utilizzano fibre in polimeri e cellulosa
- **Calcestruzzo semplice o armato**

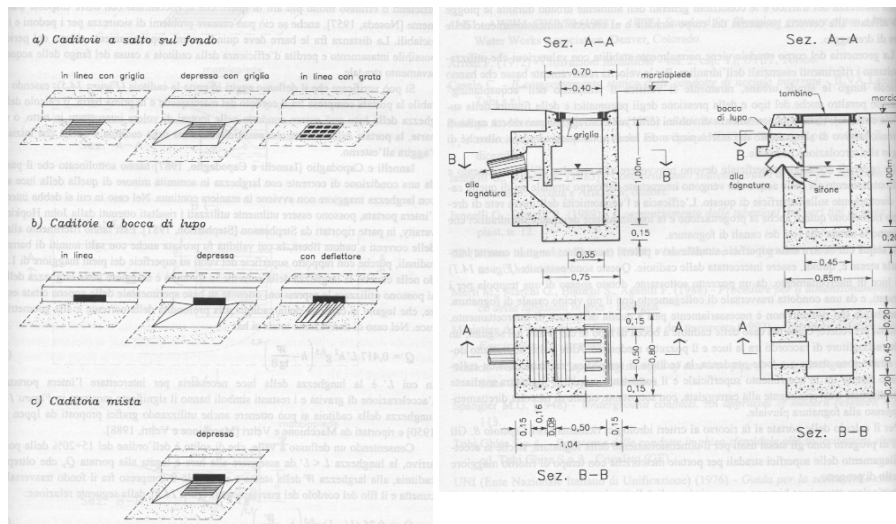
Tubazioni metalliche

- **Ghisa sferoidale**
 - Largamente utilizzata in passato per le reti di scarico all'interno degli edifici e per i tratti in pressione
 - Oggi vengono prodotti anche tubi con rivestimento cementizio
- **Acciaio**
 - Utilizzato prevalentemente per tratti in pressione

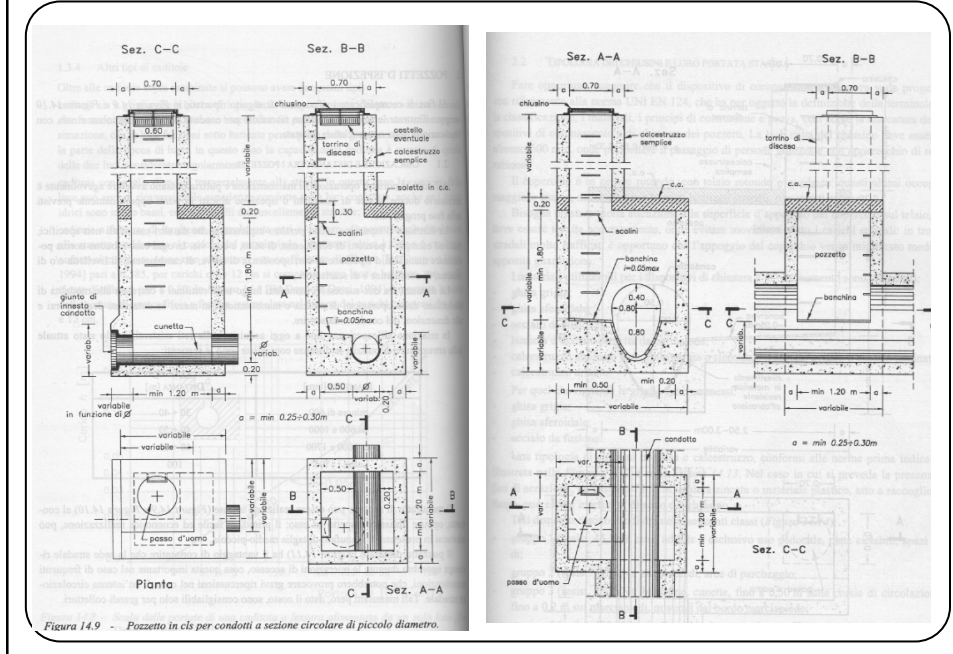
Tubazioni in materiali plastici

- PVC-Policloruro di vinile
- PEaD-Polietilene ad alta densità
- PRFV - Vetroresina

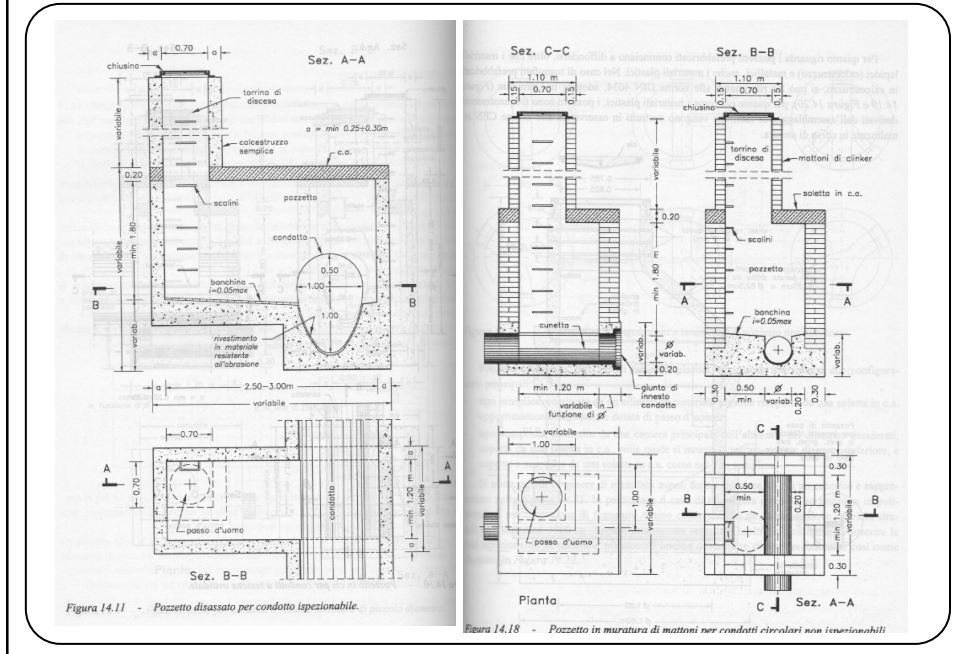
Caditoie stradali



Pozzetti di ispezione



Pozzetti di ispezione



Pozzetti di ispezione

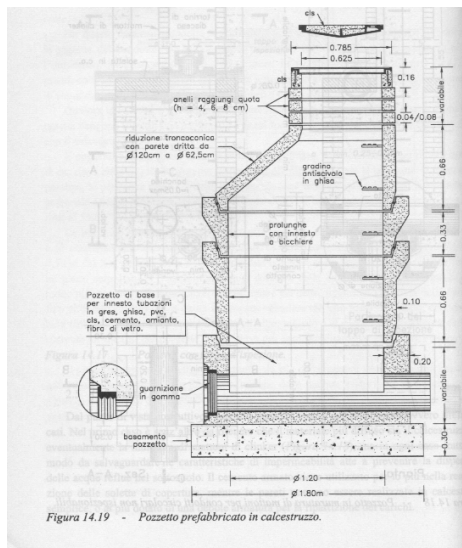


Figura 14.19 - Pozzetto prefabbricato in calcestruzzo.

Confluenze

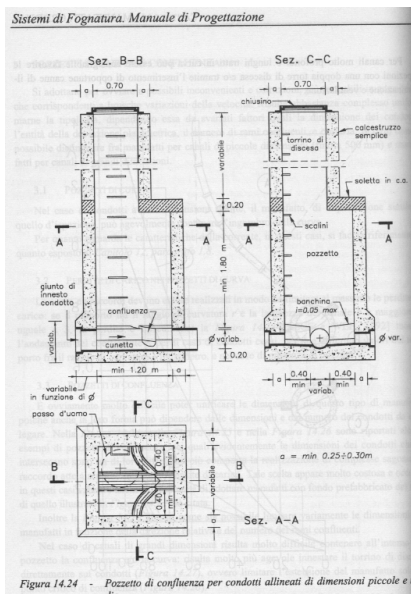


Figura 14.24 - Pozzetto di confluenza per condotti allineati di dimensioni piccole e medie.

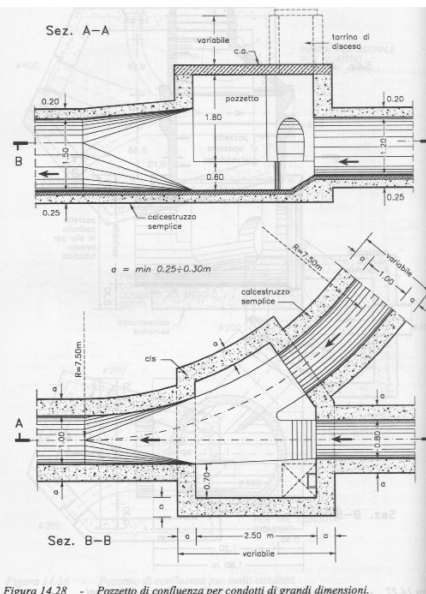


Figura 14.28 - Pozzetto di confluenza per condotti di grandi dimensioni.

Verifiche idrauliche delle condotte

Formula di Chezy Gauckler Strickler:

$$Q = cAR^{3/2}i^{1/2}$$

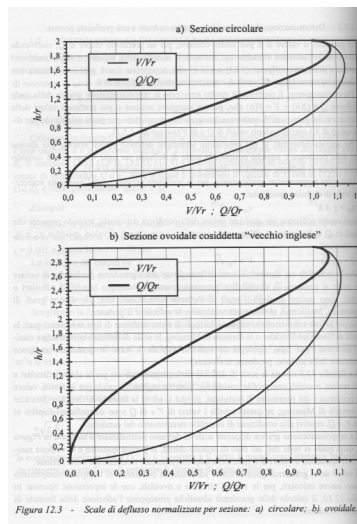
- c è tabellato in funzione del materiale utilizzato

Tabella 12.6 - Valori dei parametri di scabrezza consigliati per le reti fognarie.

MATERIALE	PARAMETRI DI SCABREZZA		
	Marchi Colebrook ϵ [mm]	Manning n [$m^{-1/3} s$]	Gauckler-Strickler c [$m^{1/3} s^{-1}$]
Calcestruzzo monolitico			
- con casseforme lisce	0,3 + 1,5	0,011 + 0,014	90 + 70
- con casseforme scabre	1,5 + 6	0,014 + 0,017	70 + 60
Muratura in mattoni	1,5 + 6	0,014 + 0,017	70 + 60
Tubi in calcestruzzo	0,3 + 3	0,011 + 0,015	90 + 67
Tubi in gres	0,3 + 3	0,011 + 0,015	90 + 67
Tubi in materie plastiche	0,3 + 3	0,011 + 0,015	90 + 67
Tubi in ghisa (con rivestimento interno cementizio)	0,3 + 3	0,011 + 0,015	90 + 67
Tubi in fibrocemento	0,3 + 3	0,011 + 0,015	90 + 67

Verifiche idrauliche dei condotti

Al fine di facilitare le verifiche, sono state proposte diverse soluzioni adimensionali per le scale di deflusso



Tab. 12.9 - Scale di deflusso normalizzate (formula di Gauckler-Strickler o di Manning).

SEZIONE CIRCOLARE			SEZIONE OVOIDALE (COSIDDETTA "VECCHIO INGLESE")		
h/r	V/V_r	Q/Q_r	h/r	V/V_r	Q/Q_r
0,10	0,257	0,005	0,10	0,229	0,002
0,20	0,401	0,021	0,20	0,351	0,009
0,40	0,615	0,088	0,35	0,478	0,026
0,60	0,776	0,196	0,50	0,573	0,052
0,80	0,902	0,337	0,60	0,719	0,128
1,00	1,000	0,500	1,10	0,834	0,237
1,20	1,072	0,672	1,40	0,926	0,372
1,30	1,099	0,756	1,70	1,000	0,528
1,40	1,119	0,837	2,00	1,059	0,697
1,50	1,133	0,912	2,20	1,090	0,811
1,60	1,140	0,978	2,40	1,110	0,918
1,70	1,157	1,031	2,60	1,115	1,007
1,80	1,124	1,066	2,80	1,098	1,059
1,90	1,095	1,075	2,90	1,075	1,061
2,00	1,000	1,000	3,00	1,000	1,000

r = raggio della sezione circolare
 r = raggio del semicerchio superiore della sezione ovoidale

Tab. 12.10 - Valori delle grandezze geometriche e idrauliche a completo riempimento.

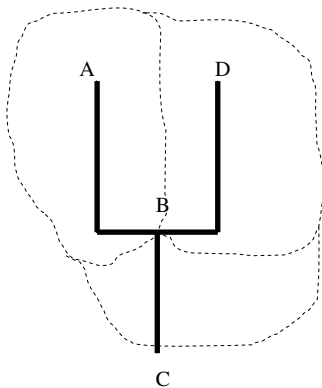
GRANDEZZA	SEZIONI CIRCOLARI	SEZIONE OVOIDALE (COSIDDETTA "VECCHIO INGLESE")
A_r	πr^2	$4,594 r^2$
P_r	$2 \pi r$	$7,930 r$
R_r	$r/2$	$0,579 r$
V_r	$0,630 K_s r^{2/3} i^{1/2}$ (*)	$0,693 K_s r^{2/3} i^{1/2}$ (*)
Q_r	$1,379 K_s r^{5/3} i^{1/2}$ (*)	$3,193 K_s r^{5/3} i^{1/2}$ (*)

(*) Formula di Gauckler-Strickler

Metodo della corrivazione o cinematico-lineare

- Il metodo ipotizza che il tempo che impiega una particella caduta in punto del bacino a raggiungere la sezione di chiusura è invariante e dipende solo dal punto di caduta
- Ne consegue che il tempo di corrivazione (*o concentrazione*) del bacino è invariante
- La durata di precipitazione che massimizza la portata al colmo è pari al tempo di corrivazione del bacino

Metodo della corrivazione



- Con riferimento alla sezione B, il tempo di corrivazione sarà pari alla somma del *tempo di accesso* e del *tempo di rete*

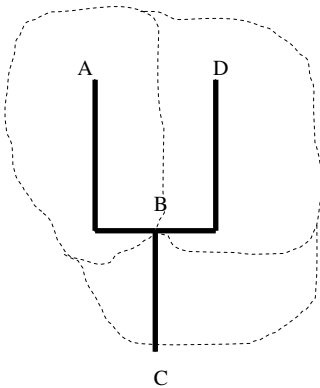
$$t_c = t_a + t_r$$

- Il *tempo di accesso* è di incerta determinazione e dell'ordine dei 5-15 minuti
- Il tempo di rete dipende dalle velocità nei tratti ed è somma dei tempi di percorrenza nei tratti a monte seguendo il percorso più lungo della rete fognaria

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{V_i}$$

- Le velocità sono quelle di moto uniforme considerando l'effettivo grado di riempimento, funzione della portata (al momento incognita)
- Inizialmente si fissa un tempo di rete di primo tentativo

Metodo della corrivazione



- Applicando la formula di Turazza la portata del tratto A-B nella sezione B sarà quindi:

$$Q = \frac{\varphi Sh(t_c)}{t_c}$$

- Nota la portata si dimensiona (o si verifica) lo speco e si calcola la velocità
- Sulla base della velocità si ricalcola il tempo di rete e quello di corrivazione. Se è sostanzialmente diverso da quello ipotizzato inizialmente si ripete il calcolo, iterando finché il tempo di corrivazione converge
- In casi eccezionali può succedere che il massimo tempo di corrivazione dei tratti a monte sia minore del tempo di accesso del tratto considerato. Si considera quindi come tempo di corrivazione quello di accesso più quello di percorrenza

Metodo della corrivazione

- Il tempo di accesso può essere calcolato come:

$$t_{ai} = \left(\frac{3600^{\frac{n-1}{4}} 120 S_i^{.30}}{s_i^{.375} (a \varphi_i)^{.25}} \right)^{\frac{4}{n+3}}$$

- dove:
 - S_i superficie in ettari
 - s_i pendenza media
 - a [mm/ora], n parametri della curva di probabilità pluviometrica
- Anche il calcolo del tempo di rete può essere affinato considerando velocità superiori a quelle del moto uniforme:

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{1.5V_{ui}}$$

Coefficienti di deflusso

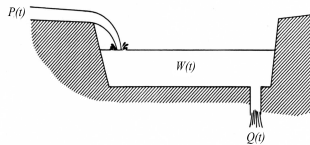
TIPOLOGIA URBANA	ϕ
parti centrali delle antiche città, con densa fabbricazione, con strade strette e lastricate	0,70 ÷ 0,90
zone urbane destinate a restare con scarse aree scoperte	0,50 ÷ 0,70
zone urbane destinate al tipo di città giardino	0,25 ÷ 0,50
zone urbane destinate a restare non fabbricate e non pavimentate	0,10 ÷ 0,30
prati e parchi	0,00 ÷ 0,25

oppure:

TIPOLOGIA URBANA	ϕ
costruzioni dense	0,80
costruzioni spaziate	0,60
aree con grandi cortili e grandi giardini	0,50
zone a villini	0,30 ÷ 0,40
giardini, prati e zone non destinate né a costruzioni né a strade	0,20
parchi e boschi	0,05 ÷ 0,10

Metodo dell'invaso lineare

Il metodo si basa sull'ipotesi che il bacino si comporti come un serbatoio lineare: portata in uscita $Q(t)$ è funzione lineare del volume invasato



$$Q(t) = \frac{1}{k} w(t)$$

Equazione di continuità del serbatoio

$$P(t) - Q(t) = \frac{dw(t)}{dt}$$

equazione diff. lineare e coeff. costanti

$$P(t) = Q(t) + k \frac{dQ(t)}{dt}$$

moltiplicando per $e^{t/k}$

$$P(t) e^{t/k} = Q(t) e^{t/k} + k \frac{dQ(t)}{dt} \cdot e^{t/k} \quad \text{che equivale a} \quad P(t) e^{t/k} = \frac{d}{dt} (k Q(t) e^{t/k})$$

e integrando

$$k Q(t) e^{t/k} = \int_0^t P(\tau) e^{\tau/k} d\tau + c$$

Condizioni iniziali:

per $t = 0$; $Q(t) = 0 \rightarrow c = 0$

$$Q(t) = \int_0^t P(\tau) \frac{1}{k} e^{-\frac{(t-\tau)}{k}} d\tau$$

Equivale alla risposta di un sistema lineare con risposta impulsiva (IUH):

$$h(t) = \frac{1}{k} e^{-\frac{t}{k}}$$

Se $P(t) = \text{cost}$, l'integrazione porge:

per $t < t_p$

$$Q(t) = P(t) \left(1 - e^{-\frac{t}{k}} \right)$$

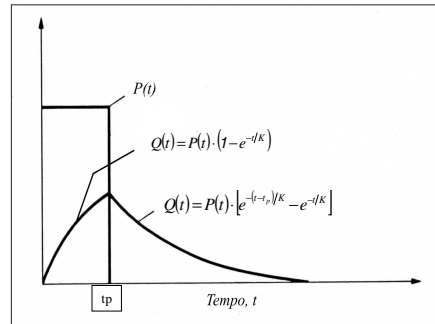
per $t = t_p$ portata al colmo

$$Q_p = P(t) \left(1 - e^{-\frac{t_p}{k}} \right)$$

per $t > t_p$ portata al colmo

$$Q(t) = Q_p e^{-\frac{(t-t_p)}{k}}$$

ramo discendente dell'idrogramma



Metodo dell'invaso

- Assumendo una precipitazione di durata t_p , la sua altezza sarà $P = at_p^n$

- La portata al colmo diventa:

$$Q_p = at_p^n \left(1 - e^{-\frac{t_p}{k}} \right)$$

- Posto $r = t_p/k$, la portata al colmo è massima quando:

$$n = 1 - r \frac{e^{-r}}{1 - e^{-r}}$$

- Da cui si ha:

$$Q_p = \varphi a S k^{n-1} r^{n-1} (1 - e^{-r})$$

Metodo dell'invaso

- La costante di invaso k può essere calcolata come (Desbordes):

$$k = \frac{4.19S^{.3}}{Im^{.45}(100s)^{.38}} - .21$$

- ovvero (Ciaponi e Papiri):

$$k = .5 \frac{S^{.351} d^{.358}}{Im^{.163} s_r^{.29}}$$

Metodo dell'invaso

- In sintesi il metodo si basa sui seguenti passi:
 - Si stima il coefficiente di deflusso
 - Si stima la costante di invaso k
 - In funzione di n si calcola $r = t_p/k$

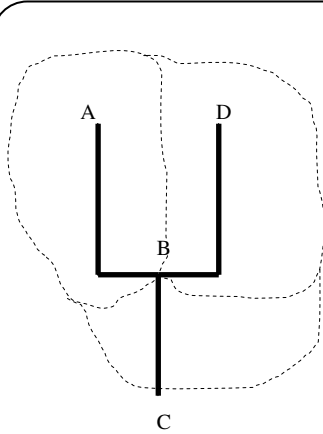
Tabella 8.5 - Valori delle grandezze r (8.20) e z (8.28) in funzione dell'esponente n della curva di possibilità pluviometrica.

n	0,30	0,40	0,50	0,60
r	0,67	0,95	1,26	1,62
z	0,78	0,79	0,81	0,84
$r^{n-1}(1-e^{-r})$	0,65	0,63	0,64	0,66

- La portata al colmo è :

$$Qp = \varphi a S k^{n-1} r^{n-1} (1 - e^{-r})$$

Esempio numerico



- Con riferimento alla sezione B, il tempo di corrivazione sarà pari alla somma del *tempo di accesso* e del *tempo di rete*

$$t_c = t_a + t_r$$

- Il *tempo di accesso* è di incerta determinazione e dell'ordine dei 5-15 minuti
- Il tempo di rete dipende dalle velocità nei tratti ed è somma dei tempi di percorrenza nei tratti a monte seguendo il percorso più lungo della rete fognaria

$$t_r = \sum_i \frac{L_i}{V_i}$$

- Le velocità sono quelle di moto uniforme considerando l'effettivo grado di riempimento, funzione della portata (al momento incognita)
- Inizialmente si fissa un tempo di rete di primo tentativo