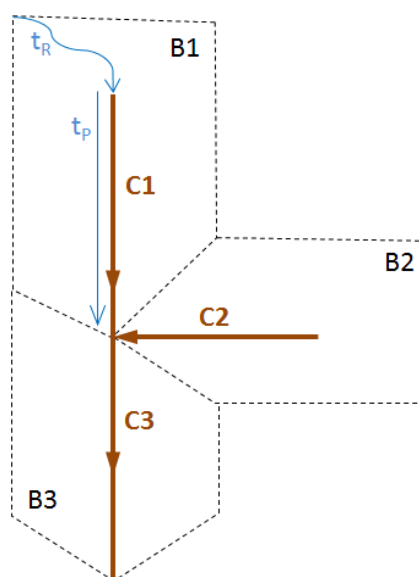


## PROGETTO FOGNATURA (METODO CINEMATICO)

ESERCITAZIONE PER LA QUARTA PROVA DELL' ESAME DI  
STATO PER L'ABILITAZIONE ALLA PROFESSIONE DI  
INGEGNERE CIVILE E AMBIENTALE | Autore: Marina Roma



Il presente documento riporta lo svolgimento, passaggio dopo passaggio, di un esercizio di progettazione di una fognatura mista col metodo cinematico: dal dimensionamento dei collettori con riferimento alla portata massima ( $Q$  di pioggia) alla verifica degli stessi in condizioni di portata minima ( $Q$  media nera). Per una miglior comprensione dello svolgimento dell'esercizio, si premette che: in giallo sono evidenziati i dati di input dell'esercizio (es. aree dei bacini colanti  $B1$ ,  $B2$ ,  $B3$  e rispettivi coefficienti di afflusso, lunghezza dei collettori  $C1$ ,  $C2$ ,  $C3$  e loro pendenza, coefficienti "a" ed "n" della legge di pioggia  $h(t) = a \cdot t^n$  per l'area in esame per  $T=10$  anni, tempo di ruscellamento e coeff. di Strikler per la condotta); sono evidenziati ugualmente in giallo quei valori che vanno assegnati più o meno arbitrariamente (es. assegnazione di un valore di primo tentativo per un processo iterativo). In verde sono evidenziati i risultati più importanti ottenuti (es. diametri, velocità e portate defluenti nei singoli collettori). Infine sono evidenziate in grigio le celle contenenti valori tabellati (es. scala di deflusso adimensionalizzata). Chiude l'esercizio, un memorandum dei passaggi da seguire nella progettazione.

Osservazione: in questo esercizio le pendenze dei vari collettori erano già dati; se così non fosse si può assumere come valore di primo tentativo: almeno 1 % per le fogne tubolari più piccole, almeno 3-4 ‰ per fogne ovoidali di media dimensioni; inferiori all'1 ‰ per grandi emissari.

## PROGETTO FOGNATURA MISTA (col metodo cinematico)

Dati di progetto - portata bianca

Bacino colante	Area [m <sup>2</sup> ]	Coeff. afflusso $\phi$
B1	2900	0.40
B2	5000	0.50
B3	6500	0.60
Tot.	14400	0.53

Collettore	Lunghezza [m]	Pendenza i
C1	50	0.01
C2	70	0.01
C3	85	0.005

testafogna  
testafogna

Parametri della legge di pioggia  $h(t) = a \cdot t^n$  per tempo di ritorno T [anni] = 10

con:

a	44.2
n	0.28

h è l'altezza di pioggia [mm]  
t è la durata della pioggia [ore]

Tempo di ruscellamento

$t_R$	5	min
	0.083	h

(:60)

Coefficiente di scabrezza di Strickler

$K_{st}$	60	m <sup>1/3</sup> / s
----------	----	----------------------

(dipende dal materiale adottato per le condotte; es. in calcestruzzo  $k_{st} = 50-60$  m<sup>1/3</sup> / s)

Portata normalizzata (ossia riferita a **sezione circolare** di diametro D = 1m e pendenza i = 100%)

$$Q = K_{st} \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (\text{Gaukler-Strickler in generale})$$

$$Q = K_{st} \cdot \frac{\pi D^2}{4} \cdot \left(\frac{D}{4}\right)^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (\text{Gaukler-Strickler per sezione circolare e } h = D)$$

$$Q_R = K_{st} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{1}{4}\right)^{2/3} = 0.312 \cdot K_{st}$$

Dal momento che impongo D = 1 ed i = 100% quella che ottengo è la Q<sub>R</sub> (portata normalizzata)

Q <sub>R</sub>	18.72	m <sup>3</sup> /s
----------------	-------	-------------------

Risostituendola nell'espressione originale ricavo D = f.ne (Q<sub>R</sub>, Q, i)

$$Q = Q_R \cdot D^{8/3} \cdot \sqrt{i} \quad D^{8/3} = \frac{Q}{Q_R \sqrt{i}} \quad D = \sqrt[8/3]{\frac{Q}{Q_R \sqrt{i}}}$$

### CRITERI GENERALI PER IL DIMENSIONAMENTO

Velocità minima 0.5 m/s; velocità massima 4 m/s per fognatura mista; 5 m/s per sistemi separati

Diametro minimo utilizzabile da normativa: 300 mm

Grado di riempimento massimo 80%

Se giostrando sul diametro della condotta non riesco a conciliare le varie cose, posso agire anche su forma della sezione (ovoidale, etc), pendenza (i) e materiale (K<sub>st</sub>).

Dimensiono con la Q max (a rigore Q<sub>bianca</sub> + Cp\*Q<sub>mn</sub>, ma dati gli ordini di grandezza pongo Q<sub>pioggia</sub>)

Verifico con la Q min (variabile tra Q<sub>mn</sub> e Cp\*Q<sub>mn</sub>)

## COLLETTORE C1 - terza iterazione

Velocità di ruscellamento 

$V_R$	1.27	m/s
-------	------	-----

(quella di fine iterazione precedente)

Tempo di percorrenza 

$t_p$	39.261	s
	0.654	min
	0.011	h

 $t_p = L/V_R$   
(:60)  
(:60)

Tempo di corrivazione 

$t_c$	0.094	h
-------	-------	---

 $t_c = t_R + t_p$

Altezza di pioggia per  $t = t_c$   
 $h(t) = a \cdot t^n$   

$h$	22.81	mm
	0.023	m

Intensità di pioggia 

$i$	0.242	m/h
-----	-------	-----

 $i(t) = h(t) / t$

Portata alla sez. di chiusura del collettore C1 

$Q_1$	280.82	$m^3/h$
	0.078	$m^3/s$

 $Q = \phi * i * A$   
(:3600)

Diametro teorico 

$D^*$	0.305	m
-------	-------	---

 $D = \sqrt[8/3]{\frac{Q}{Q_R \cdot \sqrt{i}}}$

Arrotondamento 

0.05	m
------	---

Diametro commerciale (immediatamente superiore) 

$D$	0.350	m
-----	-------	---

Scala di deflusso (se non è cambiato D, è identica a prima)

$$Q = K_{st} \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma [m^2]$	Per.bagn. $\chi [m]$	Raggio idr. R [m]	portata Q [ $m^3/s$ ]
0.01	0.0130	0.2003	0.0066	0.004	0.002	0.070105	0.002	0.000
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.035	0.005	0.225225	0.022	0.002
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.070	0.014	0.324555	0.042	0.010
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.105	0.024	0.405755	0.060	0.022
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.140	0.036	0.47929	0.075	0.038
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	0.175	0.048	0.54978	0.088	0.057
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.210	0.060	0.62027	0.097	0.076
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.245	0.072	0.693805	0.104	0.095
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.280	0.083	0.775005	0.106	0.111
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.315	0.091	0.874335	0.104	0.121
1.00	0.7854	3.1416	0.2500	0.350	0.096	1.09956	0.088	0.114
Valori tabellati in funzione della geometria dello speco - pag. 405-406 libro "Fognature"				Valori particolarizzati per il diametro adottato				
VALIDI PER SEZIONE CIRCOLARE DI QUALSIASI D								

Valori che mi fanno ottenere la Q cercata (per interpolazione)

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma [m^2]$	Per.bagn. $\chi [m]$	Raggio idr. R [m]	portata Q [ $m^3/s$ ]
0.61	0.5018	1.7960	0.2797	0.214	0.061	0.628615	0.098	0.078
<b>VERIFICA CHE SIA LA Q DI PROGETTO !</b>								

**COLLETTORE C2 - terza iterazione**

Velocità di ruscellamento	$V_R$	1.53	m/s
---------------------------	-------	------	-----

(quella di fine iterazione precedente)

Tempo di percorrenza	$t_p$	45.702	s	$t_p = L/V_R$	
		0.762	min		(:60)
		0.013	h		(:60)

Tempo di corrivazione	$t_c$	0.096	h	$t_c = t_R + t_p$
-----------------------	-------	-------	---	-------------------

Altezza di pioggia per $t = t_c$ $h(t) = a \cdot t^n$	$h$	22.93	mm
		0.023	m

Intensità di pioggia	$i$	0.239	m/h	$i(t) = h(t) / t$
----------------------	-----	-------	-----	-------------------

Portata alla sez. di chiusura del collettore C2	$Q_2$	597.08	$m^3/h$	$Q = \phi * i * A$ (:3600)
		0.166	$m^3/s$	

Diametro teorico	$D^*$	0.404	m
------------------	-------	-------	---

$$D = \sqrt[8/3]{\frac{Q}{Q_R \cdot \sqrt{i}}}$$

Arrotondamento		0.05	m
----------------	--	------	---

Diametro commerciale (immediatamente superiore)	$D$	0.450	m
---	-----	-------	---

Scala di deflusso (se non è cambiato D, è identica a prima)

$$Q = K_{\sigma} \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma [m^2]$	Per.bagn. $\chi [m]$	Raggio idr. R [m]	portata Q [ $m^3/s$ ]
0.01	0.0130	0.2003	0.0066	0.005	0.003	0.090135	0.003	0.000
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.045	0.008	0.289575	0.029	0.005
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.090	0.023	0.417285	0.054	0.019
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.135	0.040	0.521685	0.077	0.044
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.180	0.059	0.61623	0.096	0.075
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	0.225	0.080	0.70686	0.113	0.111
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.270	0.100	0.79749	0.125	0.149
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.315	0.119	0.892035	0.133	0.186
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.360	0.136	0.996435	0.137	0.217
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.405	0.151	1.124145	0.134	0.237
1.00	0.7854	3.1416	0.2500	0.450	0.159	1.41372	0.113	0.222

Valori tabellati in funzione della geometria dello speco - pag. 405-406 libro "Fognature"

Valori particolarizzati per il diametro adottato

VALIDI PER SEZIONE CIRCOLARE DI QUALSIASI D

Valori che mi fanno ottenere la Q cercata (per interpolazione)

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma [m^2]$	Per.bagn. $\chi [m]$	Raggio idr. R [m]	portata Q [ $m^3/s$ ]
0.645	0.5349	1.8662	0.2869	0.290	0.108	0.839801	0.129	0.166

**VERIFICA CHE SIA LA Q DI PROGETTO !**

### COLLETTORE C3 - terza iterazione

Velocità di ruscellamento (quella di fine iterazione precedente)	$V_R$	1.50	m/s	
Tempo di percorrenza	$t_p$	56.724	s	$t_p = L/V_R$ (:60) (:60)
		0.945	min	
		0.016	h	
Tempo di corrivazione	$t_c$	0.112	h	$t_c = \max(t_c)_{1-2} + t_p$
Altezza di pioggia per $t = t_c$ $h(t) = a \cdot t^n$	h	23.93	mm	
		0.024	m	
Intensità di pioggia	i	0.214	m/h	$i(t) = h(t) / t$
Portata alla sez. di chiusura del collettore C3	$Q_3$	1618.48	m <sup>3</sup> /h	$Q = \phi_{\text{medio}} \cdot i \cdot A_{\text{tot}}$ (:3600)
		0.450	m <sup>3</sup> /s	
Diametro teorico	$D^*$	0.667	m	$D = \sqrt[8/3]{\frac{Q}{Q_R \sqrt{i}}}$
Arrotondamento		0.05	m	
Diametro commerciale (immediatamente superiore)	D	0.700	m	

Scala di deflusso (se non è cambiato D, è identica a prima)

$$Q = K_{\sigma} \cdot \sigma \cdot R^{2/3} \cdot \sqrt{i}$$

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma$ [m <sup>2</sup> ]	Per.bagn. $\chi$ [m]	Raggio idr. R [m]	portata Q [m <sup>3</sup> /s]
0.01	0.0130	0.2003	0.0066	0.004	0.006	0.14021	0.005	0.001
0.10	0.0409	0.6435	0.0635	0.035	0.020	0.45045	0.044	0.011
0.20	0.1118	0.9273	0.1206	0.070	0.055	0.64911	0.084	0.045
0.30	0.1982	1.1593	0.1709	0.105	0.097	0.81151	0.120	0.100
0.40	0.2934	1.3694	0.2142	0.140	0.144	0.95858	0.150	0.172
0.50	0.3927	1.5708	0.2500	0.175	0.192	1.09956	0.175	0.255
0.60	0.4920	1.7722	0.2776	0.210	0.241	1.24054	0.194	0.343
0.70	0.5872	1.9823	0.2962	0.245	0.288	1.38761	0.207	0.428
0.80	0.6736	2.2143	0.3042	0.280	0.330	1.55001	0.213	0.499
0.90	0.7445	2.4981	0.2980	0.315	0.365	1.74867	0.209	0.544
1.00	0.7854	3.1416	0.2500	0.350	0.385	2.19912	0.175	0.511
Valori tabellati in funzione della geometria dello speco - pag. 405-406 libro "Fognature"				Valori particolarizzati per il diametro adottato				
VALIDI PER SEZIONE CIRCOLARE DI QUALSIASI D								

Valori che mi fanno ottenere la Q cercata (per interpolazione)

Riempim. h/D	Sez.idr. $\sigma / D^2$	Per.bagn. $\chi / D$	Raggio idr. R/D	tirante h [m]	Sez.idr. $\sigma$ [m <sup>2</sup> ]	Per.bagn. $\chi$ [m]	Raggio idr. R [m]	portata Q [m <sup>3</sup> /s]
0.73	0.6126	2.0431	0.2994	0.511	0.300	1.430143	0.210	0.450
<b>VERIFICA CHE SIA LA Q DI PROGETTO !</b>								

## MEMORANDUM - Progetto e verifica di una fognatura con il metodo cinematico

### ▪ DIMENSIONAMENTO (con la portata di pioggia)

Il faccio tutto ciò per tutti e tre i collettori.

processo di dimensionamento di una fognatura è iterativo; per cui:

- 1) si ipotizza una prima velocità di ruscellamento (es.  $v_r = 2$  m/s) e si ricava il tempo di corrivazione come  $t_c = t_r + t_p$ , dove  $t_p$  è il tempo di percorrenza che calcolo come rapporto tra la lunghezza del collettore e la velocità di ruscellamento.
- 2) si pone nella legge di pioggia  $h(t) = a \cdot t^n$  un tempo pari a  $t_c$  calcolato sopra, ricavando quindi l'altezza di pioggia  $h$  che, divisa per il tempo  $t_c$ , mi dà l'intensità  $i$  della pioggia.
- 3) si pone tale intensità nella formula razionale  $Q = f_i \cdot i \cdot A$  (dove  $f_i$  è il coefficiente d'afflusso ed  $A$  l'area del bacino) ottenendo la portata defluente.
- 4) definito il materiale della condotta (e quindi il coefficiente di Strickler) e definita la geometria dello speco (nello specifico circolare), ricavo il diametro teorico.
- 5) passo dal diametro teorico a quello commerciale ed uso tale valore per entrare nella scala di deflusso adimensionalizzata (in questo caso per spechi circolari) per ricavare la scala di deflusso per la mia sezione specifica; avrò quindi dei valori di tirante ( $h$ ), cui corrisponderanno assegnati gradi di riempimento ( $h/D$ ) e determinate portate  $\Rightarrow$  prendo il grado di riempimento che mi realizza la portata valutata prima con la formula razionale (se non fosse direttamente presente, la ricavo per interpolazione).
- 6) ricalcolo la velocità nel collettore come rapporto tra portata e sezione idrica: se coincide con quei 2 m/s fossati come primo tentativo, ok, il dimensionamento è finito; se invece viene un valore diverso, lo uso come valore di secondo tentativo per la velocità di ruscellamento, ripetendo i passaggi dall' 1) al 6) finchè il valore ipotizzato e ricalcolato non coincidono.
- 7) verifico che il grado di riempimento sia minore dell'80% e che la velocità inferiore a 4 m/s.
- 8) faccio ciò per tutti e tre i collettori.

Oss. Se le verifiche non fossero soddisfatte, prova a cambiare diametro ( $D$ ), pendenza ( $i$ ) oppure il materiale della condotta ( $K_{st}$ ) o forma dello speco (cambia la scala di deflusso).

### ▪ VERIFICA (con la portata media nera)

- 1) per ogni bacino colante, noto il numero di abitanti, la dotazione idrica ed il coefficiente di afflusso in fognatura, calcolo la portata media nera ( $Q_{mn}$ ); moltiplicandola per il coeff. di punta ottengo la portata di punta nera ( $Q_{pn}$ ).