

Esercitazione 3 - Testo

Progetto sistema drenaggio urbano
a servizio dell'area riportata a destra

- Dati:

impermeabilità IMP = 80%

$\varphi_{imp} = 0.8$; $\varphi_{perm} = 0.1$

$\varphi = \varphi_{imp} \times IMP + \varphi_{perm} \times (1 - IMP)$

D.I. = 350 l/ab.die

Densità abitativa:

600 ab/ha (Area1)

800 ab/ha (Area2)

800 ab/ha (Area3)

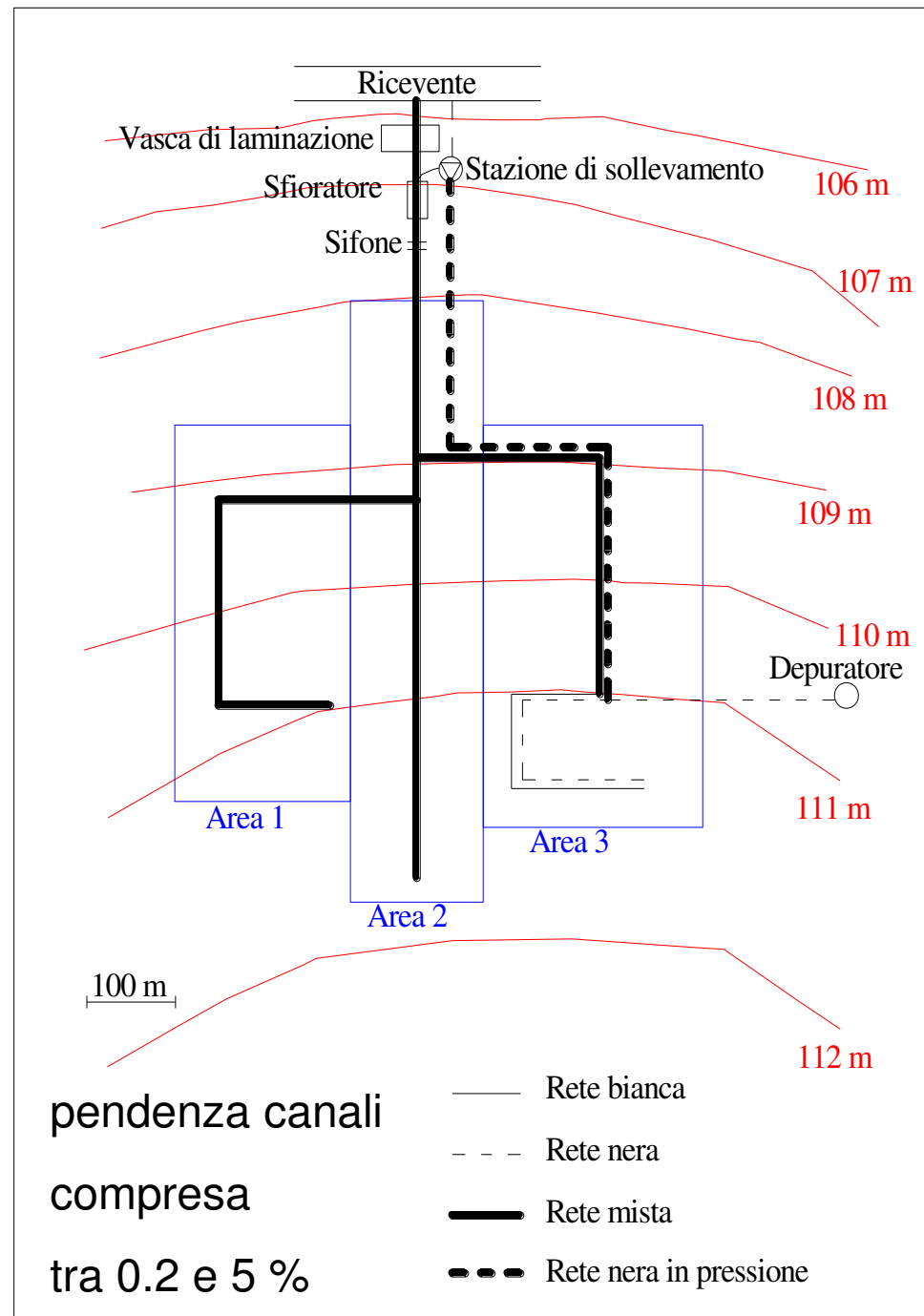
Coeff. Afflusso nera:

$\Phi = 0.85$; $K_{max} = 1.5$; $K_{min} = 0.79$

$Q_{n,max} [l/s] = K_{max} \cdot \Phi \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}$

$Q_{n,min} [l/s] = K_{min} \cdot \Phi \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}$

- Ricevente a quota $h_{max} = 102$ m



Esercitazione 3 - Testo

Dati pluviometrici:

- serie di altezze di pioggia massime annue di durata tra 5' e 45' per la costruzione delle curve di possibilità pluviometrica. Tr tra 5 e 15 anni, scelto dal progettista in funzione del rischio

Anno	Durata [min]				
	5	10	15	30	45
1989	5.65	10.65	14.85	17.05	20.95
1991	9.05	16.65	22.65	29.85	30.25
1992	4.85	10.25	12.15	21.05	23.25
1993	3.45	6.65	10.55	17.65	22.15
1994	8.05	13.25	16.75	20.65	31.35
1995	7.85	10.35	13.45	19.85	22.15
1997	7.65	16.45	21.65	38.65	41.85
1998	6.45	13.25	17.65	33.85	42.35
1999	4.85	9.45	13.45	22.85	28.85

Canali a sezione trasversale circolare – scala di deflusso normalizzata

h/D	P/D	A/D^2	R/D	V/V_r	Q/Q_r	h/D	P/D	A/D^2	R/D	V/V_r	Q/Q_r
0.05	0.45	0.015	0.033	0.257	0.005	0.55	1.67	0.443	0.265	1.039	0.586
0.10	0.64	0.041	0.064	0.401	0.021	0.60	1.77	0.492	0.278	1.072	0.672
0.15	0.80	0.074	0.093	0.517	0.049	0.65	1.88	0.540	0.288	1.099	0.756
0.20	0.93	0.112	0.121	0.615	0.088	0.70	1.98	0.587	0.296	1.120	0.837
0.25	1.05	0.153	0.147	0.701	0.137	0.75	2.09	0.632	0.302	1.133	0.912
0.30	1.16	0.198	0.171	0.776	0.196	0.80	2.21	0.674	0.304	1.140	0.977
0.35	1.27	0.245	0.193	0.843	0.263	0.85	2.35	0.711	0.303	1.137	1.030
0.40	1.37	0.293	0.214	0.902	0.337	0.90	2.50	0.744	0.298	1.124	1.066
0.45	1.47	0.343	0.233	0.954	0.416	0.95	2.69	0.771	0.286	1.095	1.074
0.50	1.57	0.393	0.250	1.000	0.500	1.00	3.14	0.785	0.250	1.000	1.000

Esercitazione 3 curve possibilità pluviometrica

Elaborazione statistica delle serie di piogge di massima intensità

media
$$x = \frac{\sum_{i=1}^N h_i}{N}$$

scarto quadratico medio
$$s_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (h_i - x)^2}{N - 1}$$

Parametri della distribuzione di Gumbel

$$P = 1 - \frac{1}{T} = e^{-e^{-\alpha(h-u)}}$$

mediante il metodo dei momenti

$$u = \mu - 0.45 \cdot s_x \quad \alpha = \frac{1.28}{s_x}$$

Per fissato T (e quindi P), per mezzo della distribuzione di Gumbel, otteniamo le altezze di pioggia corrispondenti a diverse durate: $h_5, h_{10}, h_{15}, h_{30}, h_{45}$

Anno	Durata [min]				
	5	10	15	30	45
1989	5.65	10.65	14.85	17.05	20.95
1991	9.05	16.65	22.65	29.85	30.25
1992	4.85	10.25	12.15	21.05	23.25
1993	3.45	6.65	10.55	17.65	22.15
1994	8.05	13.25	16.75	20.65	31.35
1995	7.85	10.35	13.45	19.85	22.15
1997	7.65	16.45	21.65	38.65	41.85
1998	6.45	13.25	17.65	33.85	42.35
1999	4.85	9.45	13.45	22.85	28.85

x	6.43	11.88	15.91	24.61	29.24
s_x^2	3.43	10.90	17.28	58.71	67.71
α	1.44	2.57	3.24	5.97	6.42
μ	5.59	10.40	14.04	21.16	25.54

Tab. 3.1.5: Dati di pioggia

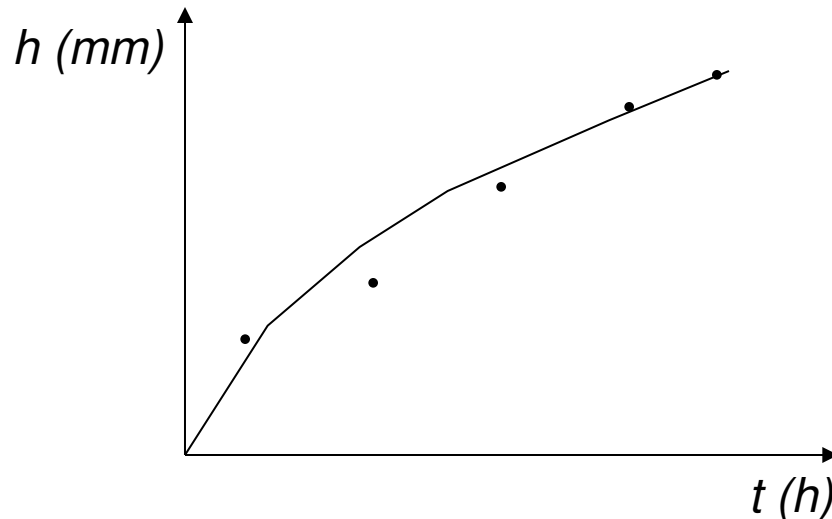
h_{T_r}	7.76	14.26	18.90	30.12	35.16
-----------	------	-------	-------	-------	-------

Esercitazione 3 curve possibilità pluviometrica

Vogliamo adesso regolarizzare una curva del tipo $h = a \cdot t^n$ che regolarizza i dati della spezzata $(5/60, h_5)$, $(10/60, h_{10})$, $(15/60, h_{15})$, $(30/60, h_{30})$, $(45/60, h_{45})$

$$h = a \cdot t^n \longrightarrow \ln h = \ln a + n \ln t \longrightarrow \begin{cases} Y = B + A \cdot X \\ A = \ln a & X = \ln t \\ B = n & Y = \ln h \end{cases}$$

Si applica la regressione lineare alle equazione trasformata ai logaritmi; si ottiene quindi il valore dei parametri A e B e quindi a e n



Esercitazione 3 – progetto rete

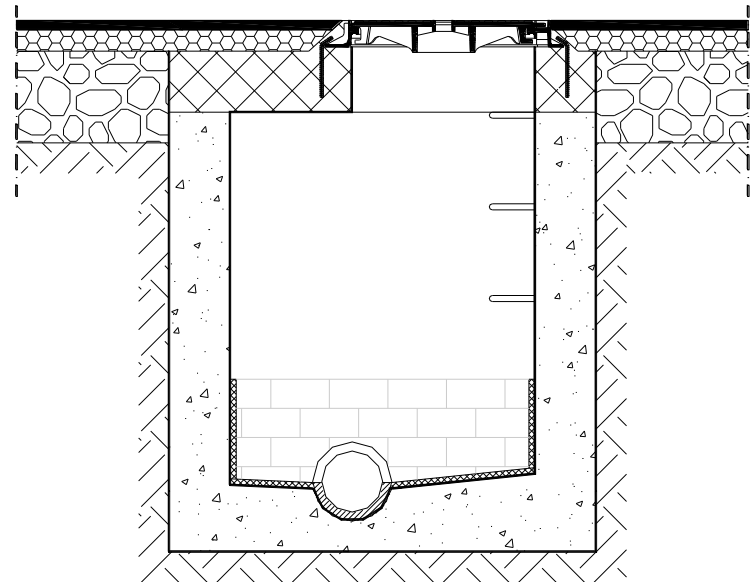
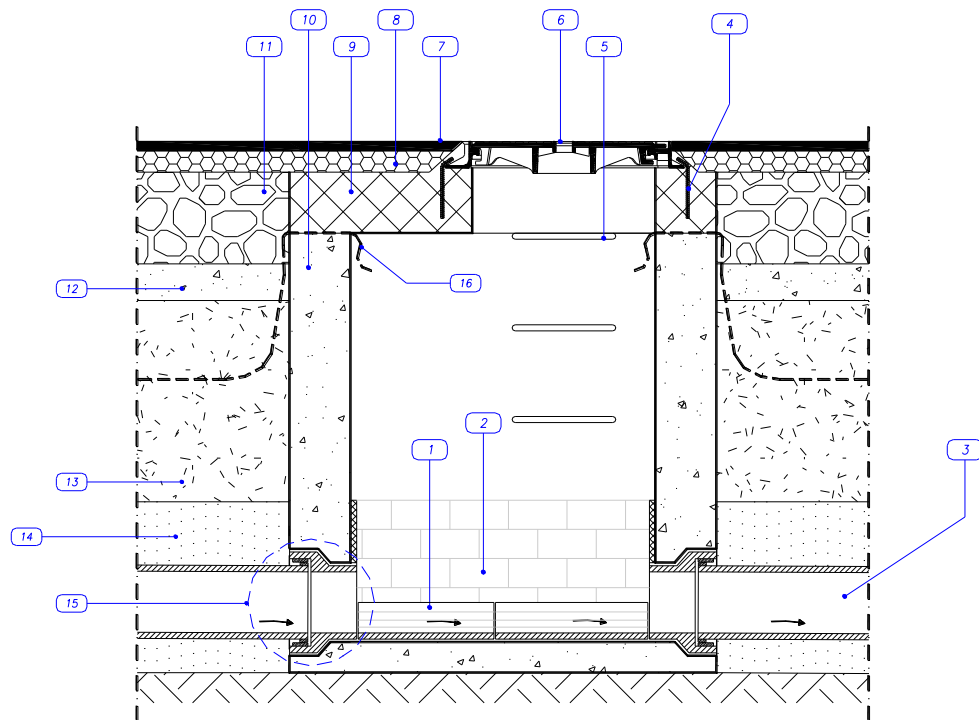
Operazioni iniziali:

- suddivisione dei tronchi fognari in tratti di lunghezza massima 100 m, che devono essere dimensionati mediante il metodo cinematico e il metodo dell'invaso; tra un tratto e il tratto successivo è necessario inserire un pozzetto con due funzioni:
 - rendere i tronchi ispezionabili;
 - consentire raccordo tra tronchi di dimensioni crescenti da monte verso valle.
- nella realtà i pozzetti sono inseriti con passo ridotto a quello considerato in questa esercitazione.
- suddivisione delle aree urbane in aree parziali, ognuna di competenza di un tratto della rete; tale operazione è necessaria per effettuare i calcoli idraulici della rete

Esercitazione 3

Pozzetto di ispezione in linea

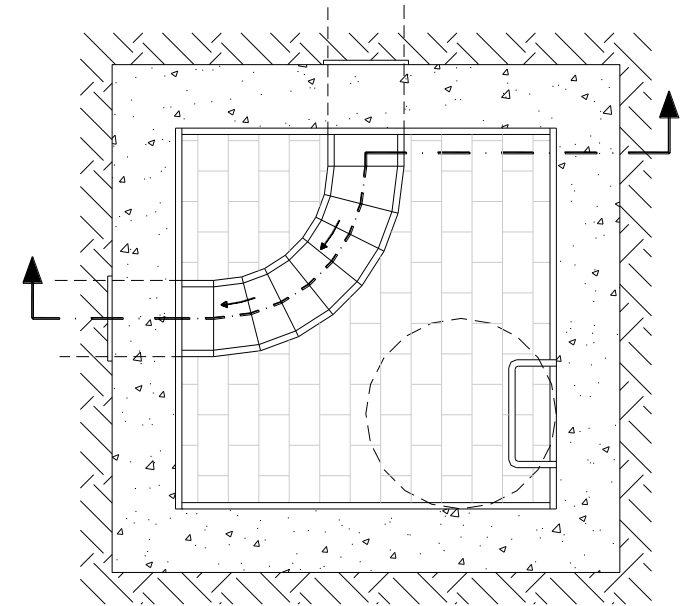
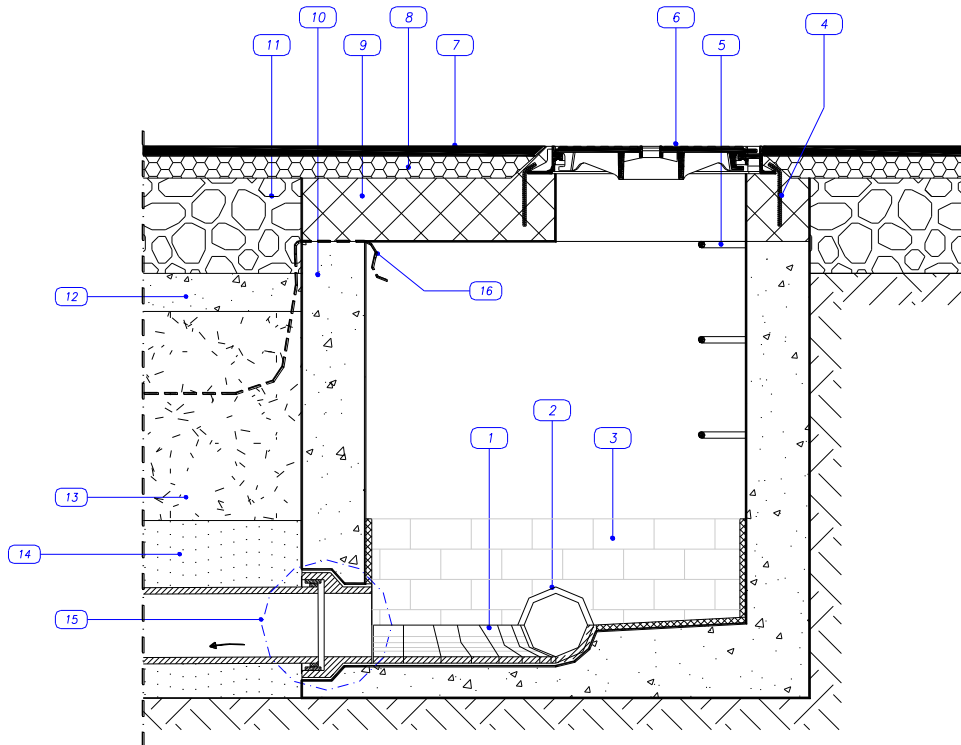
LEGENDA	
1	Fondo fognia in gres
2	Rivestimento in mattonelle gres
3	Tubo condotta fognaria
4	Fissaggi in acciaio \varnothing 10 ogni 12 cm
5	Gradino in acciaio rivestito in Polietilene
6	Chiusino in ghisa D400 - Luce \varnothing 600 mm
7	Manto d'usura
8	Binder
9	Soletta in CLS armato
10	Pozzetto in CLS
11	Fondazione stradale
12	Conglomerato cementizio
13	Rinterro con materiali provenienti dagli scavi
14	Sabbia vagliata
15	Giunto elastico
16	Nastro di segnalazione SAFER



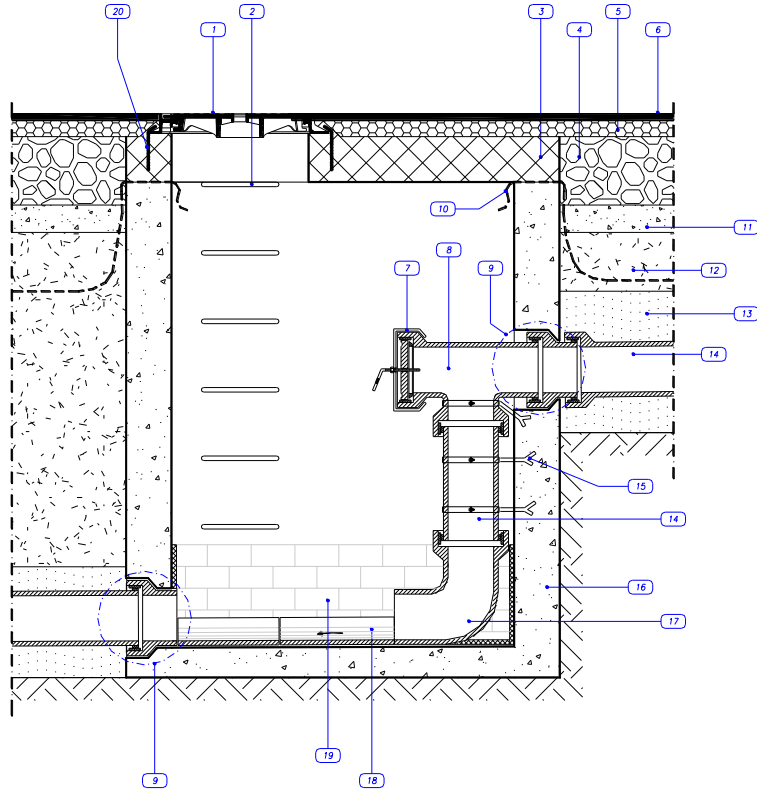
Esercitazione 3

Pozzetto di ispezione in curva

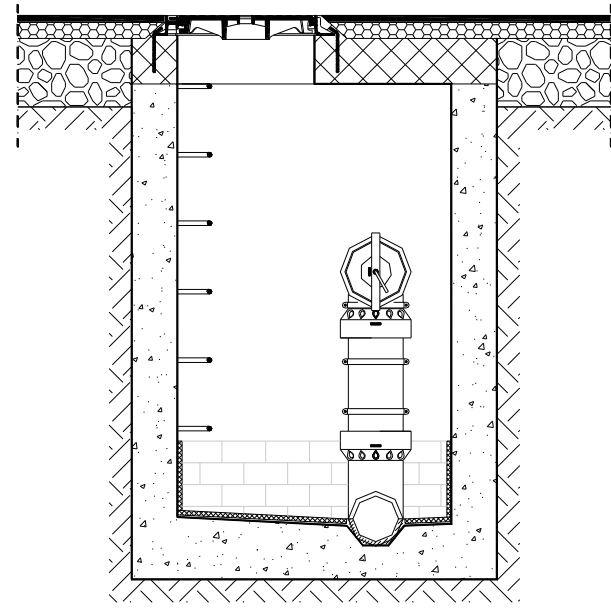
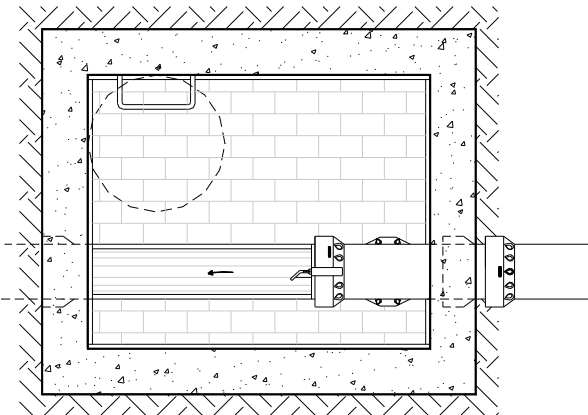
LEGENDA	
1	Fondo fognia in gres
2	Tubo condotta fognaria
3	Rivestimento in mattonelle gres
4	Fissaggi in acciaio \varnothing 10 ogni 12 cm
5	Gradino in acciaio rivestito in Polietilene
6	Chiusino in ghisa D400 - Luce \varnothing 600 mm
7	Manto d'usura
8	Binder
9	Soletta in CLS armato
10	Pozzetto in CLS
11	Fondazione stradale
12	Conglomerato cementizio
13	Rinterro con materiali provenienti dagli scavi
14	Sabbia vagliata
15	Giunto elastico
16	Nastro di segnalazione SAFER



Esercitazione 3 – Pozzetto di salto



LEGENDA	
1	Chiusino in ghisa D400 – int. 600 mm
2	Gradino in acciaio rivestito in Polietilene
3	Soletta in CLS armato
4	Fondazione stradale
5	Binder
6	Manto d'usura
7	Tappo in gres con guarnizione e serratappo
8	Tes in gres – Ø 200
9	Giunto elastico
10	Nastro di segnalazione SAFER
11	Conglomerato cementizio
12	Rinterro con materiali provenienti dagli scavi
13	Sabbia vagliata
14	Tubo in gres Ø 200
15	Collare Inox in piatto 30x3 mm
16	Pozzetto in CLS
17	Curva in gres a 90° – Ø 200
18	Fondo fogna gres
19	Rivestimento in mattonelle gres
20	Fissaggi in acciaio Ø 10 ogni 12 cm



Esercitazione 3 – Suddivisione in aree parziali

tronco	sottoarea (m ²)			Densità abitativa (ab/ha)			Abitanti	D.I. (L/ab/die)	Q (L/s)	Qn (L/s)
	Area 1	Area 2	Area 3	Area 1	Area 2	Area 3				
1-2 m	23949	0	0	600	800	800	1437	350	5.82	4.95
2-3 m	17743	0	0	600	800	800	1065	350	4.31	3.67
3-4 m	17743	0	0	600	800	800	1065	350	4.31	3.67
4-5 m	19659	0	0	600	800	800	1180	350	4.78	4.06
5-10 m	0	0	0	600	800	800	0	350	0.00	0.00
6-7 m	0	18820	0	600	800	800	1506	350	6.10	5.18
7-8 m	0	14997	0	600	800	800	1200	350	4.86	4.13
8-9 m	0	14997	0	600	800	800	1200	350	4.86	4.13
9-10 m	0	14997	0	600	800	800	1200	350	4.86	4.13
10-11 m	0	6713	0	600	800	800	537	350	2.18	1.85
14-15 b	0	0	19217					350	0.00	0.00
15-16 b	0	0	6194					350	0.00	0.00
16-17 b	0	0	5864					350	0.00	0.00
14-15 n				600	800	800	1537	350	6.23	5.29
15-16 n				600	800	800	496	350	2.01	1.71
16-17 n				600	800	800	469	350	1.90	1.62
17-18 m	0	0	28484	600	800	800	2279	350	9.23	7.85
18-19 m	0	0	24794	600	800	800	1984	350	8.04	6.83
19-20 m	0	0	13603	600	800	800	1088	350	4.41	3.75
20-21 m	0	0	7473	600	800	800	598	350	2.42	2.06
21-11 m	0	0	0	600	800	800	0	350	0.00	0.00
11-12 m	0	16670	0	600	800	800	1334	350	5.40	4.59
12-13 m	0	8337	0	600	800	800	667	350	2.70	2.30
17-27 n				0	0	0	0	350	0.00	0.00

Esercitazione 3 – Assegnazione pendenze tronchi

- bisogna considerare l'andamento altimetrico dell'area cui si riferisce il progetto
- altezza massima ricettore = 102 m; scarico a 102.20 m in sicurezza per evitare effetti di rigurgito in fognatura
- due salti di 0.5 m: il primo, partendo da valle, è in corrispondenza dello sfioratore; il canale emissario è infatti a quota più bassa del derivatore; il secondo in corrispondenza del sifone
- altri salti per allineare il tetto dei canali quando hanno diametri differenti
- pendenze dei canali comprese tra 0.2 % e 5 % al fine di garantire velocità minime e massime accettabili
- va garantita un'altezza di ricoprimento non inferiore a 1 m; gli scavi vanno contenuti al di sotto di 4 m
- per questa valutazione si ipotizza una distribuzione di diametri in rete di primo tentativo, magari andando un po' in sicurezza. Alla fine si effettua una verifica

Esercitazione 3 – Assegnazione pendenze tronchi

- scavo = quota terreno – quota fondo collettore
- ricoprimento = scavo - diametro esterno

tronco	quote terreno (m)		lunghezza (m)	pendenza collettore	D (m)	salto iniziale (m)	salto finale (m)	quote fondo collettore (m)		ricoprimento (m)		scavo (m)	
	iniziale	finale						iniziale	finale	iniziale	finale	iniziale	finale
14-15 b	111.37	111.39	150.00	0.0020	0.70	0.00	0.00	109.11	108.81	1.56	1.88	2.26	2.58
15-16 b	111.39	111.01	100.00	0.0038	0.70	0.00	0.10	108.81	108.43	1.88	1.88	2.58	2.58
16-17 b	111.01	111.00	100.00	0.0020	0.80	0.00	0.00	108.33	108.13	1.88	2.08	2.68	2.88
17-18 m	111.00	110.17	100.00	0.0083	0.80	0.00	0.10	108.13	107.30	2.08	2.08	2.88	2.88
18-19 m	110.17	109.35	100.00	0.0082	0.90	0.00	0.20	107.20	106.38	2.08	2.08	2.98	2.98
19-20 m	109.35	108.98	93.96	0.0040	1.10	0.00	0.20	106.18	105.80	2.08	2.08	3.18	3.18
20-21 m	108.98	108.97	87.91	0.0020	1.30	0.00	0.00	105.60	105.42	2.08	2.25	3.38	3.55
21-11 m	108.97	108.96	74.88	0.0020	1.30	0.00	0.20	105.42	105.27	2.25	2.39	3.55	3.69
1-2 m	110.97	110.66	126.08	0.0024	0.80	0.00	0.00	108.37	108.07	1.79	1.79	2.59	2.59
2-3 m	110.66	109.93	108.76	0.0067	0.80	0.00	0.10	108.07	107.34	1.79	1.79	2.59	2.59
3-4 m	109.93	109.15	108.77	0.0072	0.90	0.00	0.30	107.24	106.46	1.79	1.79	2.69	2.69
4-5 m	109.15	109.27	148.73	0.0020	1.20	0.00	0.00	106.16	105.86	1.79	2.21	2.99	3.41
5-10 m	109.27	109.30	75.09	0.0020	1.20	0.00	0.00	105.86	105.71	2.21	2.39	3.41	3.59
6-7 m	111.73	111.34	100.00	0.0038	0.70	0.00	0.10	108.64	108.26	2.39	2.39	3.09	3.09
7-8 m	111.34	110.92	100.00	0.0043	0.80	0.00	0.00	108.16	107.73	2.39	2.39	3.19	3.19
8-9 m	110.92	110.09	100.00	0.0082	0.80	0.00	0.10	107.73	106.90	2.39	2.39	3.19	3.19
9-10 m	110.09	109.30	100.00	0.0079	0.90	0.00	0.30	106.80	106.01	2.39	2.39	3.29	3.29
10-11 m	109.30	108.96	44.76	0.0076	1.20	0.00	0.30	105.71	105.37	2.39	2.39	3.59	3.59
11-12 m	108.96	108.33	111.16	0.0057	1.50	0.00	0.00	105.07	104.44	2.39	2.39	3.89	3.89
12-13 m	108.33	108.02	55.59	0.0057	1.50	0.00	0.00	104.44	104.13	2.39	2.39	3.89	3.89
13-22 m	108.02	107.66	44.10	0.0048	1.50	0.00	0.00	104.13	103.92	2.39	2.24	3.89	3.74
22-23 m	107.66	107.51	18.00	0.0000	1.50	0.50	0.00	103.92	103.42	2.24	2.59	3.74	4.09
23-24 m	107.51	107.04	55.89	0.0048	1.50	0.00	0.00	103.42	103.15	2.59	2.39	4.09	3.89
24-25 m	107.04	106.32	53.95	0.0048	1.50	0.50	0.00	103.15	102.39	2.39	2.43	3.89	3.93
25-26 m	106.32		39.75	0.0048	1.50	0.00	0.00	102.39	102.20	2.43		3.93	

- Nel presente progetto scavo massimo 4.09 m
- Nel presente progetto ricoprimento minimo 2.26 m

Esercitazione 3 – calcoli iniziali

tronco	area parziale A_i (m ²)	IMP	area parziale imp. IMP _i Ai (m ²)	coef. ϕ	area parziale contrib. ϕ_i Ai (m ²)	tronchi a monte	area totale ΣA_i (m ²)	area totale contrib. $\Sigma \phi_i A_i$ (m ²)	area totale imp. $\Sigma IMP_i A_i$ (m ²)	Qn (l/s)	Qn,max (l/s)	Qn,min (l/s)	Qn,max,tot (l/s)	Qn,min,tot (l/s)
14-15 b	19217	0.80	15374	0.66	12683	----	19217	12683	15374	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
15-16 b	6194	0.80	4956	0.66	4088	14-15 b	25412	16772	20329	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
16-17 b	5864	0.80	4691	0.66	3870	15-16 b	31276	20642	25020	0.00	0.00	0.00	0.0	0.0
17-18 m	28484	0.80	22787	0.66	18799	16-17 b	59760	39441	47808	7.85	11.77	6.20	11.8	6.2
18-19 m	24794	0.80	19835	0.66	16364	17-18 m	84554	55806	67643	6.83	10.24	5.40	22.0	11.6
19-20 m	13603	0.80	10883	0.66	8978	18-19 m	98157	64784	78526	3.75	5.62	2.96	27.6	14.6
20-21 m	7473	0.80	5978	0.66	4932	19-20 m	105630	69716	84504	2.06	3.09	1.63	30.7	16.2
21-11 m	0	0.80	0	0.66	0	20-21 m	105630	69716	84504	0.00	0.00	0.00	30.7	16.2
1-2 m	23949	0.80	19159	0.66	15806	----	23949	15806	19159	4.95	7.42	3.91	7.4	3.9
2-3 m	17743	0.80	14194	0.66	11710	1-2 m	41692	27517	33353	3.67	5.50	2.90	12.9	6.8
3-4 m	17743	0.80	14194	0.66	11710	2-3 m	59435	39227	47548	3.67	5.50	2.90	18.4	9.7
4-5 m	19659	0.80	15727	0.66	12975	3-4 m	79094	52202	63275	4.06	6.09	3.21	24.5	12.9
5-10 m	0	0.80	0	0.66	0	4-5 m	79094	52202	63275	0.00	0.00	0.00	24.5	12.9
6-7 m	18820	0.80	15056	0.66	12421	----	18820	12421	15056	5.18	7.78	4.10	7.78	4.10
7-8 m	14997	0.80	11997	0.66	9898	6-7 m	33817	22319	27054	4.13	6.20	3.26	13.97	7.36
8-9 m	14997	0.80	11997	0.66	9898	7-8 m	48814	32217	39051	4.13	6.20	3.26	20.17	10.62
9-10 m	14997	0.80	11997	0.66	9898	8-9 m	63811	42115	51049	4.13	6.20	3.26	26.37	13.89
10-11 m	6713	0.80	5370	0.66	4431	9-10 m, 5-10 m	149618	98748	119694	1.85	2.77	1.46	53.65	28.26
11-12 m	16670	0.80	13336	0.66	11003	10-11 m, 21-11 m	271918	179466	217534	4.59	6.89	3.63	91.26	48.06
12-13 m	8337	0.80	6670	0.66	5503	11-12 m	280255	184968	224204	2.30	3.44	1.81	94.71	49.88
13-26 m	0	0.80	0	0.66	0	12-13 m	280255	184968	224204	0	0	0	94.71	49.88

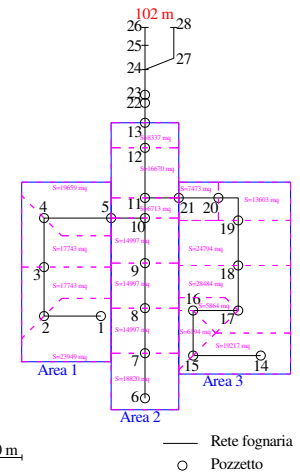
Esercitazione 3 – metodo cinematico

$$Q_c \left[\text{m}^3/\text{s} \right] = \frac{\varphi \cdot A [\text{ha}] \cdot i_c \left[\text{mm}/\text{h} \right]}{360}$$

dove l'intensità critica i_c si ottiene dalla c.p.p. considerando il tempo t_c

$$i_c \left(\text{mm}/\text{h} \right) = a \cdot \left(t_c \left[\text{h} \right] \right)^{n-1}$$

con il tempo t_c dato da: $t_c \left(\text{mm}/\text{h} \right) = t_a + \frac{\sum t_r}{1.5}$ → sommatoria nel percorso più lungo di:
 $t_r = \frac{L}{V_p}$



tronco	tronchi a monte	lunghezza (m)	pendenza	D (m)	Vp (m/s)	Qp (m³/s)	ta (sec)	tr (sec)	Σ tr (sec)	tc (sec)	i (mm/h)	Qc (m³/s)	Qmax (m³/s)	Qmax/Qp	h/d	V/Vp	V (m/s)	Qn,min/Qp	Vn,min/Vp	Vmin (m/s)
14-15 b	-----	150	0.0020	0.70	0.98	0.38	300	153	153	402	91.80	0.32	0.32	0.86	0.72	1.12	1.10	0.00	0.00	0.00
15-16 b	14-15 b	100	0.0038	0.70	1.35	0.52	300	74	227	451	88.57	0.41	0.41	0.79	0.67	1.11	1.50	0.00	0.00	0.00
16-17 b	15-16 b	100	0.0020	0.80	1.07	0.54	300	93	321	514	85.09	0.49	0.49	0.91	0.75	1.13	1.21	0.00	0.00	0.00
17-18 m	16-17 b	100	0.0083	0.80	2.18	1.10	300	46	366	544	83.58	0.92	0.93	0.85	0.71	1.12	2.45	0.006	0.27	0.58
18-19 m	17-18 m	100	0.0082	0.90	2.34	1.49	300	42.7	409	573	82.27	1.28	1.30	0.87	0.72	1.13	2.64	0.008	0.28	0.67
19-20 m	18-19 m	94	0.0040	1.10	1.88	1.78	300	50	459	606	80.84	1.45	1.48	0.83	0.70	1.12	2.10	0.008	0.28	0.53
20-21 m	19-20 m	88	0.0020	1.30	1.48	1.96	300	59.4	518	646	79.27	1.54	1.57	0.80	0.68	1.11	1.64	0.008	0.28	0.42
21-11 m	20-21 m	75	0.0020	1.30	1.48	1.96	300	50.6	569	646	79.27	1.54	1.57	0.80	0.68	1.11	1.64	0.008	0.28	0.42
1-2 m	-----	126	0.0024	0.80	1.18	0.59	300	107	107	371	94.11	0.41	0.42	0.71	0.62	1.08	1.28	0.007	0.28	0.33
2-3 m	1-2 m	109	0.0067	0.80	1.96	0.98	300	55.6	162	408	91.38	0.70	0.71	0.72	0.63	1.09	2.13	0.007	0.28	0.54
3-4 m	2-3 m	109	0.0072	0.90	2.19	1.39	300	49.6	212	441	89.20	0.97	0.99	0.71	0.62	1.08	2.38	0.007	0.28	0.60
4-5 m	3-4 m	149	0.0020	1.20	1.40	1.59	300	106	318	512	85.18	1.24	1.26	0.79	0.67	1.11	1.55	0.008	0.28	0.39
5-10 m	4-5 m	75	0.0020	1.20	1.40	1.59	300	53.5	371	371	94.11	1.24	1.26	0.79	0.67	1.11	1.55	0.008	0.28	0.39
6-7 m	-----	100	0.0038	0.70	1.35	0.52	300	74	74	349	95.90	0.33	0.34	0.65	0.59	1.06	1.44	0.008	0.28	0.38
7-8 m	6-7 m	100	0.0043	0.80	1.56	0.79	300	64	138	392	92.54	0.57	0.59	0.75	0.65	1.10	1.72	0.009	0.29	0.46
8-9 m	7-8 m	100	0.0082	0.80	2.17	1.09	300	46	184	423	90.40	0.81	0.83	0.76	0.65	1.10	2.39	0.010	0.30	0.66
9-10 m	8-9 m	100	0.0079	0.90	2.30	1.46	300	43.4	227	451	88.56	1.04	1.06	0.73	0.63	1.09	2.51	0.009	0.29	0.67
10-11 m	9-10 m, 5-10 m	45	0.0076	1.20	2.73	3.08	300	16.4	388	559	82.91	2.27	2.33	0.75	0.65	1.10	3.00	0.009	0.29	0.80
11-12 m	10-11 m, 21-11 m	111	0.0057	1.50	2.74	4.84	300	40.6	610	706	77.09	3.84	3.93	0.81	0.68	1.11	3.05	0.010	0.30	0.83
12-13 m	11-12 m	56	0.0057	1.50	2.74	4.84	300	20.3	630	720	76.64	3.94	4.03	0.83	0.70	1.12	3.06	0.010	0.30	0.83
13-26 m	12-13 m	212	0.0048	1.50	2.52	4.45	300	106	736	842	76.64	4.03	4.03	0.91	0.75	1.13	2.86	0.011	0.31	0.78

Esercitazione 3 – metodo dell'invaso lineare

$$Q_c \left[\text{m}^3/\text{s} \right] = \frac{\varphi \cdot A [\text{ha}] \cdot a \cdot (\theta_{cr} [h])^{n-1} \left(1 - e^{-\frac{\theta_{cr}}{k}} \right)}{360}$$

dove la durata critica è data da:

$$\theta_{cr} [h] = c \cdot k [h] \quad \text{in cui } c \text{ si trova risolvendo l'equazione implicita } n = 1 - c \frac{e^{-c}}{1 - e^{-c}}$$

Nel metodo URBIS, si ha:

$$k [h] = 0.7 \cdot T_c [h]$$

tronco	tronchi a monte	lunghezza	pendenza	D (m)	Vp (m/s)	Qp (m ³ /s)	ta (sec)	tr (sec)	Σ tr (sec)	tc (sec)	K (s)	θcr (s)	Qc (m ³ /s)	Qmax (m ³ /s)	Qmax/Qp	h/d	V/Vp	V (m/s)	Qn,min/Qp	Vn,min/Vp	Vmin (m/s)
14-15 b	-----	150	0.0020	0.70	0.98	0.38	300	153	153	402	281	567	0.25	0.25	0.67	0.60	1.07	1.05	0.00	0.00	0.00
15-16 b	14-15 b	100	0.0038	0.70	1.35	0.52	300	74	227	451	316	637	0.32	0.32	0.62	0.57	1.05	1.42	0.00	0.00	0.00
16-17 b	15-16 b	100	0.0020	0.80	1.07	0.54	300	93	321	514	360	724	0.38	0.38	0.71	0.62	1.08	1.16	0.00	0.00	0.00
17-18 m	16-17 b	100	0.0083	0.80	2.18	1.10	300	46	366	544	381	768	0.71	0.73	0.66	0.59	1.07	2.33	0.006	0.27	0.58
18-19 m	17-18 m	100	0.0082	0.90	2.34	1.49	300	42.7	409	573	401	808	0.99	1.02	0.68	0.60	1.07	2.52	0.008	0.28	0.66
19-20 m	18-19 m	94	0.0040	1.00	1.76	1.38	300	53.3	462	608	426	858	1.13	1.16	0.84	0.70	1.12	1.97	0.011	0.31	0.55
20-21 m	19-20 m	88	0.0020	1.20	1.40	1.59	300	62.7	525	650	455	917	1.19	1.22	0.77	0.66	1.10	1.55	0.010	0.30	0.42
21-11 m	20-21 m	75	0.0020	1.20	1.40	1.59		53.4	578				1.19	1.22	0.77	0.66	1.10	1.55	0.010	0.30	0.42
1-2 m	-----	126	0.0024	0.70	1.08	0.42	300	117	117	378	264	533	0.32	0.33	0.79	0.67	1.11	1.20	0.009	0.29	0.32
2-3 m	1-2 m	109	0.0067	0.70	1.79	0.69	300	60.7	177	418	293	590	0.54	0.55	0.80	0.68	1.11	1.99	0.010	0.30	0.54
3-4 m	2-3 m	109	0.0072	0.80	2.03	1.02	300	53.7	231	454	318	640	0.75	0.77	0.76	0.65	1.10	2.23	0.010	0.30	0.61
4-5 m	3-4 m	149	0.0020	1.20	1.40	1.59	300	106	337	525	367	740	0.95	0.98	0.62	0.57	1.05	1.48	0.008	0.28	0.40
5-10 m	4-5 m	75	0.0020	1.20	1.40	1.59		53.5	391				0.95	0.98	0.62	0.57	1.05	1.48	0.008	0.28	0.40
6-7 m	-----	100	0.0038	0.60	1.22	0.35	300	82	82	355	248	500	0.26	0.26	0.77	0.66	1.10	1.35	0.012	0.32	0.39
7-8 m	6-7 m	100	0.0043	0.80	1.56	0.79	300	64	146	397	278	560	0.45	0.46	0.58	0.55	1.04	1.62	0.009	0.29	0.46
8-9 m	7-8 m	100	0.0082	0.80	2.17	1.09	300	46	192	428	299	603	0.63	0.65	0.59	0.55	1.04	2.26	0.010	0.30	0.66
9-10 m	8-9 m	100	0.0079	0.80	2.13	1.07	300	47	239	459	321	648	0.80	0.83	0.78	0.66	1.11	2.35	0.013	0.33	0.70
10-11 m	9-10 m, 5-10 m	45	0.0076	1.20	2.73	3.08	300	16.4	407	571	400	806	1.76	1.81	0.59	0.55	1.04	2.84	0.009	0.29	0.80
11-12 m	10-11 m, 21-11 m	111	0.0057	1.40	2.62	4.03	300	42.5	621	714	500	1007	2.98	3.08	0.76	0.65	1.10	2.88	0.012	0.32	0.84
12-13 m	11-12 m	56	0.0057	1.40	2.62	4.03	300	21.2	642	728	510	1027	3.06	3.15	0.78	0.66	1.11	2.89	0.012	0.32	0.84
13-26 m	12-13 m	212	0.0048	1.40	2.41	3.71								3.15	0.85	0.71	1.12	2.70	0.013	0.33	0.79

Esercitazione 3 – metodo dell'invaso lineare

Nel metodo italiano, si ha:

$$k[h] = \frac{I}{3600} \frac{W_0 [m^3] + 0.8(W_{rm} [m^3] + W_{rc} [m^3])}{Q_p [m^3/s]}$$

$W_0 = 10 \div 15 \text{ m}^3/\text{ha}$ superficie impermeabile

$W_{rm} = \Sigma A_p \times L$ nei tronchi a monte

$W_{rm} = A_p \times L$ nel tronco che si sta dimensionando

N.B.:

$$W_m(10-11) = W_c(9-10) + W_m(9-10) + W_c(5-10) + W_m(5-10)$$

$$W_m(11-12) = W_c(10-11) + W_m(10-11) + W_c(21-11) + W_m(21-11)$$

tronco	tronchi a monte	lunghezza	pendenza	D (m)	Vp (m/s)	Qp (m ³ /s)	Ap (m ²)	W _t (m ³)	W ₀ (m ³)	W _m (m ³)	K (s)	θ _{cr} (s)	Q _c (m ³ /s)	Q _{max} (m ³ /s)	Q _{max} /Q _p	h/d	V/Vp	V (m/s)	Q _{n,min} /Q _p	V _{n,min} /Vp	V _{min} (m/s)
14-15 b	----	150	0.0020	0.70	0.98	0.38	0.38	58	15	0	163	329	0.30	0.30	0.79	0.67	1.11	1.09	0.00	0.00	0.00
15-16 b	14-15 b	100	0.0038	0.70	1.35	0.52	0.38	38	20	58	187	377	0.38	0.38	0.73	0.63	1.09	1.47	0.00	0.00	0.00
16-17 b	15-16 b	100	0.0020	0.80	1.07	0.54	0.50	50	25	96	264	532	0.42	0.42	0.78	0.66	1.11	1.18	0.00	0.00	0.00
17-18 m	16-17 b	100	0.0083	0.80	2.18	1.10	0.50	50	48	146	187	377	0.89	0.90	0.82	0.69	1.12	2.44	0.006	0.27	0.58
18-19 m	17-18 m	100	0.0082	0.90	2.34	1.49	0.64	64	68	197	185	373	1.26	1.28	0.86	0.72	1.12	2.63	0.008	0.28	0.67
19-20 m	18-19 m	94	0.0040	1.10	1.88	1.78	0.95	89	79	260	201	404	1.43	1.46	0.82	0.69	1.12	2.10	0.008	0.28	0.53
20-21 m	19-20 m	88	0.0020	1.30	1.48	1.96	1.33	117	85	349	233	469	1.47	1.50	0.76	0.65	1.10	1.63	0.008	0.28	0.42
21-11 m	20-21 m	75	0.0020	1.30	1.48	1.96	1.33	99	85	466			1.47	1.50	0.76	0.65	1.10	1.63	0.008	0.28	0.42
1-2 m	----	126	0.0024	0.80	1.18	0.59	0.50	63	19	0	118	237	0.41	0.42	0.71	0.62	1.08	1.28	0.007	0.28	0.33
2-3 m	1-2 m	109	0.0067	0.80	1.96	0.98	0.50	55	33	63	130	262	0.69	0.71	0.72	0.63	1.09	2.13	0.007	0.28	0.54
3-4 m	2-3 m	109	0.0072	0.90	2.19	1.39	0.64	69	48	118	142	285	0.96	0.98	0.71	0.62	1.08	2.38	0.007	0.28	0.60
4-5 m	3-4 m	149	0.0020	1.20	1.40	1.59	1.13	168	63	187	219	441	1.12	1.15	0.72	0.63	1.09	1.53	0.008	0.28	0.39
5-10 m	4-5 m	75	0.0020	1.20	1.40	1.59	1.13	85	63	355			1.12	1.15	0.72	0.63	1.09	1.53	0.008	0.28	0.39
6-7 m	----	100	0.0038	0.70	1.35	0.52	0.38	38	15	0	88	177	0.35	0.36	0.69	0.61	1.08	1.46	0.008	0.28	0.38
7-8 m	6-7 m	100	0.0043	0.80	1.56	0.79	0.50	50	27	38	125	251	0.57	0.58	0.74	0.64	1.09	1.71	0.009	0.29	0.46
8-9 m	7-8 m	100	0.0082	0.80	2.17	1.09	0.50	50	39	89	138	277	0.80	0.82	0.75	0.65	1.10	2.38	0.010	0.30	0.66
9-10 m	8-9 m	100	0.0079	0.90	2.30	1.46	0.64	64	51	139	145	293	1.03	1.05	0.72	0.63	1.09	2.50	0.009	0.29	0.67
10-11 m	9-10 m, 5-10 m	45	0.0076	1.20	2.73	3.08	1.13	51	120	643	219	441	2.12	2.17	0.71	0.62	1.08	2.95	0.009	0.29	0.80
11-12 m	10-11 m, 21-11 m	111	0.0057	1.50	2.74	4.84	1.77	196	218	1244	283	570	3.56	3.65	0.75	0.65	1.10	3.01	0.010	0.30	0.83
12-13 m	11-12 m	56	0.0057	1.50	2.74	4.84	1.77	98	224	1440	301	606	3.60	3.70	0.76	0.65	1.10	3.01	0.010	0.30	0.83
13-26 m	12-13 m	212	0.0048	1.50	2.52	4.45							3.70	0.83	0.70	1.12	2.82	0.011	0.31	0.78	

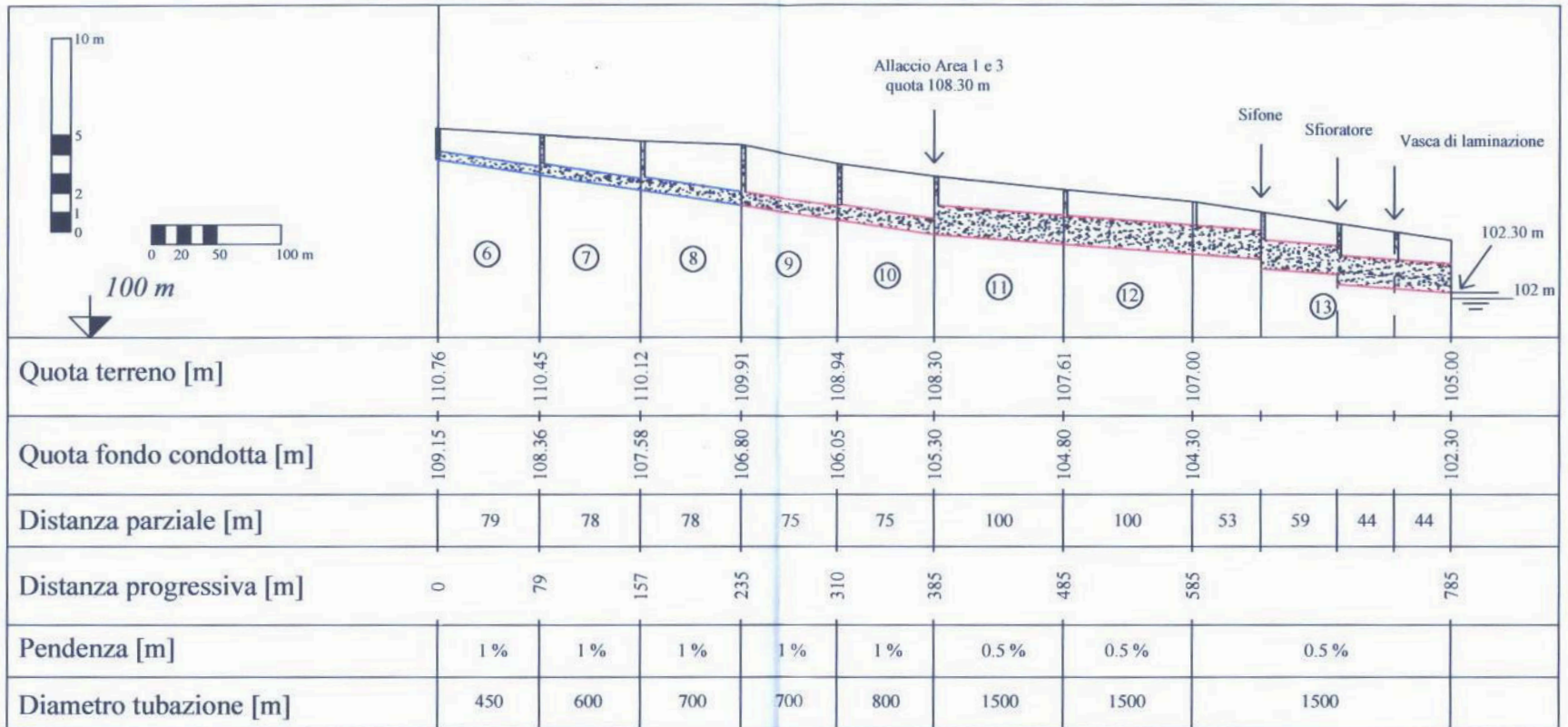
Esercitazione 3 – fognatura nera

$$Q_{n,\max} \text{ [l/s]} = K_{\max} \cdot \Phi \cdot \frac{D \cdot I \cdot N_{ab}}{86400}$$

$$Q_{n,\min} \text{ [l/s]} = K_{\min} \cdot \Phi \cdot \frac{D \cdot I \cdot N_{ab}}{86400}$$

tronco	Qn (l/s)	Qn,max (l/s)	Qn,min (l/s)	lunghezza	pendenza	Qn,max,tot (l/s)	Qn,min,tot (l/s)	D (m)	Vp (m/s)	Qp (m ³ /s)	Qmax/Qp	h/d	V/Vp	V (m/s)	Qn,min/Qp	Vn,min/Vp	Vmin (m/s)
14-15 n	5.29	7.94	4.18	150	0.0020	7.94	4.18	0.19	0.41	0.01	0.68	0.49	0.99	0.41	0.359	0.83	0.34
15-16 n	1.71	2.56	1.35	100	0.0038	10.50	5.53	0.19	0.57	0.02	0.65	0.59	1.064	0.60	0.344	0.91	0.51
16-17 n	1.62	2.42	1.28	100	0.0020	12.92	6.81	0.30	0.56	0.04	0.33	0.40	0.902	0.50	0.173	0.92	0.51

Esercitazione 3 – esempio di profilo longitudinale



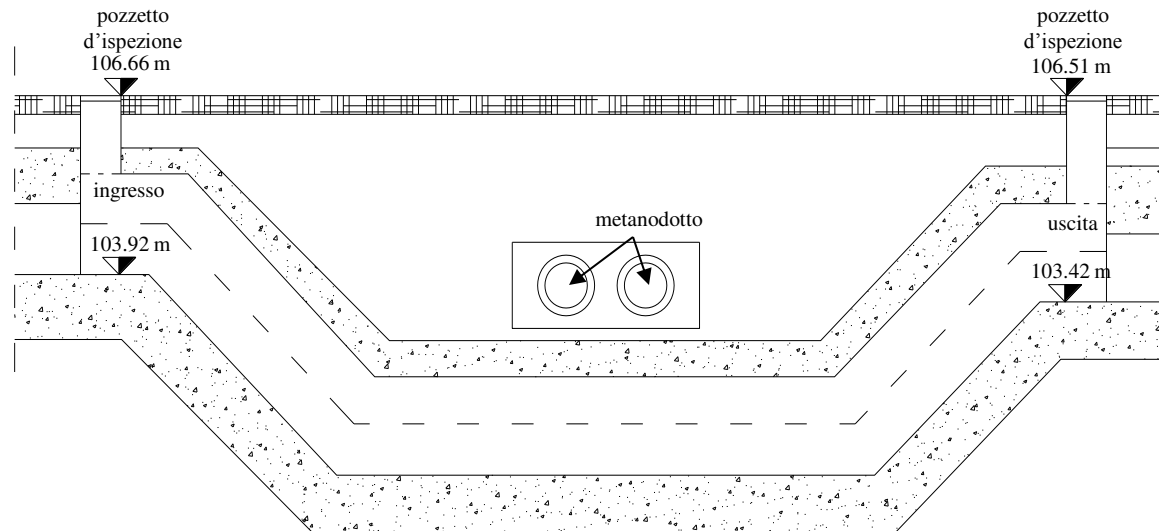
- attenzione: i colleghi degli anni precedenti hanno allineato il fondo dei canali mentre voi dovete allineare il tetto

Esercitazione 3 – Sifone rovescio

- lungo il percorso del collettore terminale si trova un metanodotto; per superare l'ostacolo si posiziona un sifone rovescio
- in corrispondenza del sifone si ha passaggio da corrente a superficie libera a corrente in pressione
- nel caso di fognatura mista, costituito da due tubazioni: una di D_{min} per la $Q_{n,min}$ e l'altra di D_{max} per le portate eccedenti
- velocità tra 0.6 m/s e 3 m/s

Esercitazione 3 – Sifone rovescio

- nel caso in esame $\Delta h_g = 0.50$ m
- sifone costituito da due tratti inclinati a 45° di lunghezza 4 m e un tratto sub-orizzontale di lunghezza 10 m, per una lunghezza complessiva di 18 m



Esercitazione 3 – Sifone rovescio

- progetto tubazione D_{min}

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4Q_{n,min}}{\pi \cdot V_{min}}}$$

- si prende poi il diametro commerciale $D_{c,min}$ immediatamente inferiore di area trasversale A_{min}

$$A_{min} = \frac{\pi \cdot D_{c,min}^2}{4}$$

- perdita di carico totale mediante l'equazione del moto

$$\Delta h_{min} = J_{min} L + K \frac{Q_{min}^2}{2 \cdot g \cdot A_{min}^2} \leq \Delta h_g \quad \text{dove} \quad J_{min} = \frac{Q_{min}^2}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,min}}{4} \right)^{4/3} A_{min}^2}$$

K somma di imbocco, 2 gomiti e sbocco ($K_f=0.5$, 2×0.5 , 0.5) può essere cautelativamente posto pari a 4

Esercitazione 3 – Sifone rovescio

- progetto tubazione D_{max}

$$D_{max} = \sqrt{\frac{4Q_{max}}{\pi \cdot V_{max}}}$$

- si prende poi il diametro commerciale $D_{c,max}$ immediatamente superiore di area trasversale A_{max}

$$A_{max} = \frac{\pi \cdot D_{c,max}^2}{4}$$

- perdita di carico totale mediante l'equazione del moto

$$\Delta h_{max} = J_{max} L + K \frac{Q_{max}^2}{2 \cdot g \cdot A_{max}^2} \leq \Delta h_g \quad \text{dove} \quad J_{max} = \frac{Q_{max}^2}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,max}}{4} \right)^{4/3} A_{max}^2}$$

K somma di imbocco, 2 gomiti e sbocco ($K_f=0.5$, 2×0.5 , 0.5) può essere cautelativamente posto pari a 4

- anche se Δh_{max} è di poco superiore, il D_{max} può essere provato in verifica

Esercitazione 3 – Verifica al funzionamento per Q_{max}

- Δh è lo stesso per entrambe le condotte in parallelo

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta h = J_{max} L + K \frac{Q_1^2}{2 \cdot g \cdot A_{max}^2} \quad \text{equazione del moto condotta con } D_{c,max} \\ \Delta h = J_{min} L + K \frac{Q_2^2}{2 \cdot g \cdot A_{min}^2} \quad \text{equazione del moto condotta con } D_{c,min} \\ Q_{max} = Q_1 + Q_2 \quad \text{equazione di continuità} \end{array} \right. \longrightarrow Q_1 = Q_{max} - Q_2$$

$$\frac{(Q_{max} - Q_2)^2}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,max}}{4} \right)^{4/3} A_{max}^2} L + K \frac{(Q_{max} - Q_2)^2}{2 \cdot g \cdot A_{max}^2} = \frac{Q_2^2}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,min}}{4} \right)^{4/3} A_{min}^2} L + K \frac{Q_2^2}{2 \cdot g \cdot A_{min}^2}$$

- ponendo $C_{max} = \frac{L}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,max}}{4} \right)^{4/3} A_{max}^2} + \frac{K}{2 \cdot g \cdot A_{max}^2}$ $C_{min} = \frac{L}{k_s^2 \left(\frac{D_{c,min}}{4} \right)^{4/3} A_{min}^2} + \frac{K}{2 \cdot g \cdot A_{min}^2}$

$$C_{max} (Q_{max} - Q_2)^2 = C_{min} Q_2^2$$

$$\sqrt{C_{max}} (Q_{max} - Q_2) = \sqrt{C_{min}} Q_2$$

$$\sqrt{C_{max}} (Q_{max} - Q_2) = -\sqrt{C_{min}} Q_2$$

$$Q_2 = \frac{\sqrt{C_{max}}}{\sqrt{C_{max}} + \sqrt{C_{min}}} Q_{max}$$

~~$$Q_2 = \frac{\sqrt{C_{max}}}{\sqrt{C_{max}} - \sqrt{C_{min}}} Q_{max}$$~~

$$Q_1 = \frac{\sqrt{C_{min}}}{\sqrt{C_{max}} + \sqrt{C_{min}}} Q_{max} \rightarrow \Delta h = C_{max} Q_1^2 = C_{min} Q_2^2$$

Esercitazione 3 – Sifone rovescio

- calcoli per $Q_{max}=4.03 \text{ m}^3/\text{s}$ e $Q_{n,min}=0.04988 \text{ m}^3/\text{s}$ ($L=18 \text{ m}$, $Ks=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ e $K=4$)
- $D_{min}=0.3 \text{ m}$ e $D_{max}=1.30 \text{ m}$
- Per rispettare il vincolo su ΔH si porta D_{max} a 1.90 m
- A questo punto la procedura di verifica porta a:

condotta piccola $Q=0.08048 \text{ m}^3/\text{s}$; $V=1.14 \text{ m/s}$

condotta grande $Q=3.95 \text{ m}^3/\text{s}$; $V=1.39 \text{ m/s}$

$\Delta H=0.4148 \text{ m/s}$