

**Esercizio n°1 (punti 5)**

Un impianto di sollevamento (vedi figura 1) è costituito da una pompa che solleva acqua da un serbatoio A posizionato a 10 m s.l.m. e con la superficie libera a contatto con l'atmosfera. La curva caratteristica della pompa è rappresentata dall'equazione  $H=r-sQ^2$  con  $r=20$  m e  $s=180$  s<sup>2</sup>/m<sup>5</sup>. In corrispondenza del punto N (quota 16 m s.l.m.), la tubazione di mandata della pompa si biforca in due tubazioni NC e ND, collegate rispettivamente ai serbatoi C (quota 20 m s.l.m.) e D (quota 18 m s.l.m.). Nella tubazione ND è posizionata una saracinesca. Le tubazioni hanno le caratteristiche riportate in tabella 1.

L'impianto lavora in due differenti condizioni di funzionamento:

- condizione 1 – saracinesca in ND aperta (perdita di carico localizzata trascurabile);
- condizione 2 – saracinesca in ND parzialmente chiusa al fine di rendere uguali le portate in arrivo ai serbatoi C e D (coefficiente di perdita di carico localizzata  $\xi$ ).

Calcolare le portate sollevate in arrivo ai serbatoi di valle C e D nelle due condizioni di funzionamento. Nella condizione 2 valutare anche il coefficiente di perdita di carico localizzata  $\xi$ . Calcolare anche le potenze assorbite dalla pompa nelle due condizioni di funzionamento assumendo per le stesse pompe un rendimento pari a 0.7. Considerando un valore dell' $NPSH_r$  pari a 8 m, valori della pressione di vapore dell'acqua e della pressione atmosferica rispettivamente pari a 1.7 kPa e 101.320 kPa, un valore della lunghezza della condotta di aspirazione  $L_a = 10$  m, quale è l'altezza massima a cui è possibile posizionare la pompa al di sopra del pelo libero del serbatoio nelle due condizioni di funzionamento?

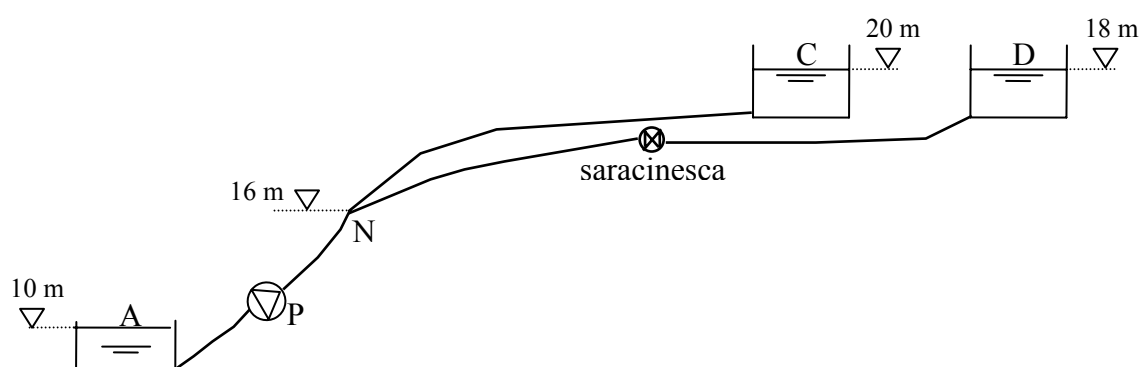


Figura 1. Impianto di sollevamento

Tabella 1. Caratteristiche delle tubazioni

Tratto	Lunghezza [m]	Diametro [m]	$\gamma_B$ [m <sup>1/2</sup> ]
A-N	400	0.4	0.13
N-C	1000	0.25	0.13
N-D	800	0.25	0.13

Per il calcolo della cadente  $J$  si utilizzi la relazione  $J = \beta \frac{Q^2}{D^5}$ , con  $\beta = 0.000857 \cdot \left(1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}}\right)^2$ .

**Esercizio n°2 (punti 5)**

I dati di altezza di pioggia (mm) massima annuale osservati ad una stazione pluviometrica per durate di 15, 30,45 e 60 minuti sono riportati in Tabella 1:

Anno	Durate			
	15'	30'	45'	60'
1980	10.72	12	13.76	14.56
1981	6.24	14.4	16.32	21.28
1982	13.76	17.12	19.52	22.08
1983	19.84	36		63.68
1984	7.36	13.92		21.76
1985	8.48		11.36	12
1986	31.04		47.52	60.32
1987	15.84	16.48	17.92	18.24
1988	16.64	18.4	21.92	23.68
1989	15.04	23.84	32.16	33.12
1990	23.84	32	32.64	32.8
1991	8.48		9.76	10.88
1992	15.68	21.92	24.32	24.48
1993	10.24	15.2	21.92	22.88
1994	22.72	22.88		28.16
1995	14.88	15.68		18.88
1996	11.84	12.8		14.56
1997	7.04	10.24	13.44	18.08
1998	7.84		10.88	11.04
1999	13.6	32.8	34.24	36

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 5 anni;
- l'altezza di pioggia con tempo di ritorno di 5 anni per una durata di 20 minuti.

**Spiegare la procedura adottata e commentare i passaggi effettuati per ricavare i parametri  $a$  ed  $n$  illustrandone il significato**

Formule:

Distribuzione di Gumbel

$$F_x(x) = \exp\left\{-\exp\left[-\frac{(x-u)}{\alpha}\right]\right\}; \quad \sigma^2 = 1.645\alpha^2; \quad \mu = u + 0.5772\alpha;$$

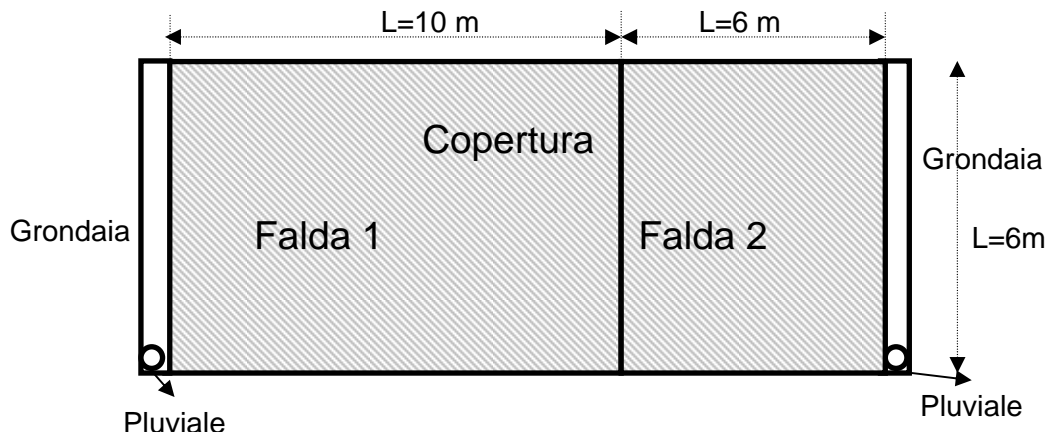
Modello lineare

$$y = a + bx; \quad a = \bar{y} - b\bar{x}; \quad b = \frac{\sum x_i y_i - n\bar{x}\bar{y}}{\sum x_i^2 - n(\bar{x})^2};$$

(N.B. costruire la curva di possibilità climatica in modo da avere le altezze di pioggia in mm e le durate in ore)

**Esercizio n°3 (punti 5)**

Si consideri la copertura di un edificio rappresentata in figura costituita da due falde. Il sistema di scolo delle acque meteoriche è costituito da due grondaie a sezione rettangolare ciascuna al servizio di una falda, e da 2 pluviali, ciascuno posizionato all'estremità di una grondaia (vedi figura). Si dimensionino le grondaie ed i pluviali a fronte di una intensità di precipitazione di 110 mm/h. Si assuma un coefficiente di deflusso  $\phi=1$  e un coefficiente di scabrezza di Strickler della grondaia  $K_s=70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ . Giustificare se si adotta o meno una pendenza nulla del fondo della grondaia e calcolare il minimo e massimo tirante idrico nella grondaia in funzione della scelta progettuale effettuata.

**Domande (punti 3 ciascuna)**

1. Illustrare le ipotesi ed il procedimento per il corretto dimensionamento degli angoli in ingresso ed in uscita della palettatura di una pompa assiale.
2. Illustrare la procedura di dimensionamento di un collettore di fognatura bianca.
3. Dopo aver fornito la definizione di scala di deflusso, descrivere la scala di deflusso relativa ad una sezione circolare chiusa. Spiegare infine il motivo per cui è necessario garantire un certo grado di riempimento, indicandone il valore ottimale, oltre che un determinato valore di velocità minima e massima all'interno delle condotte di un sistema fognario, riportando anche in questo caso i valori di riferimento.
4. Che cosa si intende per sistema di ventilazione parallela diretta? In quale circostanza questo sistema può essere impiegato? Fornire uno schema di un impianto di ventilazione parallela diretta.
5. Dopo aver indicato in quale circostanza è necessario inserire all'interno di una rete fognaria un dispositivo di cacciata, descrivere il funzionamento del dispositivo di cacciata di tipo Contarino.

## Esercizio n°1

Tabella perdite di carico, prevalenza geodetica e area della sezione trasversale nei vari tratti dell'impianto:

Tratto	L (m)	D (m)	$\gamma_B$	$\beta$	$\alpha=\beta L/D^5$	Hg (m)	Area (m <sup>2</sup> )
AN	400	0.4	0.13	0.00171	66.66	6	0.13
NC	1000	0.25	0.13	0.00198	2027.53	4	0.05
ND	800	0.25	0.13	0.00198	1622.03	2	0.05

Curva impianto tratto AN:

$$H = z_N - z_A + \alpha_{AN} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_N + z_A}{\alpha_{AN}}} \quad (1)$$

Curva impianto tratto NC:

$$H = z_C - z_N + \alpha_{NC} Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} \quad (2)$$

Curva impianto tratto ND:

$$H = z_D - z_N + \left( \alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2} \right) Q^2; Q = \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2}}} \quad (3)$$

La curva della pompa P è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 = 20 - 180Q^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{20 - H}{180}} \quad (4)$$

### **Pompa P riportata in N**

Si ottiene sottraendo la  $H(Q)$  dell'impianto AN (1) alla curva caratteristica  $H(Q)$  della pompa (eq. 4):

$$H = r - sQ^2 - z_N + z_A - \alpha_{AN} Q^2 = r - z_N + z_A - (s + \alpha_{AN}) Q^2 \quad (5)$$

L'eq. (5) può essere riscritta in termini di  $Q(H)$  nel seguente modo:

$$Q = \sqrt{\frac{r - z_N + z_A - H}{s + \alpha_{AN}}} \quad (6)$$

La curva dell'impianto da mettere a sistema con l'equazione (6) è data dai tratti NC e ND messi in parallelo tra di loro. Le curve  $Q(H)$  delle eq. (3) e (4) vanno sommate a parità di prevalenza:

$$Q = \sqrt{\frac{H - z_C + z_N}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{H - z_D + z_N}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2}}} \quad (7)$$

Il sistema tra (5) e (7) dà:

$$Q = \frac{Q_C}{\alpha_{NC}} + \frac{Q_D}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2}}$$

$$Q = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{r + z_A - z_D - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2}}} \quad (8)$$

L'equazione (8) rappresenta in realtà l'equazione di continuità al nodo N tra la portata entrante  $Q$  e le portate uscenti  $Q_C$  e  $Q_D$  dirette ai rispettivi serbatoi.

### Condizione di funzionamento 1

Nella condizione di funzionamento 1 si ha  $\xi = 0$ . La (8) diviene pertanto:

$$Q = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} + \sqrt{\frac{r + z_A - z_D - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{ND}}} \quad (9)$$

$$Q = \sqrt{\frac{10 - 246.66Q^2}{2027.53}} + \sqrt{\frac{12 - 246.66Q^2}{1622.03}}$$

Risolviendo per tentativi la (9) rispetto a  $Q$  si ottiene la portata sollevata dalla pompa  $Q = 0.1255 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si ha inoltre:

$$Q_C = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} = 0.0549 \text{ m}^3/\text{s} \quad (10)$$

$$Q_D = \sqrt{\frac{r + z_A - z_D - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{ND}}} = 0.0707 \text{ m}^3/\text{s} \quad (11)$$

Riapplicando l'equazione (4), si ottiene la prevalenza della pompa:

$$H = 20 - 180Q^2 = 17.17 \text{ m} \quad (12)$$

Ricordando la formula  $P = \gamma QH / \eta$ , si ottiene la potenza assorbita dalla pompa:

$$P = \gamma QH / \eta = 30.2 \text{ KW} \quad (13)$$

Per il calcolo della posizione della pompa, bisogna applicare la seguente formula:

$$z_{max} = \frac{P_{serb} - P_{vap}}{\rho g} - NPSHr - Y_a = \frac{P_{serb} - P_{vap}}{\rho g} - NPSHr - \frac{\alpha_{AN} L_a}{L_{AN}} Q^2 = 2.13 \text{ m} \quad (14)$$

### Condizione di funzionamento 2

Nella condizione di funzionamento 2 si ha  $\xi$  tale che:

$$\sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} = \sqrt{\frac{r + z_A - z_D - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A^2}}} \quad (15)$$

La (8) diventa pertanto:

$$Q = 2 \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} \quad (16)$$

$$Q = 2 \sqrt{\frac{10 - 246.66Q^2}{2027.53}}$$

Esplicitando e risolvendo la (16) rispetto a  $Q$  si ottiene la portata sollevata dalla pompa  $Q = 0.115 \text{ m}^3/\text{s}$ . Si ha inoltre:

$$Q_C = Q_D = \sqrt{\frac{r + z_A - z_C - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{NC}}} = 0.0576 \text{ m}^3/\text{s} \quad (17)$$

Riapplicando l'equazione (4), si ottiene la prevalenza della pompa:

$$H = 20 - 180Q^2 = 17.62 \text{ m} \quad (18)$$

Ricordando la formula  $P = \gamma QH / \eta$ , si ottiene la potenza assorbita dalla pompa:

$$P = \gamma QH / \eta = 28.4 \text{ KW} \quad (19)$$

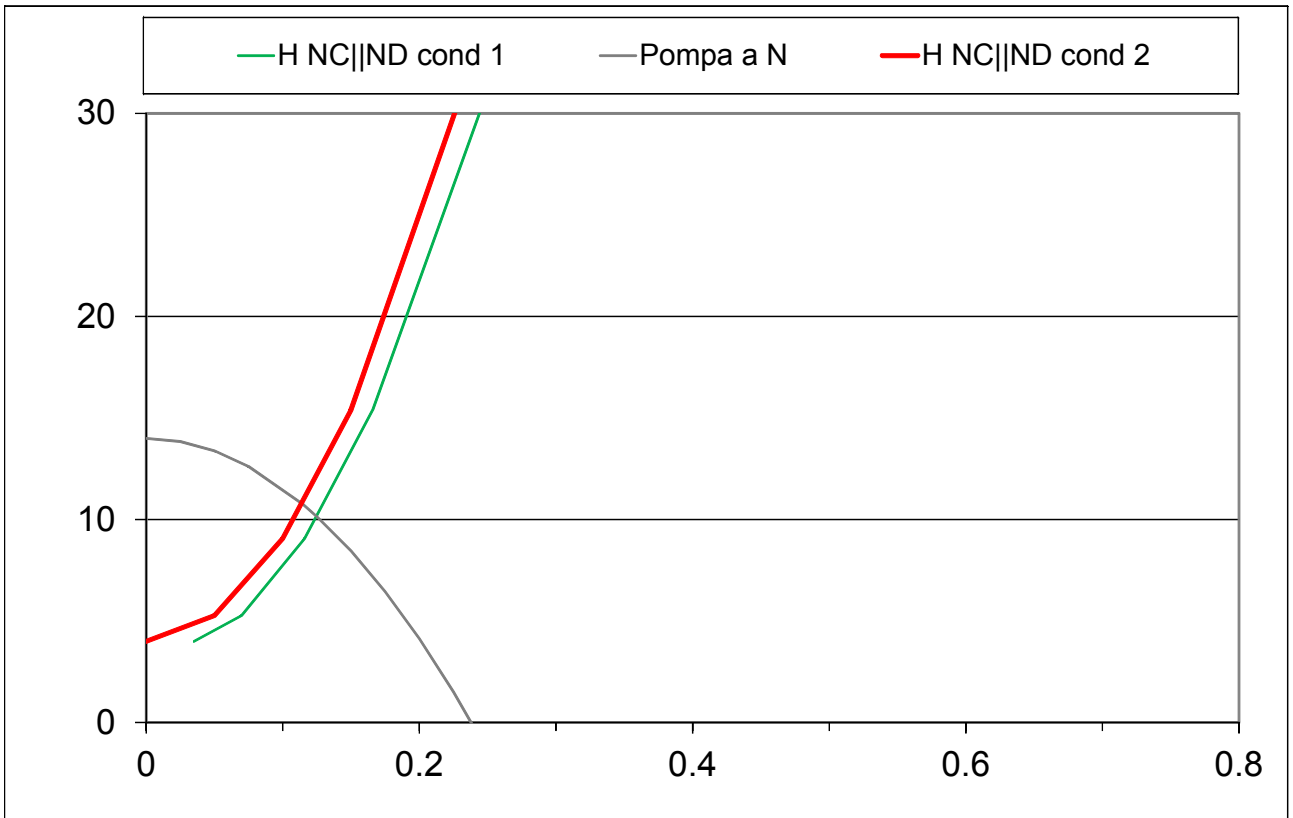
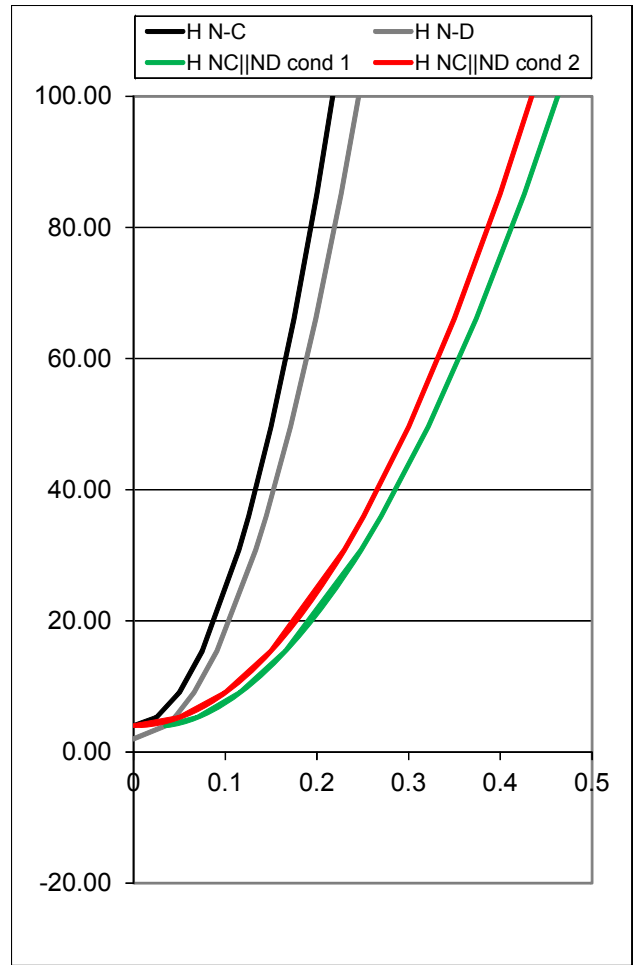
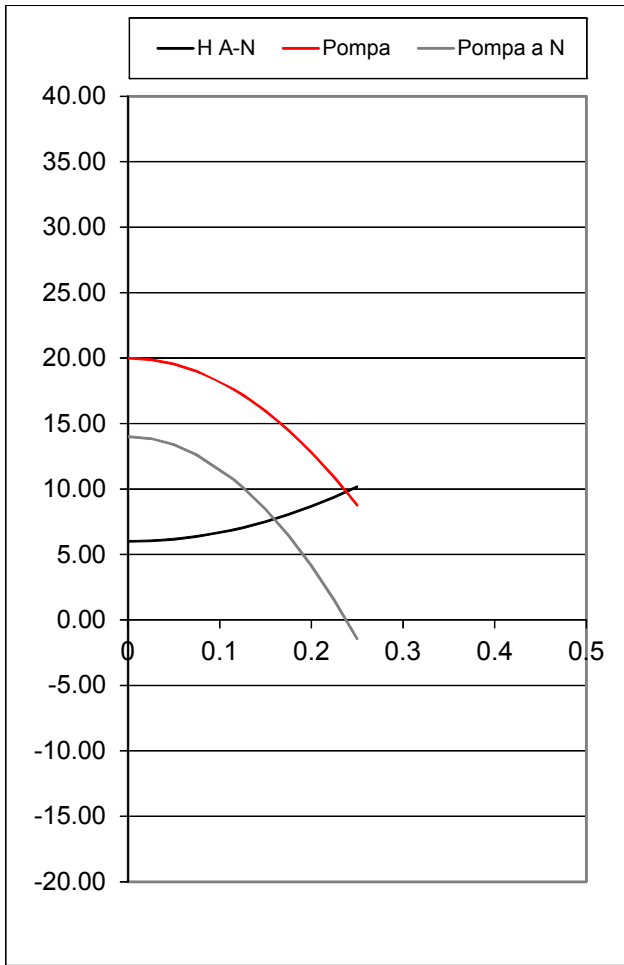
Per il calcolo della posizione della pompa, bisogna applicare la seguente formula:

$$z_{max} = \frac{P_{serb} - P_{vap}}{\rho g} - NPSHr - Y_a = \frac{P_{serb} - P_{vap}}{\rho g} - NPSHr - \frac{\alpha_{AN} L_a}{L_{AN}} Q^2 = 2.14 \text{ m} \quad (20)$$

Per il calcolo di  $\xi$ , si ha dalle eqs. (15) e (16):

$$\sqrt{\frac{r + z_A - z_D - (s + \alpha_{AN})Q^2}{\alpha_{ND} + \frac{\xi}{2g \cdot A_{ND}^2}}} = 0.0576 \text{ m}^3/\text{s} \quad (21)$$

Esplicitando e risolvendo la (21) rispetto a  $\xi$  si ottiene un valore pari a 47.



## Esercizio n°2

	<b>15</b>	<b>30</b>	<b>45</b>	<b>60</b>				
	10.72	12	13.76	14.56				
	6.24	14.4	16.32	21.28				
	13.76	17.12	19.52	22.08				
	19.84	36		63.68				
	7.36	13.92		21.76				
	8.48		11.36	12				
	31.04		47.52	60.32				
	15.84	16.48	17.92	18.24				
	16.64	18.4	21.92	23.68				
	15.04	23.84	32.16	33.12				
	23.84	32	32.64	32.8				
	8.48		9.76	10.88				
	15.68	21.92	24.32	24.48				
	10.24	15.2	21.92	22.88				
	22.72	22.88		28.16				
	14.88	15.68		18.88				
	11.84	12.8		14.56				
	7.04	10.24	13.44	18.08				
	7.84		10.88	11.04				
	13.6	32.8	34.24	36				
<b>Media</b>	<b>14.06</b>	<b>19.73</b>	<b>21.85</b>	<b>25.42</b>				
<b>var</b>	<b>41.77</b>	<b>62.25</b>	<b>114.68</b>	<b>207.87</b>				
u	11.15	16.18	17.03	18.94				
alfa	5.039	6.152	8.349	11.241				
T	5.000	5.000	5.000	5.000				
h	18.706	25.406	29.550	35.797				
t	0.250	0.500	0.750	1.000				
logh	2.929	3.235	3.386	3.578	ymedio	3.282	xymedio	-1.942
logt	-1.386	-0.693	-0.288	0.000	xmedio	-0.592	n	4.000
xiyi	-4.060	-2.242	-0.974	0.000	Sommaxiyi	-7.277		
xi2	1.922	0.480	0.083	0.000	Sommaxi2	2.485		
<b>B=n</b>	<b>0.454</b>							
A	3.551							
<b>a</b>	<b>34.832</b>							
hcalc	18.57	25.43	30.57	34.83				
<b>h20'</b>	<b>21.16</b>	<b>mm</b>						



<b>Esercizio n°3</b>						
Int. Prec	$\varphi$	Ks				
mm/h						
110.00	1	70				
<b>FALDA 1</b>						
Lungh	Largh					
m	m					
10	6					
Qfalda	1.83 l/s					
<i>GRONDAIA</i>						
Un pluviale all'estremo						
Q	1.83 l/s					
Assumo una sezione						
b [cm]	h [cm]					
<b>10</b>	<b>10</b>					
yc=	0.032479 m	3.25 cm				
i=0, perdite nulle opp. i=j						
ym=	5.63 cm					
Considero le perdite di carico						
Jmedio	0.005334					
$\Delta H=$	0.032002 m	3.20 cm >	0.75	0.23yc		
ym=	8.83 cm					
<i>PLUVIALE</i>						
Assumo un pluviale di diametro		D=	<b>0.1 m</b>			
Soglia sfiorante	Q=	0.00285 m <sup>3</sup> /s	2.85085 l/s	>	1.833	
Sotto battente	Q=	0.00376 m <sup>3</sup> /s	3.76178 l/s	>	1.833	
<b>FALDA 2</b>						
Lungh	Largh					
m	m					
6	6					
Qfalda	1.10 l/s					
<i>GRONDAIA</i>						
Un pluviale all'estremo						
Q	1.10 l/s					
Assumo una sezione						
b [cm]	h [cm]					
<b>10</b>	<b>10</b>					
yc=	0.023105 m	2.31 cm				
i=0, perdite nulle opp. i=j						
ym=	4.00 cm					
Considero le perdite di carico						
Jmedio	0.005975					
$\Delta H=$	0.035849 m	3.58 cm >	0.53	0.23yc		
ym=	7.59 cm					
<i>PLUVIALE</i>						
Assumo un pluviale di diametro		D=	<b>0.1 m</b>			
Soglia sfiorante	Q=	0.00171 m <sup>3</sup> /s	1.71051 l/s	>	1.100	
Sotto battente	Q=	0.00317 m <sup>3</sup> /s	3.17280 l/s	>	1.100	