

**Esercizio n°1 (punti 6)**

Si consideri l'impianto di sollevamento rappresentato in figura 1 costituito da 3 pompe posizionate all'interno di una vasca aventi la seguente curva caratteristica e rendimenti a  $n=910$  giri/min:

$$H=r-sQ^2 \quad \text{con } r=40 \text{ m e } s=200 \text{ s}^2/\text{m}^5$$

Rendimenti:

$Q$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4
$\eta$	0.5	0.62	0.72	0.75	0.75	0.7	0.6	0.4

La condotta di mandata è costituita dai tratti  $P_1$ -B,  $P_2$ -B,  $P_3$ -B, ciascuno al servizio di una delle tre pompe, e da un tratto B-C, comune a tutte e tre le pompe. I tratti  $P_1$ -B,  $P_2$ -B,  $P_3$ -B hanno ciascuno diametro  $D=0.2$  m e lunghezza  $L=20$  m e in essi sono presenti 3 gomiti, 1 valvola ed 1 saracinesca. Il tratto B-C ha diametro  $D=0.5$  m e lunghezza  $L=500$  m. (Per i coefficienti di perdita di carico concentrata v.v. Tabella 1). Per il calcolo delle perdite di carico si consideri un coefficiente di Bazin  $\gamma_B = 0.12 \text{ m}^{1/2}$ .

$$\beta = 0.000857 \cdot \left( 1 + \frac{2 \cdot \gamma_B}{\sqrt{D}} \right)^2$$

Si assuma un livello nella vasca dove sono posizionate le tre pompe  $Z_A=12$  m ed un livello nel serbatoio di recapito C,  $Z_C=25$  m. Il nodo B è posizionato alla quota  $Z_B=16$  m.

Si calcoli:

- la portata sollevata dall'impianto a C assumendo che 2 pompe lavorino a  $n=910$  giri/min ed una a  $n^*=1170$  giri/min
- la potenza assorbita dall'impianto per sollevare  $5000 \text{ m}^3$  al giorno.

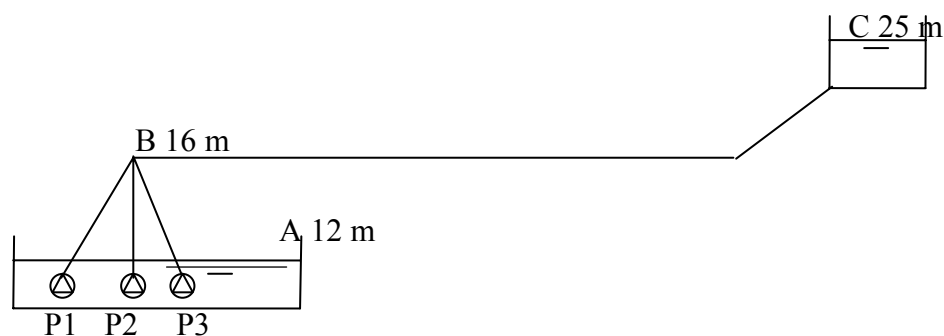


Figura 1. Schema dell'impianto

Tabella 1. I coefficienti  $\zeta$  per il calcolo delle perdite di carico concentrate:  $\Delta H = \zeta \cdot V^2 / 2g$

Imbocco	0.5
Sbocco	1
Gomito	0.2
Valvola	2.5
Saracinesca	1

**Esercizio n°2 (punti 4)**

Si dimensiona il diametro e la pendenza di un condotto di fognatura mista al servizio di un'area  $A=1.5$  ha di cui il 46% impermeabile ( $\phi_{IMP}=0.80$ ) ed il rimanente 54% permeabile ( $\phi_{PERM}=0.10$ ) affinché in corrispondenza della portata massima sia garantito un grado di riempimento  $h/D = 0.70$  e nel caso della portata nera minima vi sia un grado di riempimento  $h/D = 0.10$ .

Il numero di abitanti equivalenti serviti è  $N_{ab}=1500$  e le portate nera massima e minima sono rispettivamente:

$$Q_{n,max} = 1.2 \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}, \quad Q_{n,min} = 0.7 \cdot \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400}$$

essendo  $D.I.$  la dotazione idrica pari a 300 l/ab.giorno

Il condotto è lungo  $L=280$  m ed il materiale della tubazione è cls. con scabrezza  $K_s = 70 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ .

Si assuma un tempo di accesso in rete di 10 min ed i seguenti parametri della curva di possibilità climatica  $h = a\theta^n$ :  $a = 33 \text{ mm/ora}^n$  e  $n = 0.45$ .

$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$	$h/D$	$P/D$	$A/D^2$	$R/D$	$V/V_r$	$Q/Q_r$
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

**Esercizio n°3 (punti 5)**

Ad una stazione pluviometrica sono state registrate le seguenti altezze di pioggia massime annuali (mm) per le durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore:

Anno	Durate				
	1	3	6	12	24
1982	23	27.8	28.6	36	53.2
1983	20	26.6	27.4	44	57.8
1984	17.2	17.2	17.2	31.6	33.6
1985	31.2	41	53	55	56.4
1986	18.2	18.4	20.4	28.8	42
1987	23.8	34.2	41	41.6	51
1988	32.6	46.2	56.4	56.4	63.6
1989	23.8	39.4	48.2	69	70.8
1990	48.4	50.8	50.8	50.8	52.4
1991	15	25	25.4	29.2	48.2
1992	13.4	27	32	42.4	42.4
1993	17	28.8	43.4	45.4	67.8
1994	16.4	20.2	25.4	34.2	46.4
1995	41	43.8	46.4	55.4	71

Si valutino:

- i parametri della curva di possibilità climatica per un tempo di ritorno di 10 anni;
- l'intensità (mm/h) di una precipitazione di durata 1 ora e 15 minuti con tempo di ritorno di 10 anni.

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

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

### Domande (punti 3)

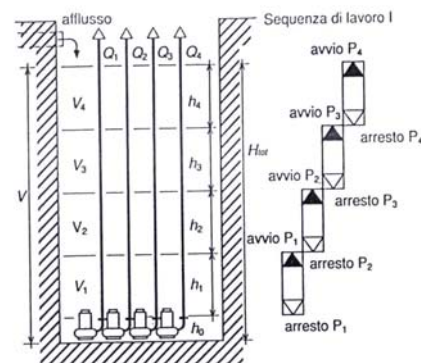
- Le curve caratteristiche delle pompe: illustrare perché il legame  $h_u-Q$  presenta generalmente un andamento parabolico con concavità rivolta verso il basso.
- Si consideri il bacino di pescaggio di 4 pompe la cui sequenza di avvio è riportata nella figura a lato.

Si dimostri la relazione:

$$V_k = Tc_k \frac{Q_k}{4}$$

dove:

- $V_k$  - volume associato alla k-ma pompa;  
 $Tc_k$  - tempo di ciclo della k-ma pompa;  
 $Q_k$  - portata sollevata dalla k-ma pompa.



- Coefficiente ARF: specificare a quale scopo viene utilizzato, qual'è il suo andamento rispetto all'area del bacino  $A$  e alla durata di precipitazione  $\theta$ . Come si definisce l'altezza di pioggia areale?
- Illustrare i passi e le ipotesi per il corretto dimensionamento di una grondaia a sezione rettangolare. In particolare spiegare da dove deriva la verifica  $\Delta h \leq 0.23y_c$  essendo  $\Delta h$  la perdita di carico e  $y_c$  la profondità critica nella sezione della grondaia in corrispondenza del pluviale.
- Appoggiandosi all'equazione per il calcolo delle portate defluenti nelle cunette, e delle portate intercettate e by-passate dalle caditoie a grata, illustrare i vantaggi di una cunetta a sezione triangolare ribassata rispetto ad una cunetta a sezione triangolare normale.

## Esercizio n°1

La curva caratteristica delle pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub>, funzionanti a n=910 giri/min, è rappresentata dalla seguente equazione:

$$H = r - sQ^2 \quad \text{oppure} \quad Q = \sqrt{\frac{r-H}{s}} \quad (1)$$

L'equazione della curva caratteristica della pompa P<sub>3</sub> funzionante a n\*=1170 giri/min, si ricava applicando il principio di similitudine fluidodinamica:

$$\begin{cases} \frac{H}{H^*} = \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \\ \frac{Q}{Q^*} = \frac{n}{n^*} \end{cases} \rightarrow H^* \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 = r - s \cdot Q^{*2} \cdot \left(\frac{n}{n^*}\right)^2 \rightarrow H^* = r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - s \cdot Q^{*2} \quad (2)$$

Le pompe operano in parallelo dal punto B, quindi supponendo di posizionare ciascuna pompa in corrispondenza del nodo B, la relativa equazione della curva caratteristica per le pompe P<sub>1</sub> e P<sub>2</sub> assume la seguente forma:

$$H_{P_{1,2}} - H_{AB} = H = r - z_B + z_A - \left( s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2} \right) Q^2 \quad (3)$$

dove il termine H<sub>AB</sub>, definito dalla relazione (3), rappresenta le perdite di carico che il sistema deve vincere per poter sollevare la portata al nodo B.

$$H_{AB} = z_B - z_A + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2} Q^2 \quad (4)$$

Analogamente per la pompa P<sub>3</sub>, si ha:

$$H_{P_3} - H_{AB} = H = r \left(\frac{n^*}{n}\right)^2 - z_B + z_A - \left( s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{AB}}{2g \left(\frac{\pi D_{AB}^2}{4}\right)^2} \right) Q^2 \quad (5)$$

Esplicitando le relazioni (3) e (5) rispetto alla portata si ottiene l'equazione delle curve caratteristiche delle pompa riportate al nodo B, e ponendo le pompe in parallelo, si ottiene che:

$$Q = 2 \sqrt{\frac{r - z_B + z_A - H_{BC}}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left( \frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}} + \sqrt{\frac{r \left( \frac{n^*}{n} \right)^2 - z_B + z_A - H_{BC}}{s + \beta_{AB} \frac{L_{AB}}{D_{AB}^5} + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left( \frac{\pi D_{AB}^2}{4} \right)^2}} \quad (6)$$

L'equazione della curva dell'impianto relativo al tratto BC è definita da:

$$H_{BC} = z_C - z_B + \beta_{BC} \frac{L_{BC}}{D_{BC}^5} Q^2 + \frac{\sum \xi_i^{BC}}{2g \left( \frac{\pi D_{BC}^2}{4} \right)^2} Q^2 \quad (7)$$

Mettendo a sistema le equazioni (6) e (7) e risolvendo rispetto all'unica incognita  $Q$  si ottiene la portata sollevata dall'impianto di pompaggio a C che è pari a  $0.62 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il punto di funzionamento delle due pompe a 910 giri/min è pari a:

$$\begin{cases} Q_{910} = 0.173 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ H_{910} = 34 \text{ m} \\ \eta_{910} = 73\% (\text{vedi Tabella}) \end{cases}$$

Il punto di funzionamento della pompa a 1170 giri/min è pari a:

$$\begin{cases} Q_{1170} = 0.276 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1} \\ H_{1170} = 51 \text{ m} \\ \eta_{1170} = 75\% (\text{vedi Tabella sottostante}) \end{cases}$$

essendo i rendimenti a  $n^*=1170$  giri/min calcolati sfruttando la similitudine fluidodinamica:

Q [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	0.064	0.129	0.193	0.257	0.321	0.386	0.450	0.514
$\eta$ %	0.5	0.62	0.72	0.75	0.75	0.7	0.6	0.4

Dato il volume medio giornaliero da sollevare dal serbatoio A al serbatoio B, si ricava il n° di ore di lavoro delle pompe:

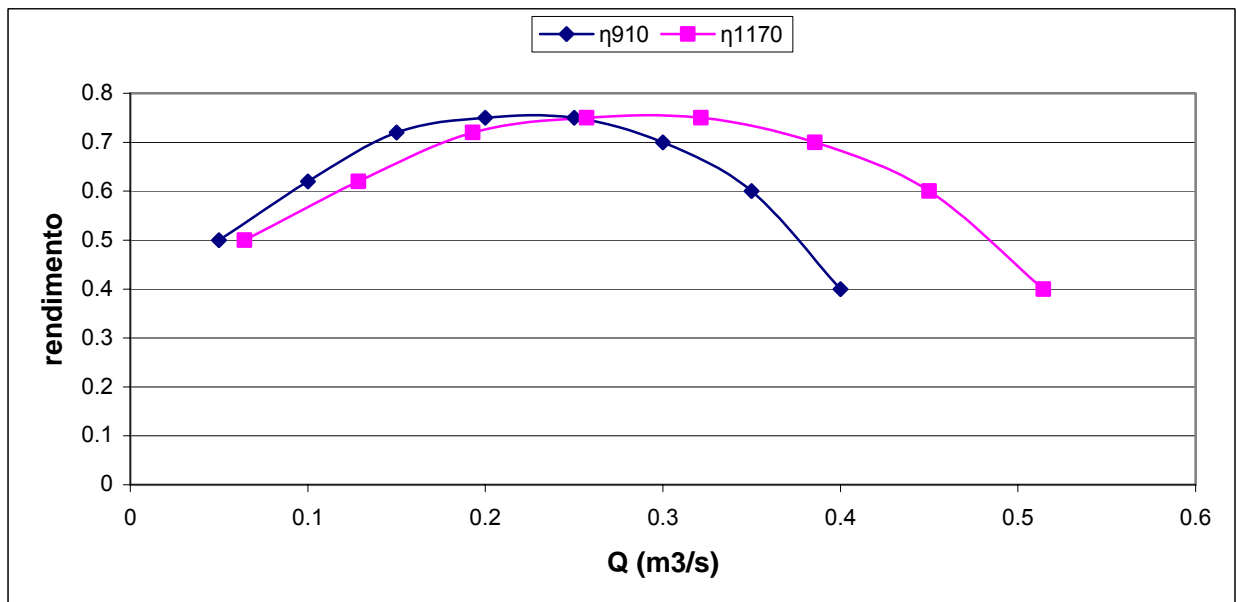
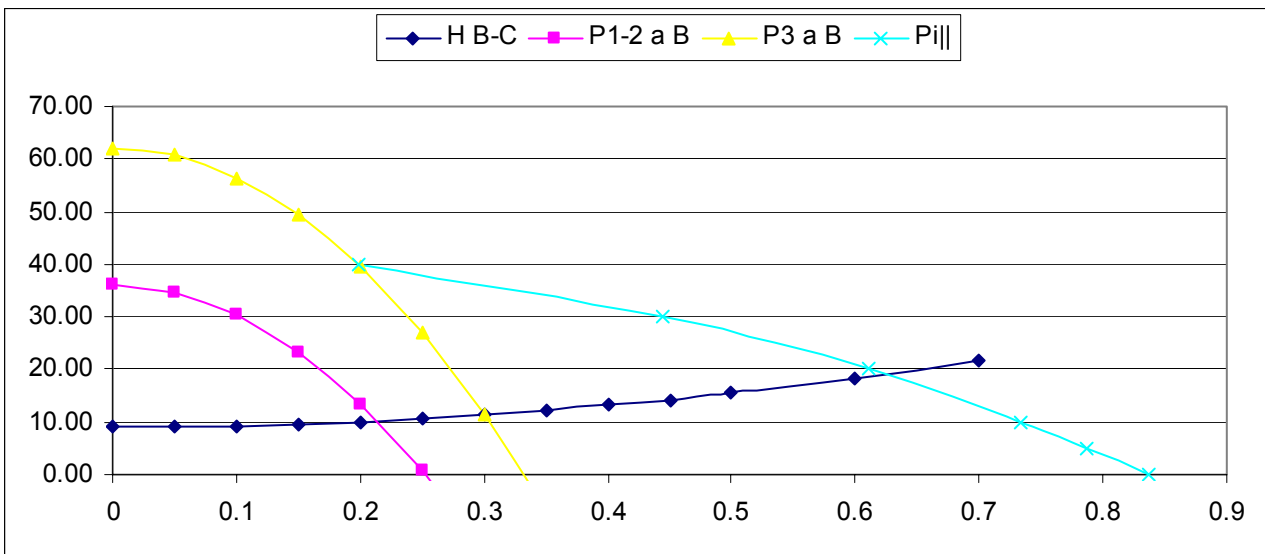
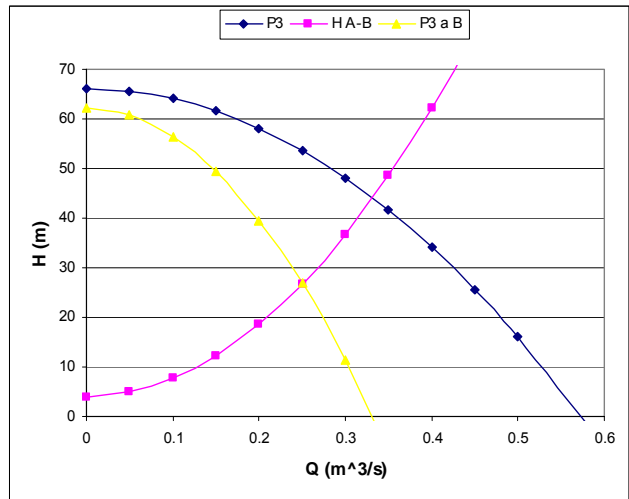
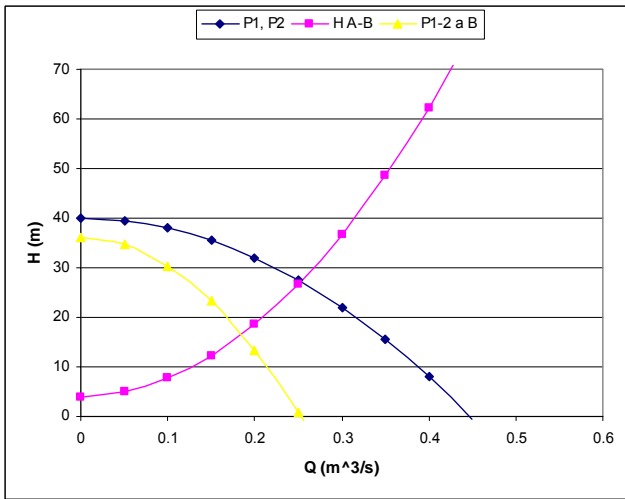
$$N_{ore} = \frac{V}{Q} = \frac{5000}{0.62 \cdot 3600} = 2.2 \text{ h}$$

Quindi la potenza assorbita  $P_a$  specifica per ogni singola pompa può essere stimata come:

$$Pa_{910} = \frac{\gamma \cdot Q_{910} \cdot H_{910}}{\eta_{910}} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.173 \cdot 34}{0.73} = 79.2 \text{ kW}$$

$$Pa_{1170} = \frac{\gamma \cdot Q_{1170} \cdot H_{1170}}{\eta_{1170}} = \frac{1000 \cdot 9.81 \cdot 0.276 \cdot 51}{0.75} = 183.77 \text{ kW}$$

$$Pa_{tot}^{die} = (2 \cdot Pa_{910} + Pa_{1170}) \cdot N_{ore} = 763 \text{ kW/die} \quad \rightarrow \quad \text{potenza assorbita complessivamente}$$



## Esercizio n°2

Per la portata massima si ha:

$$\frac{h}{D} = 0.7 \quad \text{quindi} \quad \frac{Q_{\max}}{Q_p} = 0.837 \quad (1)$$

essendo:

$$Q_p = V_p \Omega \quad (2)$$

$$V_p = K_s R^{2/3} i_f^{1/2} \quad (3)$$

$$\Omega = \frac{\pi D^2}{4} \quad (4)$$

$$Q_{\max} = \varphi i A + Q_{n,\max} \quad (5)$$

$$Q_{n,\max} = 1.2 \frac{D.I. \cdot N_{ab}}{86400} \quad (6)$$

$$i = a T_c^{n-1} \quad (7)$$

$$T_c = T_a + \frac{T_r}{1.5} = T_a + \frac{L}{V_p} \frac{1}{1.5} \quad (8)$$

Inoltre, per la portata nera minima è richiesto che:

$$\frac{h}{D} = 0.1 \quad \text{quindi} \quad \frac{Q_{n,\min}}{Q_p} = 0.021 \quad (9)$$

essendo:

$$Q_{n,\min} = 0.7 \frac{D.I.N_{ab}}{86400} \quad (10)$$

Quindi:

Da (10) si calcola  $Q_{n,\min} = 3.65$  l/s e da (9) si calcola  $Q_p = 173.6$  l/s.

Da (1) si calcola  $Q_{\max} = 145.31$  l/s

Essendo da (6)  $Q_{n,\max} = 6.25$  l/s, da (5) si ricava che  $i=79.1$  mm/h, da (7) che  $T_c=12.25$  min e quindi da (8) che  $V_p=1.39$  m/s

Da (2) si calcola  $\Omega = 0.125$  m<sup>2</sup> e da (4) si calcola  $D = 0.4$  m

Infine da (3) si calcola  $i_f = 0.0085$ , pari al 0.85%

### Esercizio n°3

	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	<b>24</b>				
1982	23	27.8	28.6	36	53.2				
1983	20	26.6	27.4	44	57.8				
1984	17.2	17.2	17.2	31.6	33.6				
1985	31.2	41	53	55	56.4				
1986	18.2	18.4	20.4	28.8	42				
1987	23.8	34.2	41	41.6	51				
1988	32.6	46.2	56.4	56.4	63.6				
1989	23.8	39.4	48.2	69	70.8				
1990	48.4	50.8	50.8	50.8	52.4				
1991	15	25	25.4	29.2	48.2				
1992	13.4	27	32	42.4	42.4				
1993	17	28.8	43.4	45.4	67.8				
1994	16.4	20.2	25.4	34.2	46.4				
1995	41	43.8	46.4	55.4	71				
<b>Media</b>	<b>24.36</b>	<b>31.89</b>	<b>36.83</b>	<b>44.27</b>	<b>54.04</b>				
<b>var</b>	<b>108.11</b>	<b>116.08</b>	<b>170.58</b>	<b>142.24</b>	<b>128.64</b>				
u	19.68	27.04	30.95	38.90	48.94				
alfa	8.107	8.400	10.183	9.299	8.843				
T	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000				
h	37.921	45.941	53.867	59.830	68.839				
t	1.000	3.000	6.000	12.000	24.000				
logh	3.636	3.827	3.987	4.092	4.232	ymedio	3.955	xymedio	6.765
logt	0.000	1.099	1.792	2.485	3.178	xmedio	1.711	n	5.000
x <sub>1</sub> y <sub>1</sub>	0.000	4.205	7.143	10.167	13.449	Sommax <sub>1</sub> y <sub>1</sub>	34.963		
x <sub>1</sub> <sup>2</sup>	0.000	1.207	3.210	6.175	10.100	Sommax <sub>1</sub> <sup>2</sup>	20.692		
<b>B=n</b>	<b>0.188</b>								
A	3.633								
<b>a</b>	<b>37.83</b>								
hcalc	37.83	46.50	52.97	60.34	68.74				
h 1 ora e 1/4		<b>39.4466</b>							