ESERCITAZIONE 4

a) Dimensionare i martinetti.

Per i martinetti è necessario che la forza esercitata sul pistone sia di poco maggiore (poniamo il 3%) della forza massima resistente. Si ha:

Martinetto 1

$F_{MAX1} \cong 30000$ N

per cui:

$$A_1 = 1.03\frac{F_{MAX1}}{p} \cong 1.545 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_1 = 2\sqrt{\frac{A_1}{\pi}} \cong 44.4 \text{ mm}$$

Martinetto 2

$F_{MAX2} \cong 20000$ N

per cui:

$$A_2 = 1.03\frac{F_{MAX1}}{p} \cong 1.03 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$d_2 = 2\sqrt{\frac{A_2}{\pi}} \cong 36.2 \text{ mm}$$

b) Limitare la velocità di azionamento dei martinetti in modo che le corse avvengano in un tempo attorno ai 10 s, nell'ipotesi che la massa equivalente (m) sia 1500 kg.

Si sceglie di rallentare il moto del pistone con una o più strozzature poste sul tubo di scarico verso il serbatoio. Dato che la maggioranza delle perdite di carico sarà in tale strozzatura, si potranno tranquillamente trascurare tutte le altre perdite di carico.

L'equazione che governa il moto dei pistoni è:

$$m\ddot{x} = pA_{MARTINETTO} - k\dot{x}^2 - ax - b$$

dove

- p = 200 bar (pressione d'esercizio della pompa)
- x è la posizione del pistone
- $F = ax + b$ (forza esterna)
- k è una costante che riassume l'effetto delle forze viscose

Le perdite di carico nella strozzatura sono:

$$\Delta p = \frac{1}{2}k_5\rho v^2 \Rightarrow \Delta p = \frac{1}{2}k_5\rho\left(\frac{A_{MARTINETTO}}{A_{TUBO\ DI\ SCARICO}}\right)^2 \dot{x}^2$$

per cui, dato che la forza sull'altra faccia del martinetto sarà pari alla perdita di carico per l'area:

$$F = A_{MARTINETTO}\Delta p = \frac{1}{2}A_{MARTINETTO}k_5\rho\left(\frac{A_{MARTINETTO}}{A_{TUBO\ DI\ SCARICO}}\right)^2 \dot{x}^2 = k\dot{x}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow k = \frac{1}{2}A_{MARTINETTO}k_5\rho\left(\frac{A_{MARTINETTO}}{A_{TUBO\ DI\ SCARICO}}\right)^2$$

A questo punto, dato che l'equazione non è risolubile in forma chiusa, è necessario fare uso di un foglio elettronico e di un metodo numerico di soluzione. La tecnica usata sarà quella di calcolare il tempo della corsa per dei valori di tentativo delle variabili di progetto e poi andare per correzioni successiva alla ricerca dei valori che danno risultati soddisfacenti.

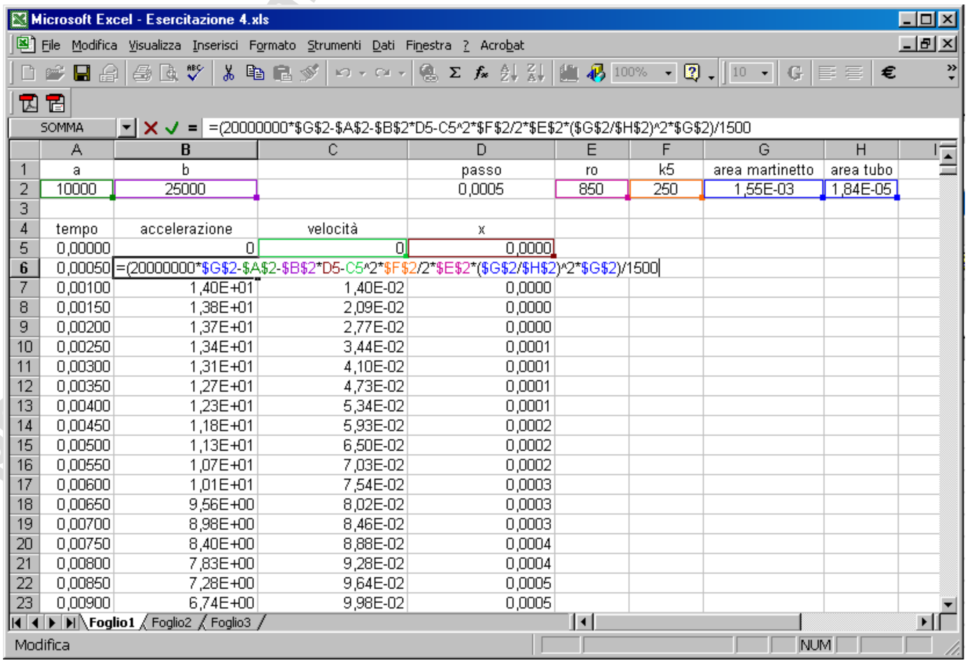
Il metodo di calcolo usato è un "Eulero esplicito": in pratica si fa come se in un intervallo di tempo Δt molto piccolo, la forza, la velocità e la posizione del pistone rimanessero costanti. Cioè: se ad un tempo t si hanno i valori:

$$\begin{cases} F(t) \\ a(t) = \ddot{x}(t) \\ v(t) = \dot{x}(t) \\ x(t) \end{cases}$$

al tempo $t + \Delta t$ si avrà:

$$\begin{cases} F(t+\Delta t) = pA_{MARTINETTO} - k\dot{x}^2(t) - ax(t) - b \\ a(t+\Delta t) = \ddot{x}(t+\Delta t) = \dfrac{pA_{MARTINETTO} - k\dot{x}^2(t) - ax(t) - b}{m} \\ v(t+\Delta t) = \dot{x}(t+\Delta t) = a(t+\Delta t)\Delta t + v(t) \\ x(t+\Delta t) = \dfrac{1}{2}a(t+\Delta t)\Delta t^2 + v(t+\Delta t)\Delta t + x(t) \end{cases}$$

Nella realizzazione pratica (in una tabella di Excel) sono stati lasciati come variabili modificabili la costante della strozzatura, le costanti della forzante esterna, l'area del tubo di scarico e l'area del martinetto.
Anche l'intervallo di integrazione è variabile, si è scelto un tempo molto piccolo (5/10000 s) in modo da avere una accurata descrizione del primissimo tratto, dove il pistone accelera in modo molto brusco. Probabilmente questa accuratezza non è necessaria nella seconda parte della corsa ma dato che il computer riesce a sopportare agevolmente la mole di calcoli si sceglie di mantenere lo stesso intervallo di integrazione per non complicare il metodo.


Microsoft Excel - Esercitazione 4.xls

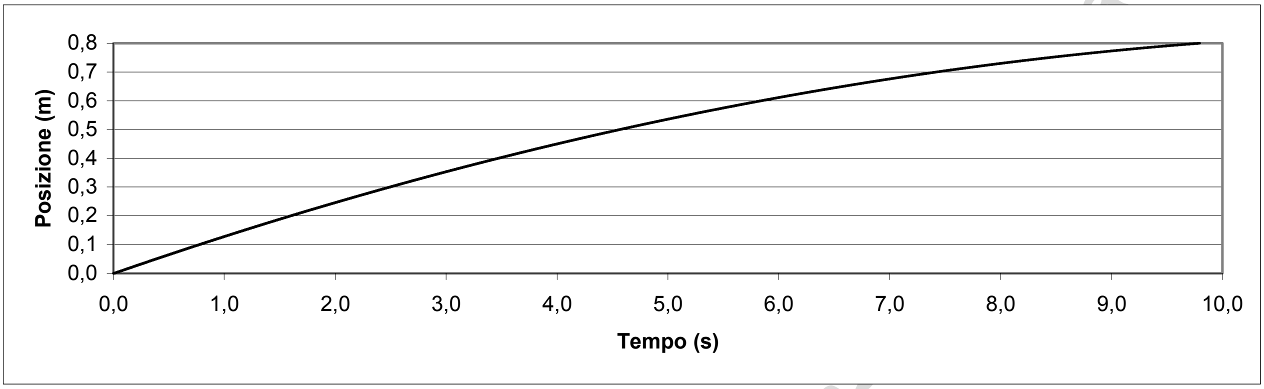
SOMMA =(20000000*$G$2-$A$2-$B$2*D5-C5^2*$F$2/2*$E$2*($G$2/$H$2)^2*$G$2)/1500

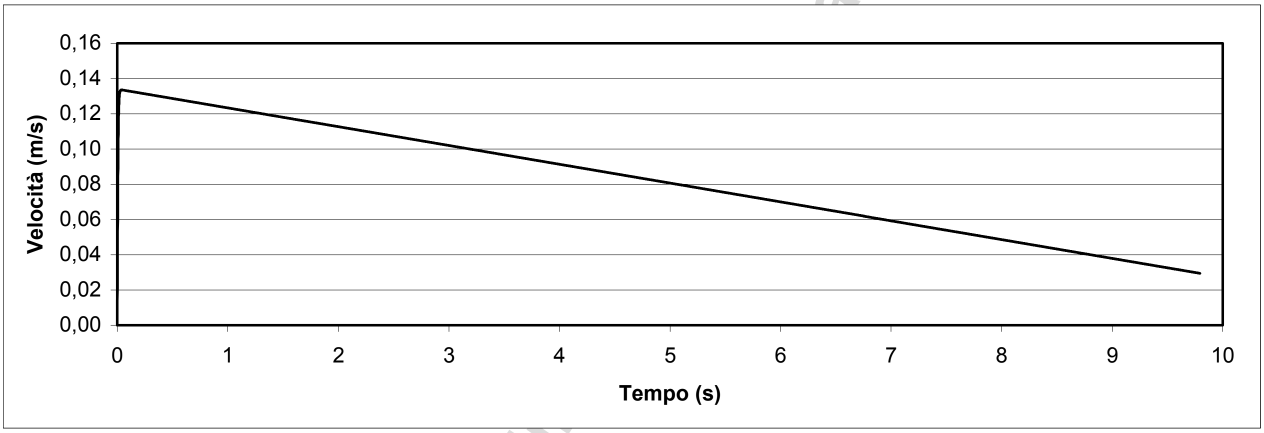
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	a	b		passo	ro	k5	area martinetto	area tubo
2	10000	25000		0,0005	850	250	1,55E-03	1,84E-05
3								
4	tempo	accelerazione	velocità	x				
5	0,00000	0	0	0,0000				
6	0,00050	=(20000000*$G$2-$A$2-$B$2*D5-C5^2*$F$2/2*$E$2*($G$2/$H$2)^2*$G$2)/1500						
7	0,00100	1,40E+01	1,40E-02	0,0000				
8	0,00150	1,38E+01	2,09E-02	0,0000				
9	0,00200	1,37E+01	2,77E-02	0,0000				
10	0,00250	1,34E+01	3,44E-02	0,0001				
11	0,00300	1,31E+01	4,10E-02	0,0001				
12	0,00350	1,27E+01	4,73E-02	0,0001				
13	0,00400	1,23E+01	5,34E-02	0,0001				
14	0,00450	1,18E+01	5,93E-02	0,0002				
15	0,00500	1,13E+01	6,50E-02	0,0002				
16	0,00550	1,07E+01	7,03E-02	0,0002				
17	0,00600	1,01E+01	7,54E-02	0,0003				
18	0,00650	9,56E+00	8,02E-02	0,0003				
19	0,00700	8,98E+00	8,46E-02	0,0003				
20	0,00750	8,40E+00	8,88E-02	0,0004				
21	0,00800	7,83E+00	9,28E-02	0,0004				
22	0,00850	7,28E+00	9,64E-02	0,0005				
23	0,00900	6,74E+00	9,98E-02	0,0005				

Foglio1 Foglio2 Foglio3

Con il metodo “a tentativi” sopra citato si sono trovati i seguenti valori dimensionanti per i due martinetti.

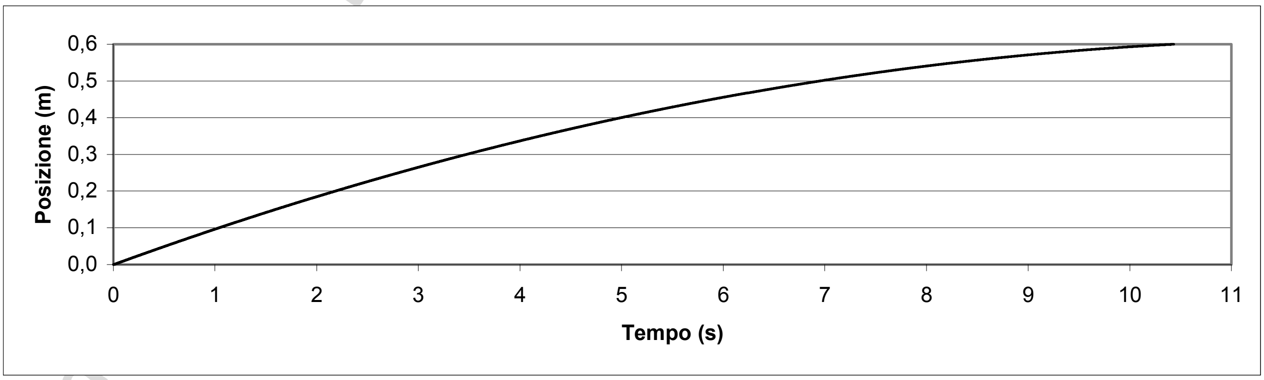
Martinetto 1
Diametro del tubo: 5 mm
Si sono inserite 3 strozzature, una con rapporto 0.1 e due con rapporto 0.2, per un totale di $k_5 = 250$.

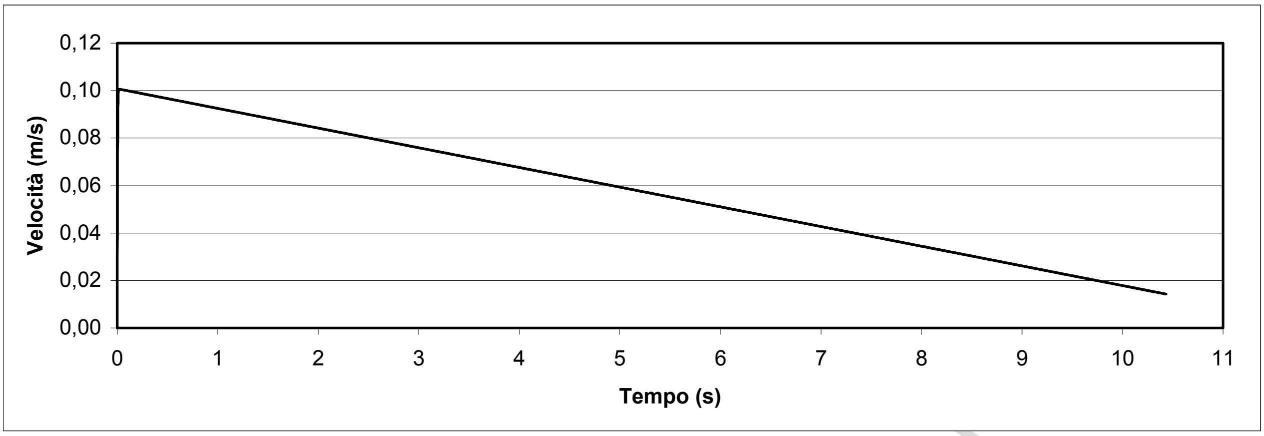




Durata della corsa: 9.794 s
Velocità massima raggiunta: 0.134 m/s
Velocità a fine corsa: 2.95 cm/s

Martinetto 2
Diametro del tubo: 1 mm (si ritiene di poter ancora trascurare le perdite di carico in questo tubo dato che non ne è specificata la lunghezza e quindi lo si suppone molto corto)
Si sono inserite 2 strozzature, una con rapporto 0.5 e una con rapporto 0.6, per un totale di $k_5 = 4$.





Durata della corsa: 10.433 s
Velocità massima raggiunta: 0.101 m/s
Velocità a fine corsa: 1.43 cm/s

c) Calcolare la potenza idraulica che la pompa deve fornire nell'ipotesi che l'azionamento dei due martinetti non sia mai contemporaneo.

La potenza necessaria si avrà in occasione della massima portata, che si ha, per ognuno dei due martinetti, quando la velocità del pistone è massima. Dato che il primo pistone ha un diametro maggiore e una velocità massima maggiore, il dimensionamento sarà basato sul primo martinetto. Si ipotizza un rendimento volumetrico pari a 0.96:

$$P_I = \frac{\dot{x}_{MAX1} A_1 \left(p - 1\,\mathrm{bar}\right)}{\eta_v} \cong 4.29\,\mathrm{kW}$$