

Air Duct Calculation

Marco Manzan

**University of Trieste
Department of Engineering and Architecture**

May 2024

Basic Concepts

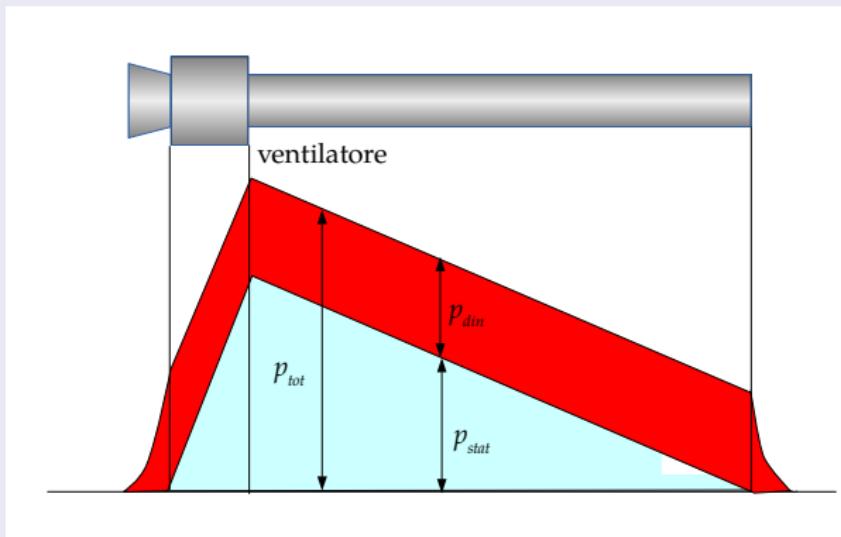
- With constant cross-section in segments (section changes are localized).
- Composed of different branches, with splits and mergers that cause variations in flow rate.
- The air velocity in the ducts must be chosen based on the system's use and the location of the ducts to limit noise.
- Velocity is also important because it determines the pressure distribution within the ducts.
- In junctions and branches, all arms have the same static pressure value.

Dynamic and Total Pressure

$$P_{dyn} = \frac{1}{2} \rho v^2 > 0 \quad [Pa]$$

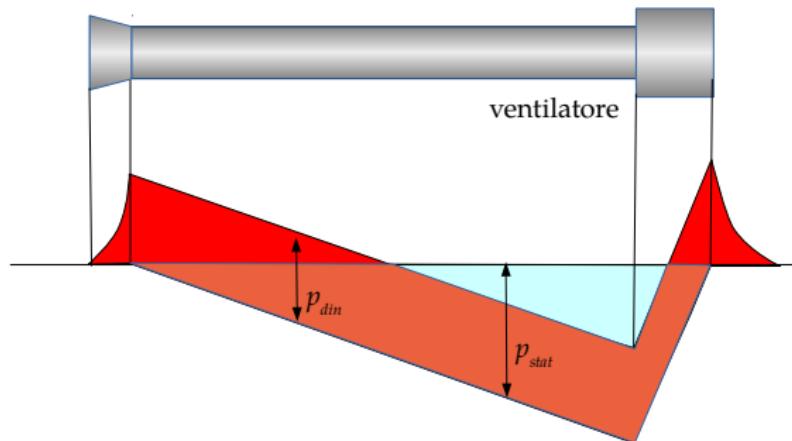
$$P_{tot} = P_{dyn} + P_{stat}$$

Pressure Trend in a Duct



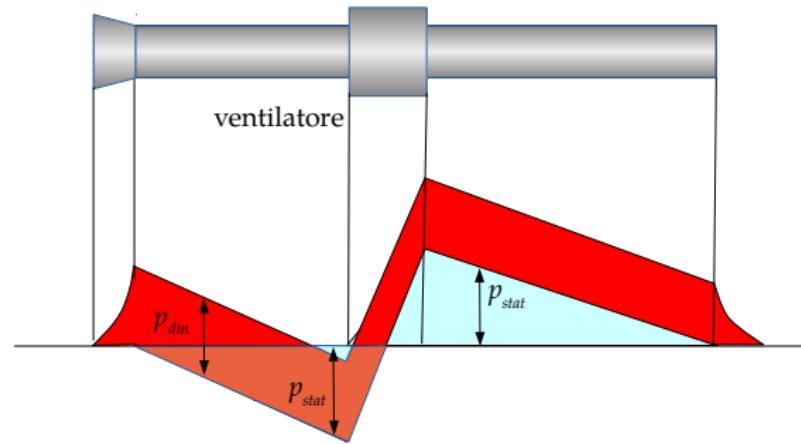
Pressure and Fans

Suction

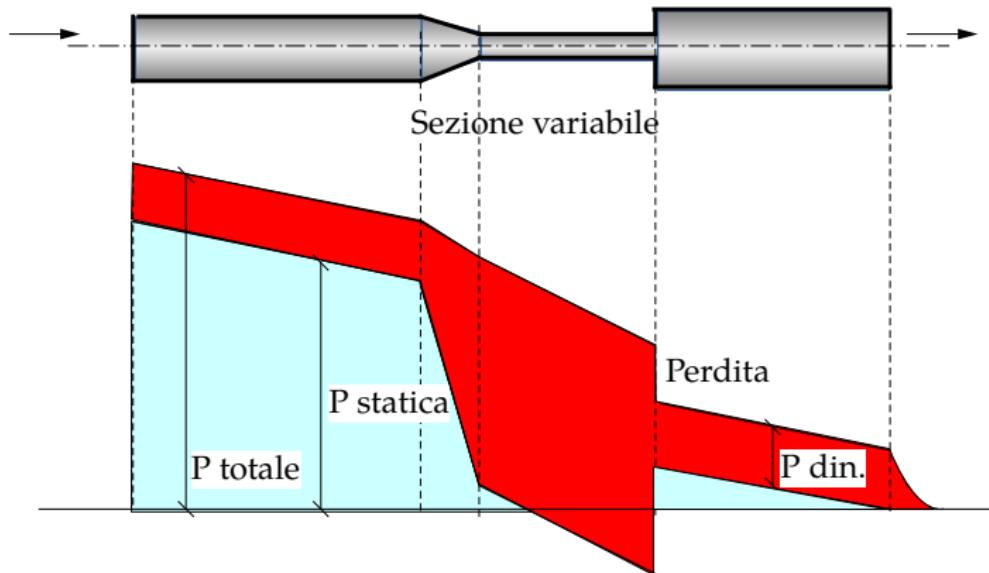


Pressure and Fans

Intermediate Fan



Variable Cross-Section



dict air velocity

Componente	Impianti		
	residential (m/s)	commercial (m/s)	industrial (m/s)
external inlet	2,5-4,0	2,5-4,5	2,5-6,0
Filteers	1,3-1,5	1,5-1,8	1,8-2,5
cold coil	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,8
hot coil	2,3-2,5	2,5-4,0	3,5-5,0
ventilator inlet	3,5-4,5	4,0-5,0	5,0-7,0
ventilator outlet	5,8-8,5	6,5-11,0	8,0-14,0
principal air duct	3,5-6,0	5,0-8,0	6,0-11,0
derivated air duct	3,0-5,0	3,0-6,5	4,5-9,0

Pressure losses

Continuous pressure losses

$$\Delta P_{dist} = \frac{f_a}{D_h} \rho \frac{v^2}{2} L = \frac{f}{D} P_{dyn} L$$

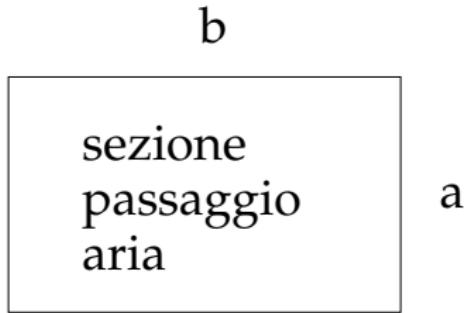
f_a friction factor

ρ fluid density

L duct length

D_h duct diameter if circular

Rectangular section



Equivalent Diameter

$$D_{eq} = 1,3 \frac{(ab)^{0,625}}{(a+b)^{0,25}}$$
$$1 \leq \frac{b}{a} \leq 4$$

Standard duct sizes

lunghezza del lato [mm]	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	A _t
200	0,02	0,03	0,04									d _t
	133	171	200									
149	186	218										d _t
	0,6	0,7	0,8									A _t
250	0,025	0,038	0,05	0,063								A _t
	143	188	222	250								d _t
165	206	241	273									d _t
	0,7	0,8	0,9	1								A _t
300	0,03	0,045	0,06	0,075	0,09							A _t
	150	200	240	273	300							d _t
180	224	262	296	327								d _t
	0,3	0,9	1	1,1	1,2							A _t
400	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12	0,16						A _t
	160	218	267	308	343	400						d _t
205	255	299	337	373	436							d _t
	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6						A _t
500	0,075	0,1	0,13	0,15	0,2	0,25						A _t
	231	286	333	375	444	500						d _t
283	331	374	413	483	545							d _t
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2						A _t
600	0,09	0,12	0,15	0,18	0,24	0,3	0,36					A _t
	240	300	353	400	480	545	600					d _t
307	359	406	448	524	592	654						d _t
	1,5	1,6	1,7	1,8	2	2,2	2,4					A _t
800	0,16	0,2	0,24	0,32	0,4	0,48	0,64					A _t
	320	381	436	533	615	686	800					d _t
410	463	511	598	675	745	872						d _t
	2	2,1	2,2	2,4	2,6	2,8	3,2					A _t

lunghezza del lato [mm]	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1000	1200	A _t
1000					0,25	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	1	A _t
	400	462	571	667	750	889	1000					d _t
512	566	662	747	825	965	1090						d _t
	2,5	2,6	2,8	3	3,2	3,6	4					A _t
1200					0,36	0,48	0,6	0,72	0,96	1,2	1,44	A _t
	480	600	706	800	960	1091	1200					d _t
614	719	812	896	1049	1184	1308	1403					d _t
	3	3,2	3,4	3,6	4	4,4	4,8					A _t
1400					0,56	0,7	0,84	1,12	1,4	1,68	1,8	A _t
	622	737	840	1018	1167	1292	1403					d _t
771	871	962	1125	1270	1403	1527	1640					d _t
	3,6	3,8	4	4,4	4,8	5,2	5,6					A _t
1600					0,64	0,8	0,96	1,28	1,6	1,92	2,16	A _t
	640	762	873	1067	1231	1371	1527					d _t
819	925	1022	1195	1350	1491	1640	1783					d _t
	4	4,2	4,4	4,8	5,2	5,6	6,0					A _t
1800					0,9	1,08	1,44	1,8	2,16	2,6	3,12	A _t
	783	900	1108	1286	1440	1600	1764					d _t
976	1078	1261	1424	1573	1727	1876	2020					d _t
	4,6	4,8	5,2	5,6	6	7,2	8,0					A _t
2000					1	1,2	1,6	2	2,4	3,0	3,6	A _t
	800	923	1143	1333	1500	1673	1840					d _t
1024	1131	1323	1494	1650	1813	1976	2133					d _t
	5	5,2	5,6	6	6,4	7,2	8,0					A _t

Friction factor computation

Colebrook

$$\frac{1}{\sqrt{f_a}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{f_a}} \right)$$

Atshul e Tsaal

$$f' = 0,11 \cdot \left(\frac{\varepsilon}{D_h} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}$$

$$\text{se } f' \geq 0,018 : \quad f_a = f'$$

$$\text{se } f' < 0,018 : \quad f_a = 0,85 \cdot f' + 0,0028$$

ε duct rugosity

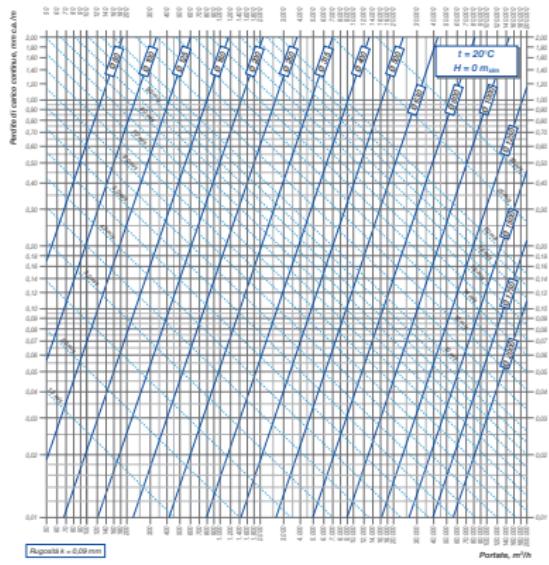
Re Reynolds number

rugosity

material	typology	rugosità ε [mm]
PVC		0,01-0,05
Alluminium	smooth	0,01-0,05
Steel		0,05
galvanized steel		0,05-0,10
galvanized steel continuous	medium	0,06 - 0,12
galvanized spiral duct		0,09 - 0,12
metal flexible		1,2-2,1
not metal flexible	rough	1,0-4,6

Friction chart

Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI “LISCI” – $t = 20^\circ\text{C}$, $H = 0 \text{ m}_{\text{alm}}$



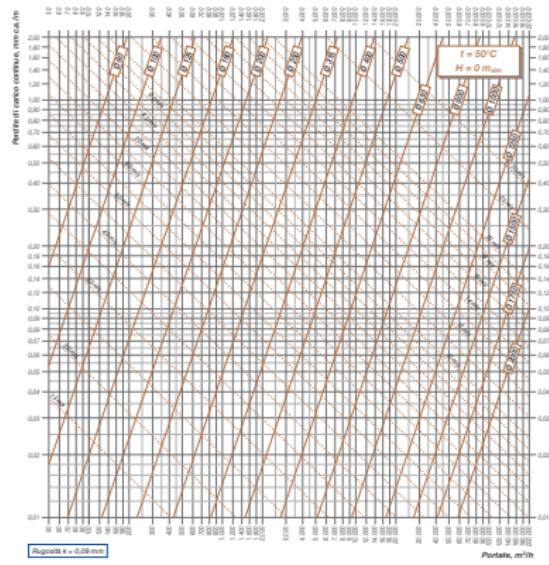
ES-1

CALEFFI

ES-1

fonte Caleffi

Perdite di carico continue dell'aria – CONDOTTI CIRCOLARI “LISCI” – $t = 50^\circ\text{C}$, $H = 0 \text{ m}_{\text{alm}}$



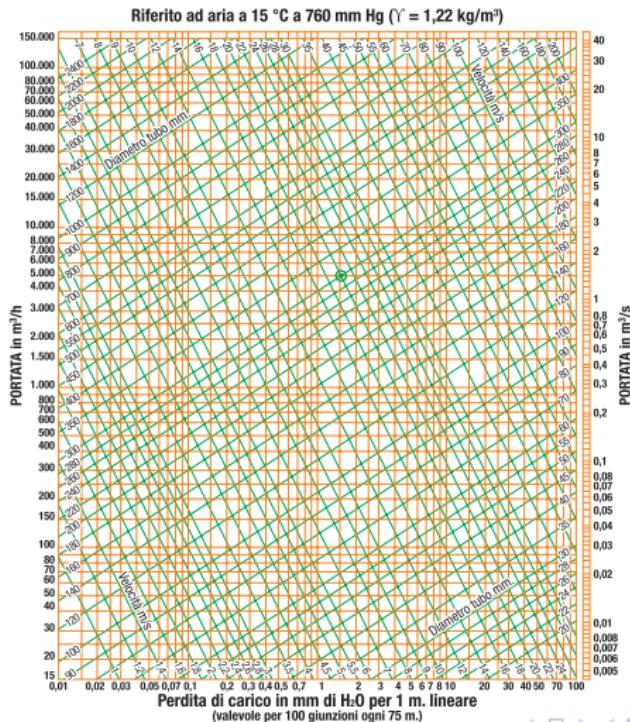
ES-2

CALEFFI

ES-2

Friction chart

> Diagramma perdite di carico <



fitting losses

Direct method

$$\Delta P_{conc} = \xi \frac{\rho v^2}{2} \text{ [Pa]}$$

$$\Delta P_{conc} = \xi_1 \frac{\rho v_1^2}{2} = \xi_2 \frac{\rho v_2^2}{2}$$

equivalent length

$$L_{eq} = f \left(\frac{L}{D} \right)$$

$$L_{tot} = L_{effettiva} + \sum L_{eq}$$

fitting losses

> Tabella resistenze accidentali <

Canali rettangolari - valori indicativi dei coefficienti ξ - derivazioni e confluenze

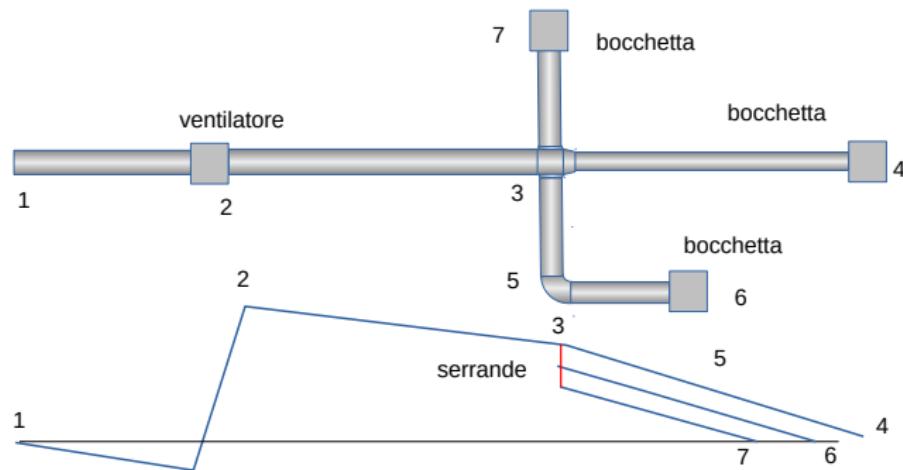
INGRESSO E SCARICO	Pressione dinamica $pd = \frac{\gamma C^2}{2 g}$		Per $\frac{\gamma}{g} = 1,22 \text{ kg/m}^3$	
	C	mm H ₂ O	pd	m/s
Derivazione a 90°	1	1	1	4
Derivazione con riduzione a 90°	1.6	5	1.6	5
Derivazione a 20°, 45° e 60°	2.2	6	2.2	6
Derivazione con riduzione a 30°, 45° e 60°	3	7	3	7
Confluenza a doppia curva	4	8	4	8
Derivazione ad V	5	9	5	9
Confluenza ad V	6	10	6	10
Derivazione a T	7	11	7	11
Confluenza a T	8	12	8	12
Confluenza a doppia curva	9	13	9	13
Derivazione con riduzione a T	10	14	10	14
Confluenza con riduzione a T	11	15	11	15
Confluenza a 20°, 45° e 60°	12	16	12	16
Derivazione a 30°, 45° e 60°	13	17	13	17
Confluenza a 30°, 45° e 60°	14	18	14	18
Derivazione a 90° con riduzione	15	19	15	20
Confluenza a 90° con riduzione	16	21	16	22
Derivazione a 20°, 45° e 60° con riduzione	17	22	17	23
Confluenza a 20°, 45° e 60° con riduzione	18	23	18	24
Derivazione a 30°, 45° e 60° con riduzione	19	24	19	25
Confluenza a 30°, 45° e 60° con riduzione	20	25	20	26
Derivazione a doppia curva con riduzione	21	26	21	27
Confluenza a doppia curva con riduzione	22	27	22	28
Derivazione ad V con riduzione	23	28	23	29
Confluenza ad V con riduzione	24	29	24	30
Derivazione a T con riduzione	25	30	25	31
Confluenza a T con riduzione	26	31	26	32
Confluenza a doppia curva con riduzione	27	32	27	33
Derivazione con riduzione a T con riduzione	28	33	28	34
Confluenza con riduzione a T con riduzione	29	34	29	35
Derivazione a 20°, 45° e 60° con riduzione a T	30	35	30	36
Confluenza a 20°, 45° e 60° con riduzione a T	31	36	31	37
Derivazione a 30°, 45° e 60° con riduzione a T	32	37	32	38
Confluenza a 30°, 45° e 60° con riduzione a T	33	38	33	39
Derivazione a 90° con riduzione a T	34	39	34	40
Confluenza a 90° con riduzione a T	35	40	35	41
Derivazione a 20°, 45° e 60° con riduzione a 90°	36	41	36	42
Confluenza a 20°, 45° e 60° con riduzione a 90°	37	42	37	43
Derivazione a 30°, 45° e 60° con riduzione a 90°	38	43	38	44
Confluenza a 30°, 45° e 60° con riduzione a 90°	39	44	39	45
Derivazione a doppia curva con riduzione a T	40	45	40	46
Confluenza a doppia curva con riduzione a T	41	46	41	47
Derivazione ad V con riduzione a T	42	47	42	48
Confluenza ad V con riduzione a T	43	48	43	49
Derivazione a T con riduzione a T	44	49	44	50
Confluenza a T con riduzione a T	45	50	45	51
Derivazione a doppia curva con riduzione a doppia curva	46	51	46	52
Confluenza a doppia curva con riduzione a doppia curva	47	52	47	53
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	48	53	48	54
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	49	54	49	55
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	50	55	50	56
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	51	56	51	57
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	52	57	52	58
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	53	58	53	59
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	54	59	54	60
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	55	60	55	61
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	56	61	56	62
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	57	62	57	63
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	58	63	58	64
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	59	64	59	65
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	60	65	60	66
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	61	66	61	67
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	62	67	62	68
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	63	68	63	69
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	64	69	64	70
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	65	70	65	71
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	66	71	66	72
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	67	72	67	73
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	68	73	68	74
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	69	74	69	75
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	70	75	70	76
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	71	76	71	77
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	72	77	72	78
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	73	78	73	79
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	74	79	74	80
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	75	80	75	81
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	76	81	76	82
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	77	82	77	83
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	78	83	78	84
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	79	84	79	85
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	80	85	80	86
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	81	86	81	87
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	82	87	82	88
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	83	88	83	89
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	84	89	84	90
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	85	90	85	91
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	86	91	86	92
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	87	92	87	93
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	88	93	88	94
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	89	94	89	95
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	90	95	90	96
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	91	96	91	97
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	92	97	92	98
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	93	98	93	99
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	94	99	94	100
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	95	100	95	101
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	96	101	96	102
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	97	102	97	103
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	98	103	98	104
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	99	104	99	105
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	100	105	100	106
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	101	106	101	107
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	102	107	102	108
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	103	108	103	109
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	104	109	104	110
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	105	110	105	111
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	106	111	106	112
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	107	112	107	113
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	108	113	108	114
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	109	114	109	115
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	110	115	110	116
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	111	116	111	117
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	112	117	112	118
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	113	118	113	119
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	114	119	114	120
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	115	120	115	121
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	116	121	116	122
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	117	122	117	123
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	118	123	118	124
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	119	124	119	125
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	120	125	120	126
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	121	126	121	127
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	122	127	122	128
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	123	128	123	129
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	124	129	124	130
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	125	130	125	131
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	126	131	126	132
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	127	132	127	133
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	128	133	128	134
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	129	134	129	135
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	130	135	130	136
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	131	136	131	137
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	132	137	132	138
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	133	138	133	139
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	134	139	134	140
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	135	140	135	141
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	136	141	136	142
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	137	142	137	143
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	138	143	138	144
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	139	144	139	145
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	140	145	140	146
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	141	146	141	147
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	142	147	142	148
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	143	148	143	149
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	144	149	144	150
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	145	150	145	151
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	146	151	146	152
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	147	152	147	153
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	148	153	148	154
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	149	154	149	155
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	150	155	150	156
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	151	156	151	157
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	152	157	152	158
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	153	158	153	159
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	154	159	154	160
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	155	160	155	161
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	156	161	156	162
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	157	162	157	163
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	158	163	158	164
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	159	164	159	165
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	160	165	160	166
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	161	166	161	167
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	162	167	162	168
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	163	168	163	169
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	164	169	164	170
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	165	170	165	171
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	166	171	166	172
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	167	172	167	173
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	168	173	168	174
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	169	174	169	175
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	170	175	170	176
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	171	176	171	177
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	172	177	172	178
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	173	178	173	179
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	174	179	174	180
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	175	180	175	181
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	176	181	176	182
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	177	182	177	183
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	178	183	178	184
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	179	184	179	185
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	180	185	180	186
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	181	186	181	187
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	182	187	182	188
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	183	188	183	189
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	184	189	184	190
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	185	190	185	191
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	186	191	186	192
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	187	192	187	193
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	188	193	188	194
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	189	194	189	195
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	190	195	190	196
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	191	196	191	197
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	192	197	192	198
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	193	198	193	199
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	194	199	194	200
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	195	200	195	201
Derivazione ad V con riduzione a doppia curva	196	201	196	202
Confluenza ad V con riduzione a doppia curva	197	202	197	203
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	198	203	198	204
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	199	204	199	205
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	200	205	200	206
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	201	206	201	207
Derivazione a doppia curva con riduzione ad T	202	207	202	208
Confluenza a doppia curva con riduzione ad T	203	208	203	209
Derivazione ad T con riduzione a doppia curva	204	209	204	210
Confluenza ad T con riduzione a doppia curva	205	210	205	211
Derivazione a doppia curva con riduzione ad V	206	211	206	212
Confluenza a doppia curva con riduzione ad V	207	212		

Equal friction method

- quick and simple method
- ideal for symmetrical systems with similar distances between vents and fans
- the ducts are sized with the same pressure loss per unit of length
- it must be checked that the pressure at the vents is sufficient
- they must be balanced
 - chnage sizes
 - dampers insertion

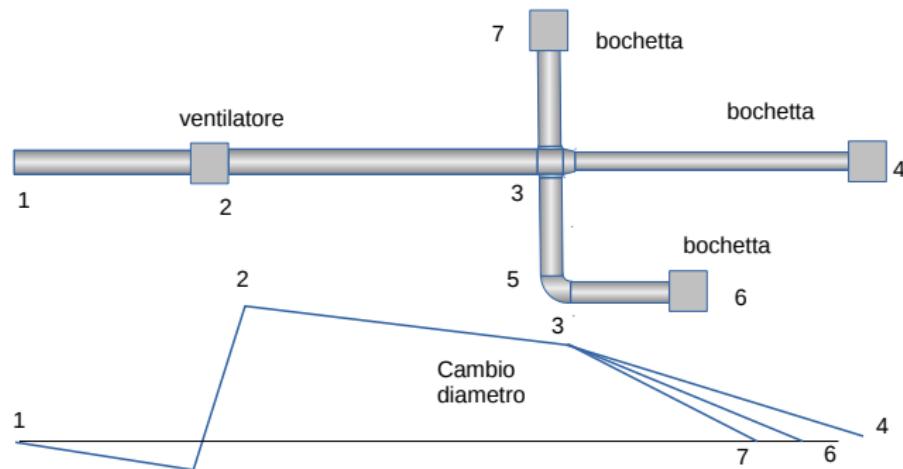
Equal friction method

system balancing with dampers



Equal friction methods

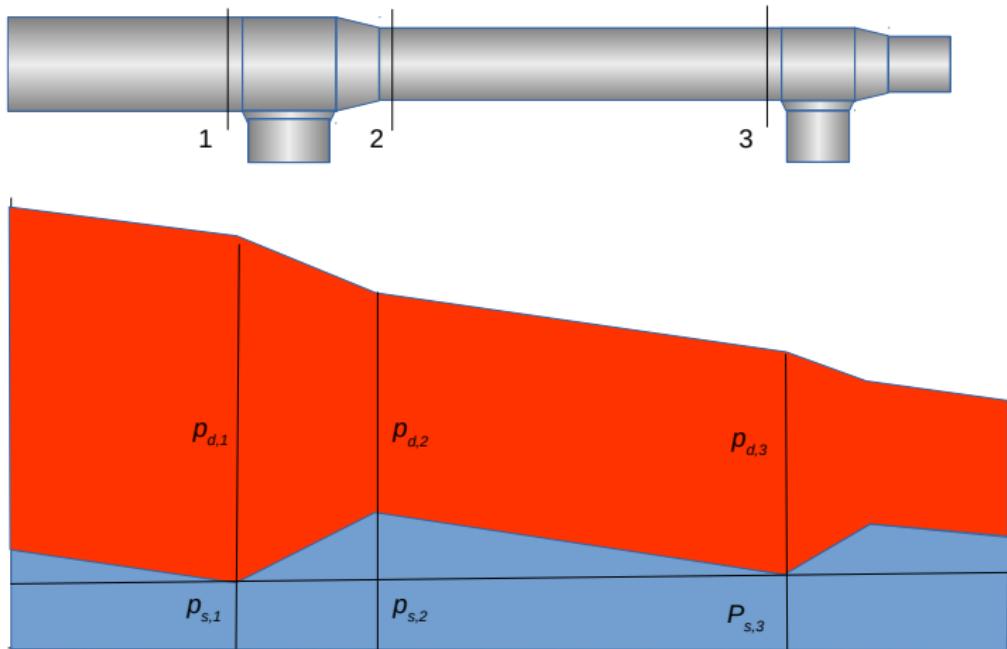
system balance by changing duct diameter



Static regain method

- at each section change the dynamic pressure is transformed into static pressure
- the value of P_{stat} is maintained at the beginning of each section
- the static pressure is kept constant
- can be used to maintain low pressures on the duct wall
- iterative solution
- more balanced network

Pressure distribution



Duct sizing

pressure

$$p_{t,1} = p_{s,1} + p_{d,1}$$

$$p_{t,3} = p_{s,3} + p_{d,3}$$

static pressure

$$p_{s,1} = p_{t,1} - p_{d,1}$$

$$p_{s,3} = p_{t,3} - p_{d,3}$$

constant static pressure

$$p_{s,1} - p_{s,3} = p_{t,1} - p_{t,3} - (p_{d,1} - p_{d,3}) = 0$$

$$p_{s,1} - p_{s,3} = (p_{t,1} - p_{t,2}) + (p_{t,2} - p_{t,3}) + (p_{d,3} - p_{d,1}) = 0$$

Duct sizing

parts of the relation

$(p_{t,1} - p_{t,2})$ pressure loss due to diverging fitting

$(p_{t,2} - p_{t,3})$ friction pressure loss between section 2 and 3

$(p_{d,3} - p_{d,1})$ velocity pressure difference between section 3 and 1

different static pressure

- duct sizes are limited
- usually static pressure are not equal
- the diameter must be changed with a trial and error approach
- example : $p_{s,1} - p_{s,3} > 0$

$$p_{s,1} - p_{s,3} = (p_{t,1} - p_{t,2}) + (p_{t,2} - p_{t,3}) + (p_{d,3} - p_{d,1}) > 0$$

Duct sizing

Increase duct diameter of section 2-3

- $(p_{t,1} - p_{t,2})$ pressure loss must be computed from fittings tables
- $(p_{t,2} - p_{t,3}) \Downarrow$ friction pressure loss decreases since the diameter increased
- $(p_{d,3} - p_{d,1}) \Downarrow$ decrease, $p_{d,3}$ decreases due to the lower velocity
- $(p_{s,1} - p_{s,3}) \Downarrow$ decrease, before $(p_{s,1} - p_{s,3}) > 0$

$$p_{s,1} - p_{s,3} = (p_{t,1} - p_{t,2}) + (p_{t,2} - p_{t,3}) - (p_{d,1} - p_{d,3}) \Downarrow$$

Pressure difference is corrected

$$p_{s,1} - p_{s,3} = (p_{t,1} - p_{t,2}) + (p_{t,2} - p_{t,3}) - (p_{d,1} - p_{d,3}) \simeq 0$$