

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



AEREAULIC PLANT PRESSURE LOSSES AND PLANT SIZING

Laura Carnieletto, PhD

laura.carnieletto@unive.it

OUTLINE

- Introduction
 - Sizing
 - Pressure drop (localized/continuous)
- Case study
- Design
- Main output
- Conclusions

INTRODUCTION

MAIN PLANT ELEMENTS OF A FULL-AIR CONDITIONING SYSTEM

GENERATION SYSTEM



Gas boiler, chiller,
heat pumps, etc.

AHU Air Handling Unit (UTA – unità di trattamento aria)



Filters
Air dampers (*serrande*)
Heating/cooling coil
(*batterie di riscaldamento/raffrescamento*)
De/humidification sections
Fans (*ventilatori*)

AIR DISTRIBUTION SYSTEM



Air distribution ducts

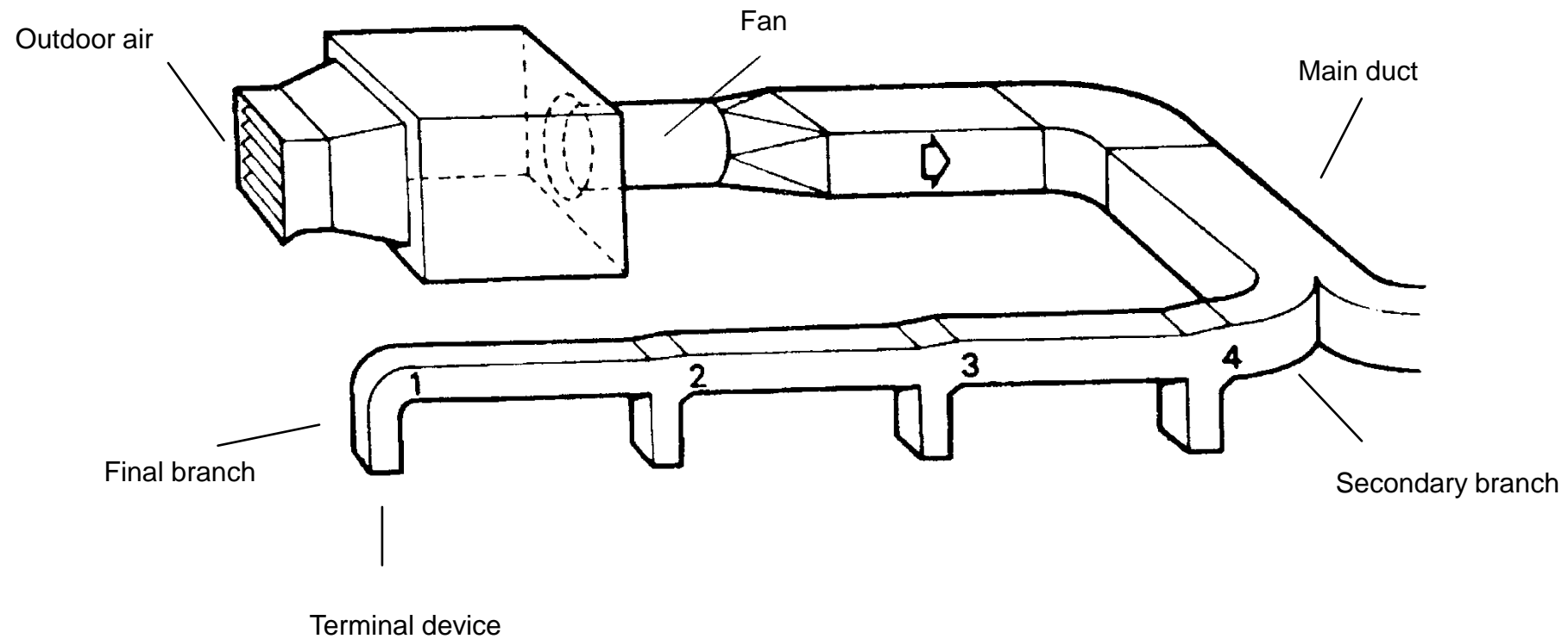
SIZING TOOL

AIR TERMINAL UNIT



Exhaust/supply/fresh air
terminal device
(*Bocchette*)

INTRODUCTION



SIZING AN AEREAULIC SYSTEM

- Define physical dimension of the ducts and the fan, which should provide the air movement while overcoming pressure drops
- To size any duct. the air flow (G) is needed as input

$$[\text{m}^3/\text{s}] \quad G = S \circ v$$



PROS

Small dimension means small overall cost

Easier positioning

Reduced necessary technical space

CONS

High fluid velocity, must take into account vibrations and noise

High fluid-duct wall frictions require higher costs to keep the flow moving

PRESSURE DROP

To set a fluid in motion a pressure difference between inlet and outlet sections will be needed.

$$\Delta P = \Delta P_k + \Delta P_p + \Delta P_f$$

ΔP_k : kinetic energy variation

ΔP_p : potential energy variation

ΔP_f : friction pressure loss

Friction pressure loss (or pressure loss) is due to two components:

- Localised pressure drop: occurs whenever flow meets discontinuity in its path
- Continuous pressure drop: occurs because of fluid-wall interactions

LOCALISED PRESSURE DROP

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

- ρ fluid density $\left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right]$

- v mean fluid velocity $\left[\frac{\text{m}}{\text{s}}\right]$

- ξ localised p.d. coefficient [/]

ξ coefficient is established on the basis of the particular type of loss, usually tabulated for the most common circuit elements (curves, branches etc.)

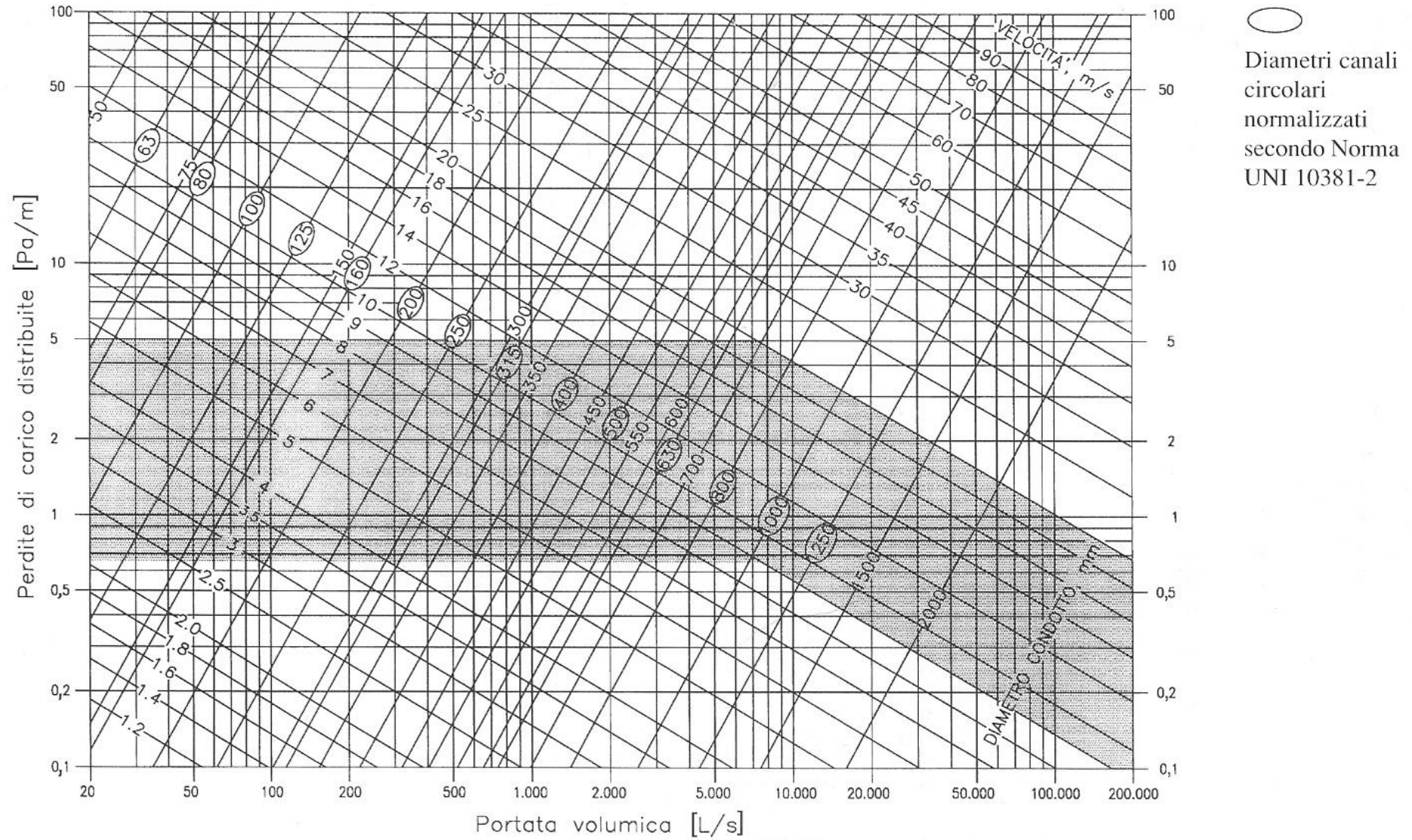

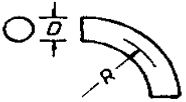
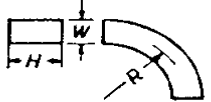
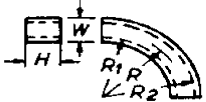





Fig. 1 - Abaco per la determinazione delle perdite di carico distribuite (massa volumica $1,204 \text{ kg/m}^3$, rugosità $\varepsilon = 0,09 \text{ mm}$)

TABLES TO DEFINE LOCALISED PRESSURE DROP

TIPO	FIGURA	CARATTERISTICHE	PERDITA DI PRESSIONE			
			C	L/D	L/W	
CURVA A N°		RETTANGOLARE O ROTONDA; CON O SENZA ALETTE	N°/90 x PERDITA DI UNA CURVA UGUALE A 90°			
CURVA A 90° SEZIONE ROTONDA		GOMITO	1,30	65		
		R/D = 0,5	0,90			
		0,75	0,45	23		
		1,0	0,33	17		
		1,5	0,24	12		
2,0	0,19	10				
CURVA A 90° SEZIONE RETTANGOLARE		H/W				
		R/W				
		0,25	GOMITO	1,25		25
			0,5	1,25		25
			0,75	0,60		12
			1,0	0,37		7
			1,5	0,19		4
		0,5	GOMITO	1,47		49
			0,5	1,10		40
			0,75	0,50		16
			1,0	0,28		9
			1,5	0,13		4
		1,0	GOMITO	1,50		75
			0,5	1,00		50
			0,75	0,41		21
1,0	0,22			11		
1,5	0,09			4,5		
4,0	GOMITO	1,38		110		
	0,5	0,96		65		
	0,75	0,37		43		
	1,0	0,19		17		
	1,5	0,07		6		

TIPO	FIGURA	R/W R1/W R2/W			C	L/D	L/W
CURVA A 90° SEZIONE RETTANGOLARE CON DEFLETTORI		GOMITO 0,5	0,5		0,70		28
		0,5	0,4				
		0,7	0,6				
		1,0	1,0				
		1,5					
		1,5	0,3	0,5			
0,5	0,2	0,4	16				
0,75	0,4	0,7	0,12				
1,0	0,7	1,0	0,10				
1,5	1,3	1,5	0,15				
GOMITO CON ALETTE		C = 0,10 ÷ 0,35 SECONDO LA COSTRUZIONE					
GOMITO A T CON ALETTE		CONSIDERARLO UGUALE AD UNA CURVA ANALOGA. PERDITA BASATA SULLA VELOCITA' IN ENTRATA					
T CURVILINEO		CONSIDERARLO UGUALE AD UNA CURVA ANALOGA. PERDITA BASATA SULLA VELOCITA' IN ENTRATA					

CONTINUOUS PRESSURE DROP

$$\frac{\Delta P_c}{L} = \frac{\rho v^2 f}{2 D} \quad \left[\frac{Pa}{m} \right]$$

- ρ fluid density $\left[\frac{kg}{m^3} \right]$
- v mean fluid velocity $\left[\frac{m}{s} \right]$
- f friction factor [/]
- L pipe length [m]
- D pipe diameter [m]

The friction factor **f** is determined either analytically or via appropriate diagrams.

It depends on:

- Fluid density, viscosity and velocity
- Duct diameter and roughness

TOOL INPUT/OUTPUT

INPUT TOOL

Number of secondary branches → Number of final branches

Final branches air flow

Size of the ducts

Materials of the ducts

Lengths of the ducts

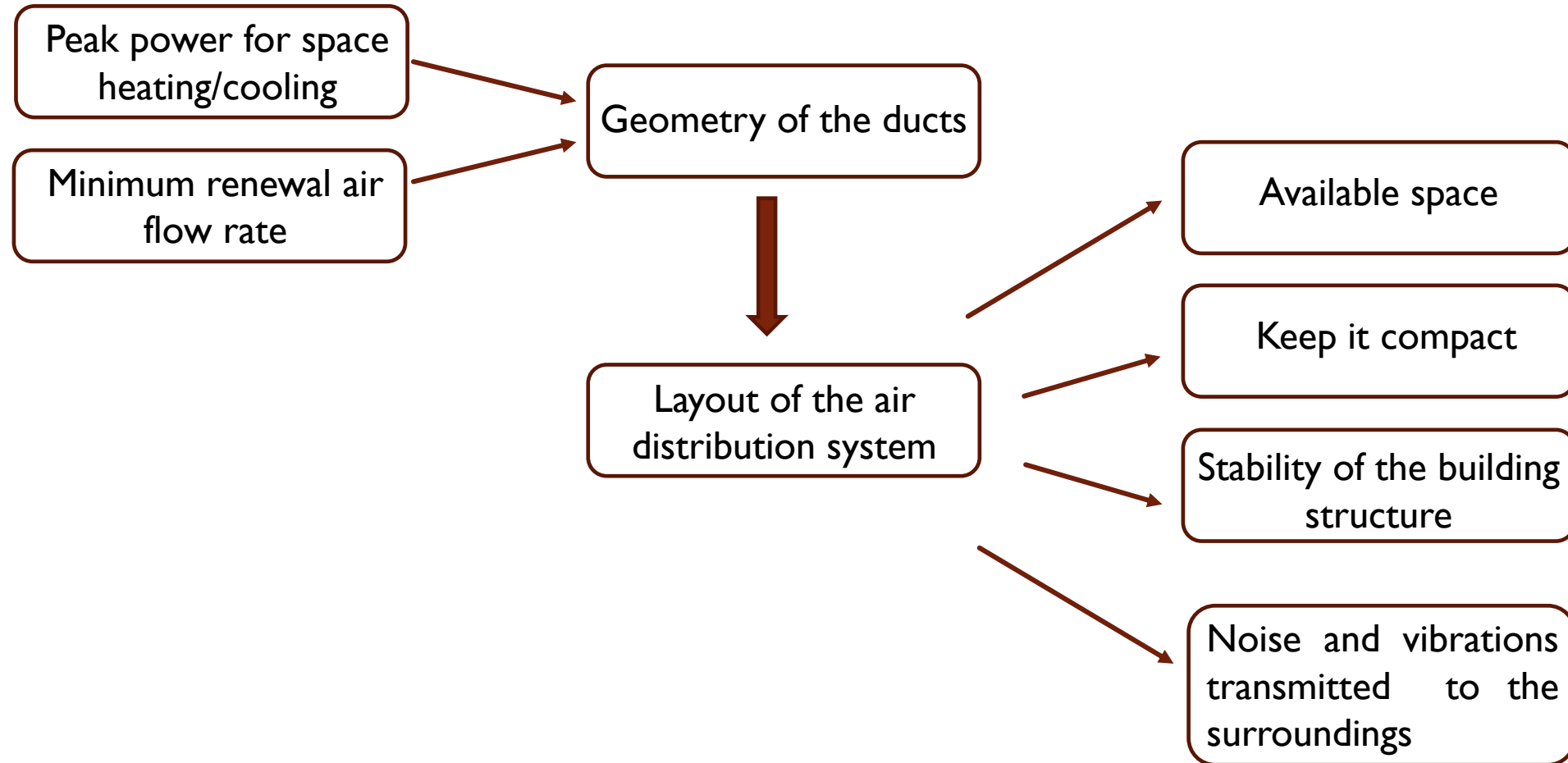
Particular circuit elements (curves, collars, etc.)

OUTPUT TOOL

Pressure losses of the aerualic circuit

CIRCUIT GEOMETRY

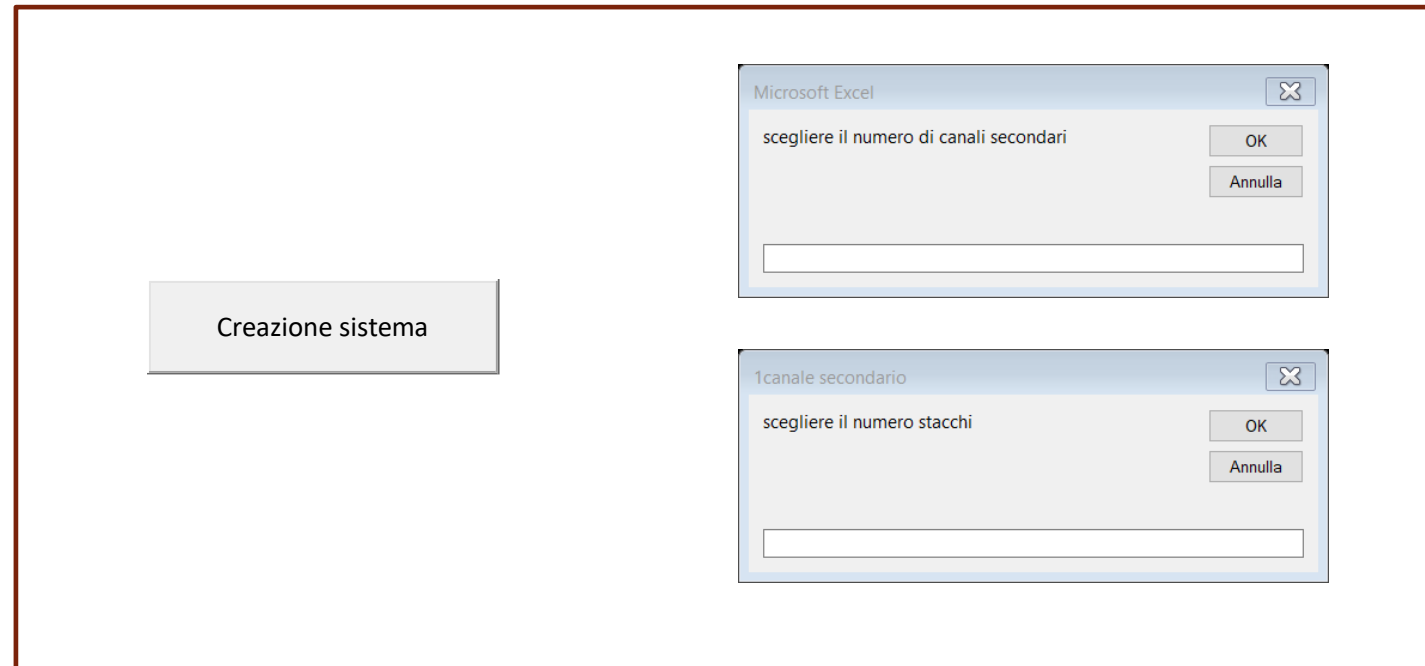
STEP 1



CIRCUIT GEOMETRY

Set up the **circuit geometry** and its place in the building.

STEP 1



DISTRIBUTION LINE DESIGN

STEP 2

Deciding the flow rate for each section of the plant according to the specific needs of every environment (both extraction and immission)

a) Calculated and specific for the case study

b) Defined from tables and standards

Prospetto III - Portate di aria esterna in edifici adibiti ad uso civile

Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} (10^{-3} m ³ /s per persona)	Q_{os} (10^{-3} m ³ /s m ²)	
EDIFICI ADIBITI A RESIDENZA E ASSIMILABILI			
RESIDENZE A CARATTERE CONTINUATIVO			
- Abitazioni civili:			
• soggiorni, camere da letto	11	-	A
• cucina, bagni, servizi		estrazioni	
- Collegi, luoghi di ricovero, case di pena, caserme, conventi:			
• sale riunioni	9*	-	-
• dormitori/camere	11	-	-
• cucina	-	16,5	-
• bagni/servizi		estrazioni	A
RESIDENZE OCCUPATE SALTUARIAMENTE			
Vale quanto prescritto per le residenze a carattere continuativo			
ALBERGHI, PENSIONI ecc.			
• ingresso, soggiorni	11	-	-
• sale conferenze (piccole)	5,5*	-	-
• auditori (grandi)	5,5*	-	-
• sale da pranzo	10	-	-
• camere da letto	11	-	-
• bagni, servizi		estrazioni	-
EDIFICI PER UFFICI E ASSIMILABILI			
• uffici singoli	11	-	-
• uffici open space	11	-	-
• locali riunione	10*	-	-
• centri elaborazione dati	7	-	-
• servizi		estrazioni	A

(segue prospetto)

Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona)	Q_{os} ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s m}^2$)	
OSPEDALI, CLINICHE, CASE DI CURA E ASSIMILABILI **			
• degenze (2-3 letti)	11	-	-
• corsie	11	-	-
• camere sterili	11	-	-
• camere per infettivi	-	-	D
• sale mediche/soggiorni	8,5	-	-
• terapie fisiche	11	-	-
• sale operatorie/sale parto	-	-	D
• servizi	-	estrazioni	A
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ RICREATIVE ASSOCIATIVE DI CULTO E ASSIMILABILI			
CINEMA, TEATRI, SALE PER CONGRESSI			
• atri, sale di attesa, bar	-	estrazioni	-
• platee, loggioni, aree per il pubblico, sale cinematografiche, sale teatrali, sale per riunioni senza fumatori	5,5*	-	-
• palcoscenici, studi TV	12,5*	-	-
• sale riunioni con fumatori	10*	-	-
• servizi	-	estrazioni	A
• borse titoli	10*	-	-
• sale attesa stazioni e metropolitane, ecc.	-	estrazioni	A
MOSTRE, MUSEI, BIBLIOTECHE, LUOGHI DI CULTO			
• sale mostre, pinacoteche, musei	6*	-	-
• sale lettura biblioteche	5,5*	-	-
• depositi libri	-	1,5	-
• luoghi di culto	6*	-	-
• servizi	-	estrazioni	A
BAR, RISTORANTI, SALE DA BALLO			
• bar	11	-	A
• pasticcerie	6	-	A
• sale pranzo ristoranti e self-service	10	-	-
• sale da ballo	16,5*	-	-
• cucine	-	16,5	-
• servizi	-	estrazioni	A
ATTIVITÀ COMMERCIALI E ASSIMILABILI			
- grandi magazzini - piano interrato	9	-	B
- grandi magazzini - piani superiori	6,5	-	-
- negozi o reparti di grandi magazzini:			
• barbieri, saloni bellezza	14	-	-
• abbigliamento, calzature, mobili, ottici, fioristi, fotografi	11,5	-	-
• alimentari, lavasecco, farmacie	9	-	-
- zone pubblico banche, quartieri fieristici	10	-	-

(segue prospetto)

(segue del prospetto)			
Categorie di edifici	Portata di aria esterna o di estrazione		Note
	Q_{op} ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ per persona)	Q_{os} ($10^{-3} \text{ m}^3/\text{s m}^2$)	
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SPORTIVA			
PISCINE, SAUNE E ASSIMILABILI			
- piscine (sala vasca)	-	2,5	C
• spogliatoi/servizi	-	estrazioni	A
- saune	-	2,5	C
PALESTRE E ASSIMILABILI			
- palazzetti sportivi	6,5*	-	-
- bowling	10	-	-
- palestre			
• campi gioco	16,5*	-	-
• zone spettatori	6,5*	-	-
- altri locali			
• spogliatoi/servizi atleti	-	estrazioni	A
• servizi pubblico	-	estrazioni	A
EDIFICI ADIBITI AD ATTIVITÀ SCOLASTICHE E ASSIMILABILI			
- asili nido e scuole materne	4	-	-
- aule scuole elementari	5	-	-
- aule scuole medie inferiori	6	-	-
- aule scuole medie superiori	7	-	-
- aule universitarie	7	-	-
• transiti, corridoi	-	-	-
• servizi	-	estrazioni	A
- altri locali:			
• biblioteche, sale lettura	6	-	-
• aule musica e lingue	7	-	-
• laboratori	7	-	-
• sale insegnanti	6	-	-

* Salvo le indicazioni di cui in §.1.1.1.

** Per gli ambienti di questa categoria non è ammesso utilizzare aria di ricircolo.

Note: A - Ricambio richiesto nei servizi igienici:

- edifici adibiti a residenza e assimilabili 0,0011 vol/s (4 vol/h);

- altre categorie in tabella 0,0022 vol/s (8 vol/h),

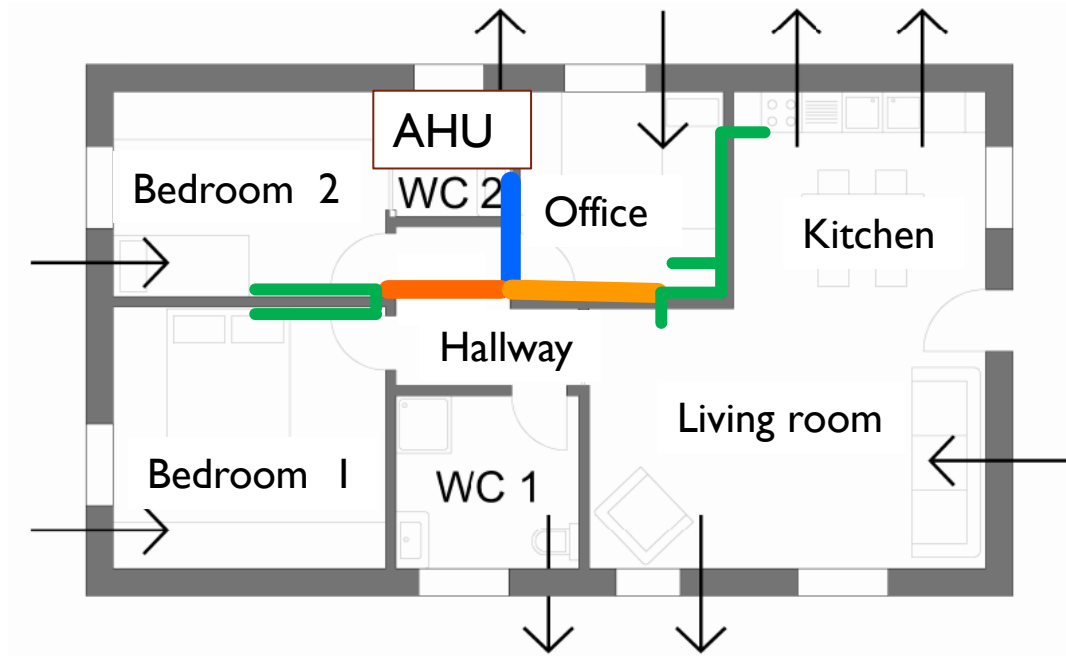
il volume è quello relativo ai bagni (antibagni esclusi).

B - Verificare i regolamenti locali.

C - Valori più elevati possono essere richiesti per il controllo dell'umidità.

D - Per questi ambienti le portate d'aria devono essere stabilite in relazione alle prescrizioni vigenti ed alle specifiche esigenze delle singole applicazioni.

CASE STUDY



N.	Name	Area [m ²]	Volume [m ³]
1	Living room	22.7	68.1
2	Office	9.0	27.0
3	Kitchen	11.0	33.0
4	Bedroom 1	15.4	46.2
5	Bedroom 2	12.0	36.0
6	Bathroom I	6.8	20.4
7	Bathroom2	3.2	9.6
8	Hallway	5.0	15.0
	Total	85.1	255.3

THE VENTILATION RATE

STANDARD EN 16798-1

- Definition of fresh air flow rates to size the ventilation system;
- Minimum flow rate: 4 L/(s person).

Category	Level of expectation	
I	High	⇒ High level for specific cases (elderly, sick people)
II	Medium	⇒ Medium/average value
III	Moderate	⇒ Lowest admissible value (possible discomfort)
IV	Low	⇒ To be avoided. Tollerated for limited time

For healthy reasons, **the minimum flow rate** in occupied rooms **should never go below 4 L/(s px)**


$$4 \text{ L/(s px)} = 14.4 \text{ m}^3\text{/(h px)}$$

METHOD 1 – FLOW RATE PER SPECIFIC FLOOR AREA OR AS ACR

Level	L/(s m ²)	h ⁻¹ (ach)
I	0.49	0.7
II	0.42	0.6
III	0.35	0.5
IV	0.23	0.4

The values are the same if the height of the room is 2.5 m

Remember that:
Af = 85 m²
Volume = 255 m³



	Resulting flow rate	
Level	m ³ /h	
I	150	179
II	129	153
III	107	128
IV	70	102

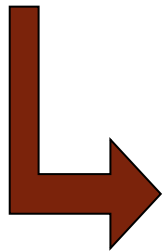
SIZING THE VENTILATION RATE

$$G_{a\text{ TOT}} = \sum_j G_{aj}$$

$$\frac{G_{a\text{ FRESH}}}{G_a}$$

Room by room

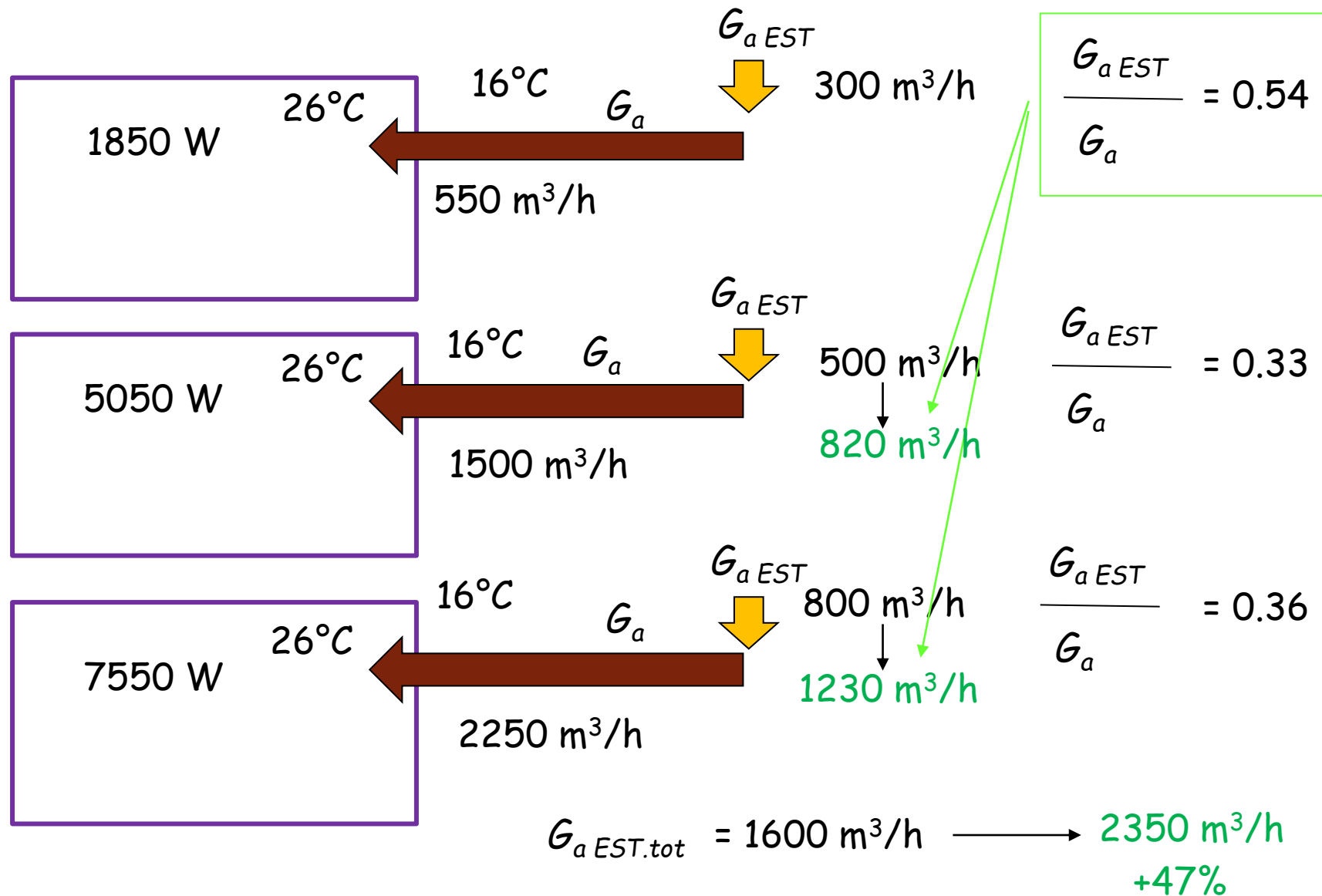
$$G_a$$



The maximum ratio M determines the sharing of fresh air

$$G_{a\text{ FRESH}} = M G_a$$

EXAMPLE



PRESSURE LOSSES

STEP 3

Decide the flow rate for each section of the plant according to the specific needs of each environment (both return and supply).

Calculate the duct area defining an hypothetical velocity ranging between 2 and 4 m/s

Air flows of the final branch

Duct sizing

Materials

Duct lengths

Avvio calcoli

Pressure losses determination (as sum of localised and continuous pressure drops)

The result will most certainly differ for the various sections of the plant. To balance the system, calibration valves in specific points should be added (main branches, terminals etc).



STEP 4

Choosing the appropriate operating machine (fan) that will provide the requested flow and supply the necessary head pressure to overcome the network pressure losses.

1ST STEP: CREATION OF THE CIRCUIT

EXAMPLE: 2 secondary ducts. 2 final branch each

The spreadsheet layout is as follows:

- Row 1-4:** UTA (Unitary Terminal) in column B, connected to the **MAIN DUCT** (red box) spanning from column C to R.
- Row 6-11:** Parameters for the 1st secondary duct:

lunghezza tratto	m
epsilon	-
perdite localizzate	Pa
perdite continue	Pa/m
portata	m ³ /h
- Row 12-17:** Final branch -1 table:

condotto rettangolare	condotto circolare
Pa	Epsilon
STACCO1	
- Row 21-26:** Parameters for the 2nd secondary duct (identical to the 1st):

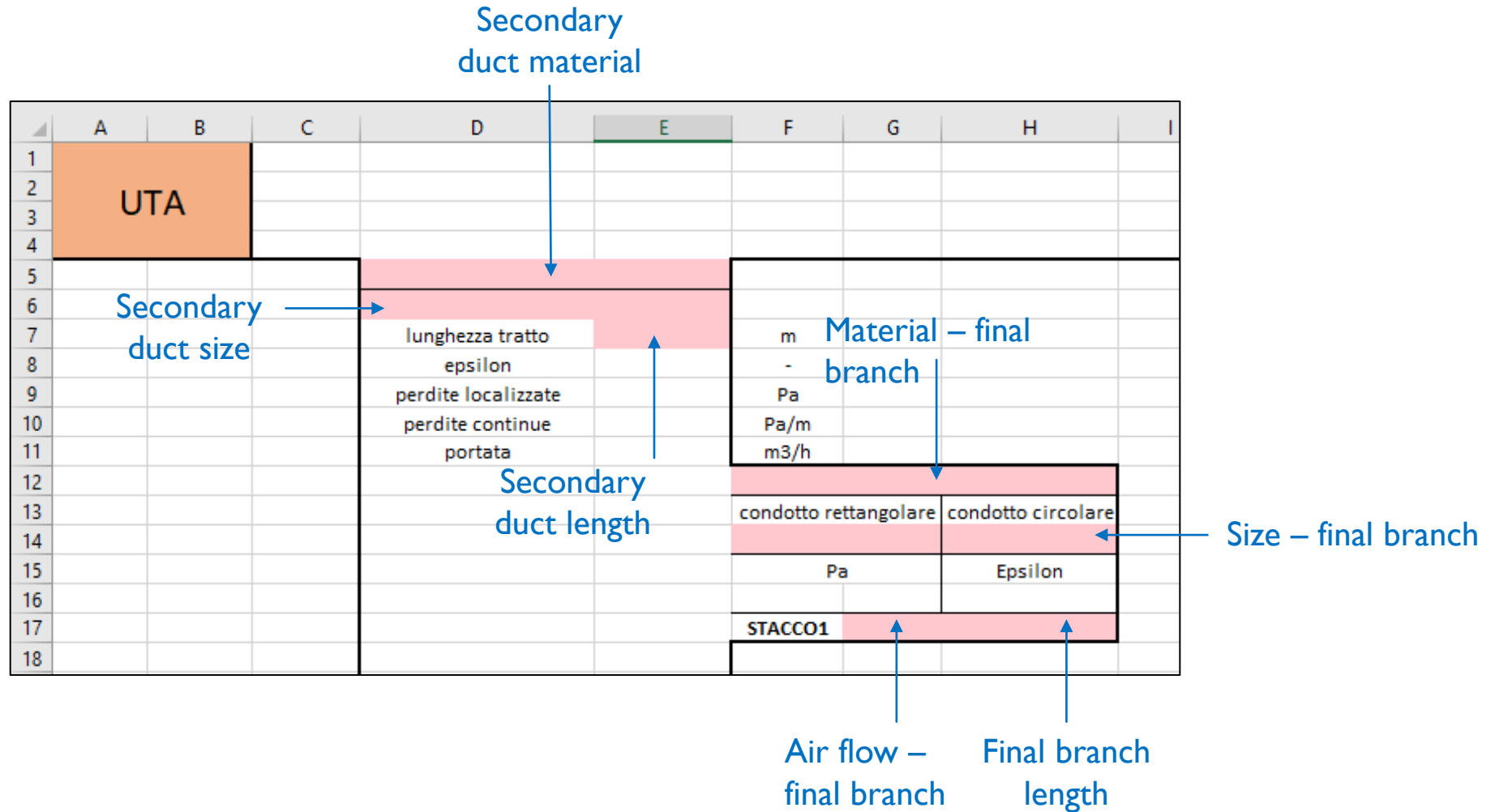
lunghezza tratto	m
epsilon	-
perdite localizzate	Pa
perdite continue	Pa/m
portata	m ³ /h
- Row 27-32:** Final branch -2 table (identical to the 1st):

condotto rettangolare	condotto circolare
Pa	Epsilon
STACCO2	

Buttons: 'Creazione sistema' (row 6, col G), 'Avvio calcoli' (row 6, col H).
 Sheet tabs: 'Impianto', 'Perditelocalizzate', 'Calcoli', 'Database'.
 Labels: '1st secondary duct', '2nd secondary duct', 'Final branch -1', 'Final branch -2'.

2ND STEP: MODEL IMPLEMENTATION

MODEL COMPILATION, REMAINING INPUTS → CALCULATION



PARTICULAR ELEMENTS - 1/2

TIPO	FIGURA	CARATTERISTICHE	PERDITA DI PRESSIONE		
			C	L/D	L/W
CURVA A N°		RETTANGOLARE O ROTONDA; CON O SENZA ALETTE	N°/90 x PERDITA DI UNA CURVA UGUALE A 90°		
CURVA A 90° SEZIONE ROTONDA		GOMITO R/D = 0,5 0,75 1,0 1,5 2,0	1,30 0,90 0,45 0,33 0,24 0,19	65 23 17 12 10	
CURVA A 90° SEZIONE RETTANGOLARE		H/W R/W GOMITO 0,5 0,75 1,0 1,5 GOMITO 0,5 0,75 1,0 1,5 GOMITO 0,5 0,75 1,0 1,5 GOMITO 0,5 0,75 1,0 1,5	1,25 1,25 0,60 0,37 0,19 1,47 1,10 0,50 0,28 0,13 1,50 1,00 0,41 0,22 0,09 1,38 0,96 0,37 0,19 0,07	 12 7 4 49 40 16 9 4 75 50 21 11 4,5 110 65 43 17 6	

CURVA A 90° SEZIONE RETTANGOLARE CON DEFLETTORI		R/W R1/W R2/W GOMITO 0,5 0,5 0,4 0,7 0,6 1,0 1,0 1,5 GOMITO 0,3 0,5 0,5 0,2 0,4 0,75 0,4 0,7 1,0 0,7 1,0 1,5 1,3 1,6	0,70 0,13 0,12 0,45 0,12 0,10 0,15	28 19 12 7,2 22 16	
GOMITO CON ALETTE		DA LAMIERA AERODINAMICHE	C = 0,10 ÷ 0,35 SECONDO LA COSTRUZIONE		
GOMITO A T CON ALETTE			CONSIDERARLO UGUALE AD UNA CURVA ANALOGA. PERDITA BASATA SULLA VELOCITA' IN ENTRATA		
T CURVILINEO			CONSIDERARLO UGUALE AD UNA CURVA ANALOGA. PERDITA BASATA SULLA VELOCITA' IN ENTRATA		

PARTICULAR ELEMENTS - 2/2

TIPO	FIGURA	CARATTE- RISTICHE	COEFFICIENTE		TIPO	FIGURA	CARATTE- RISTICHE	COEFFI- CIENTE				
			A_1/A_2	C_1					C_2	A_2/A_1	C_2	
ESPANSIONE BRUSCA			0.1	0.81	81	CONTRAZIONE BRUSCA SPIGOLI VIVI						
			0.2	0.64	16					0.0	0.34	
			0.3	0.49	5					0.2	0.32	
			0.4	0.36	2,25					0.4	0.25	
			0.5	0.25	1,00					0.6	0.16	
			0.6	0.16	0,45					0.8	0.06	
			0.7	0.09	0,18							
			0.8	0.04	0,06							
			0.9	0.01	0,01							
ESPANSIONE GRADUALE			\varnothing	C_r		CONTRAZIONE GRADUALE						
			5°	0.17						\varnothing	0.02	
			7°	0.22						30°		
			10°	0.28						45°		0.04
			20°	0.45						60°		0.07
			30°	0.59								
40°	0.73											
EFFLUSSO BRUSCO		$A_1/A_2=0,0$ ($A_2 = \infty$)	1,00		TRASFORMAZIONE AD AREA COSTANTE		$A_1=A_2$ $\varnothing \leq 14^\circ$	C				
								0.15				
ORIFIZIO DI EFFLUSSO A SPIGOLI VIVI		A_0/A_1	C_0		INGRESSO A FLANGIA		$A = \infty$	C				
			0.0	2,50				0.34				
SBARRA ATTRAVERSO IL CANALE		E/D	C		INGRESSO A CANALE		$A = \infty$	C				
			0.10	0,7				0.85				
			0.25	1,4								
			0.50	4,0								
TUBO ATTRAVERSO IL CANALE		E/D	C		INGRESSO GRADUALE		$A = \infty$	C				
			0.10	0,20				0.03				
			0.25	0,55								
SBARRA A PRO- FILO AERODINA- MICO ATTRAVER- SO IL CANALE		E/D	C		ORIFIZIO DI INGRESSO A SPIGOLI VIVI		A_0/A_2	C_0				
			0.10	0,07				2,50				
			0.25	0,23				1,96				
ORIFIZIO A SPIGOLI VIVI NEL CANALE		A_0/A	C_0		ORIFIZIO A SPIGOLI VIVI NEL CANALE		A_0/A	C_0				
			0.0	2,50				1,86				
			0.2	1,86				1,21				
			0.4	1,21				0,64				
				0,6	0,20							
				0,8	0,0							
				1,0	0,0							

STEP 2

Particular circuit elements
(curves, collars (*imbocco/sbocco*).
pipe bushing (*riduzioni*). etc.)

Calcolo perdite di carico

- Choosing ducts size of the complete distribution system
- Pressure losses determination (as sum of localised and continuous pressure drops)

The result will most certainly differ for the various sections of the plant. The distribution network should be balanced by adding calibration valves in specific points (main branches, terminals etc)

LOCALISED PRESSURE DROP – 2/2

STEP 2

Particular circuit elements
(curves, collars (*imbocco/sbocco*).
pipe bushing (*riduzioni*). etc.)

Calcolo perdite di carico

Example: table compilation for the circuit branches → Pressure drop calculation

condotto rettangolare	250x250			condotto circolare	125	
canale secondario1, tratto1	Imbocco senza invito se RETTANG	1		stacco1	Derivazione a T	1.4
	Curva con spigolo vivo a 90	1.4			Imbocco senza invito se CIRCOLARE	0.8

2.4

2.2

Coefficient of the total
pressure drop

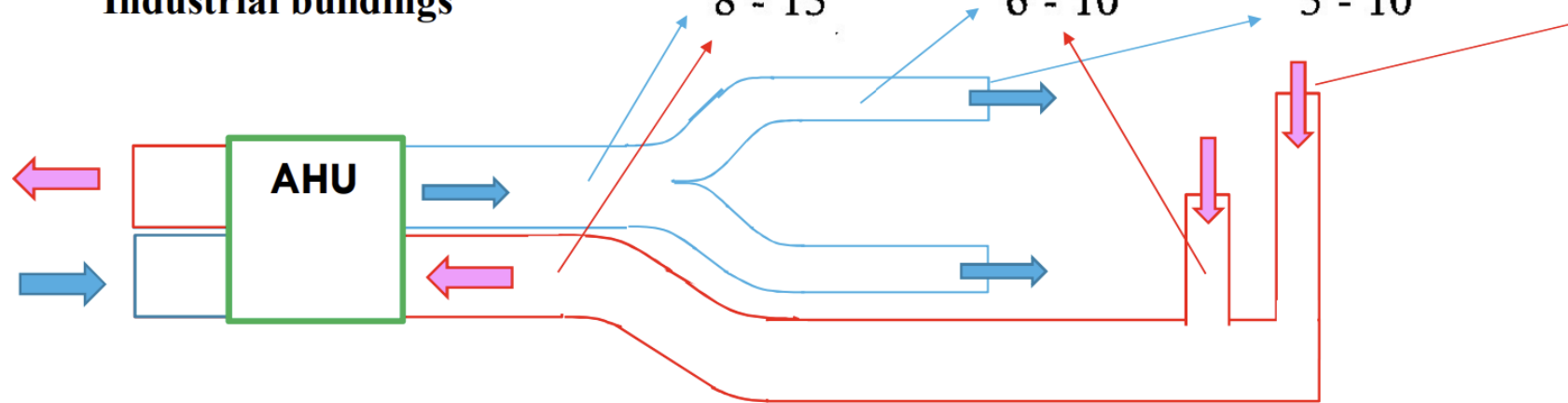
3RD STEP - FINAL MODEL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	UTA																	
2																		
3																		
4																		
5				PVC									PVC					
6				300x250				Creazione sistema		Avvio calcoli			500x300					
7				lunghezza tratto	3	m							lunghezza tratto	2	m		Perdita singolo Stacco	
8				epsilon	2.4	-		Perdita singolo Stacco					epsilon	3.9	-		Pa	
9				perdite localizzate	4.94	Pa		Pa					perdite localizzate	2.89	Pa		427.1	
10				perdite continue	0.12	Pa/m		430.48					perdite continue	0.03	Pa/m			
11				portata		m3/h							portata	600	m3/h			
12																		
13																		
14																		
15																		
16																		
17																		
18																		
19																		
20				250x250									500x200					
21				lunghezza tratto	1.5	m							lunghezza tratto	1	m		Perdita singolo Stacco	
22				epsilon	3.5	-		Perdita singolo Stacco					epsilon	1.8	-		Pa	
23				perdite localizzate	1.66	Pa		Pa					perdite localizzate	0.34	Pa		435.93	
24				perdite continue	0.03	Pa/m		427.65					perdite continue	0.01	Pa/m			
25				portata	200	m3/h							portata		m3/h			
26																		
27																		
28																		
29																		
30																		
31																		
32																		
33																		
34																		
35																		
36																		

CHECK AIR VELOCITY!

Air velocity [m/s]

	Main ducts	Secondary ducts	Air inlet	Air outlet
Residential	4 - 5	3 - 4	2 - 3	1,5 - 2
Public buildings, schools	5 - 8	4 - 6	3 - 5	2 - 3
Offices	8 - 11	6 - 8	5 - 8	3 - 4
Industrial buildings	8 - 15	6 - 10	5 - 10	4 - 10



OUTPUT FOR THE REPORT

- Excel file with the calculations related to the flow rates and the size of the ducts
- Excel file with the tool completed with your data
- Schematic layout of the air distribution system
- Description and comments on the layout with the type of particular elements
- Comments on the main outputs from the tool
- NB: remember to do the calculation for the supply side AND the return side

1222·2022
800
ANNI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA



DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
UNIVERSITY OF PADOVA



THANK YOU FOR
YOUR KIND ATTENTION

Laura Carnieletto. PhD

laura.carnieletto@unive.it