

Corso di

IMPIANTI TECNICI per l'EDILIZIA

Canali di distribuzione dell'aria



Prof. Paolo ZAZZINI
Dipartimento INGEO
Università "G. D'Annunzio" Pescara
www.lft.unich.it

L'aria ha un **calore specifico** (1000 J/kg K) **ed una densità** (1,2 kg/m³) notevolmente **inferiori a quelli all'acqua** (4186 J/kg K – 1000 kg/m³) , di conseguenza richiede **portate notevolmente superiori** per trasportare la stessa quantità di calore e, naturalmente, **ingombri maggiori** delle canalizzazioni che possono **interferire con le strutture edilizie**.

I canali per la distribuzione dell'aria sono generalmente realizzati in **lamiera zincata** (assemblaggio in cantiere dei tratti costruiti in officina) oppure in **poliuretano**, molto maneggevoli e **già coibentati** (possono essere costruiti in cantiere da **lastre di poliuretano** dotate di un **foglio di alluminio** sulle due superfici).

Per i **raccordi** tra i canali ed i terminali possono essere utilizzati **canali flessibili** che si adattano bene ai tratti curvi.

Alcuni tratti possono essere realizzati in **muratura** (es. plenum ricavato abbassando il soffitto di una zona centrale dell'edificio), ma richiedono una **maggior prevalenza** del ventilatore a causa delle più elevate perdite di carico.

Si possono avere anche canali in **tessuto plastico (PVC)** di **sezione circolare**, di solito utilizzati in edifici pubblici, industriali o commerciali con **spazi sufficientemente grandi** a disposizione, poiché gestiscono portate piuttosto grandi.

Possono prevedere **fori lungo tutta la lunghezza** per poter diffondere l'aria in ambiente in modo uniforme, distribuendola in tutte le direzioni.

I fori consentono di **controllare la velocità e la direzione** di emissione dell'aria per cui possono essere posizionati anche ad elevate altezze, sospesi al soffitto con opportuni sostegni.

All'interno dei canali forati la **velocità dell'aria diminuisce** procedendo dalla sezione iniziale fino a quella finale, per cui le **perdite di carico distribuite** risultano **inferiori** a quelle che solitamente si verificano in canali in lamiera o in poliuretano.

La **pressione dell'aria nella sezione generica di un canale** si compone di tre termini e può essere scritta nel modo seguente (Trinomio di Bernoulli):

$$p_t = \rho \frac{w^2}{2} + \rho g z + p \quad [\text{Pa}]$$

in cui:

p_t : pressione totale nella sezione considerata

p : pressione statica (pressione esercitata dall'aria perpendicolarmente alle pareti del condotto)

$\rho \frac{w^2}{2}$: pressione dinamica p_d (equivalente all'energia cinetica del fluido)

$\rho g z$: pressione di quota.

Di solito si possono applicare delle **ipotesi semplificative**.

Trascurando **differenze di quota** tra due sezioni del condotto (canale orizzontale) si può scrivere:

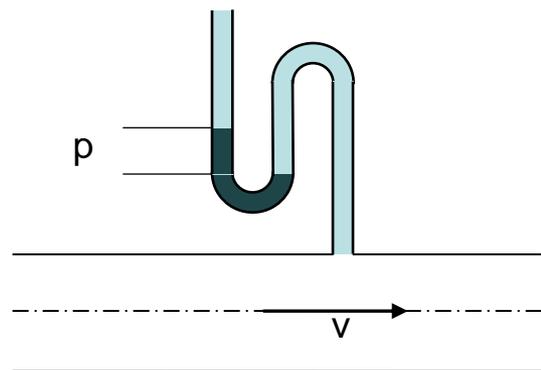
$$p_t = \rho \frac{w^2}{2} + p \quad [\text{Pa}]$$

Il movimento dell'aria da una sezione all'altra di un canale avviene per **differenza dei valori** che assume la **pressione totale** tra le due sezioni.

Inoltre di solito si possono **trascurare** le **variazioni di densità**, per cui le **variazioni di pressione dinamica** sono dovute essenzialmente a **variazioni di velocità**.

Tale differenza di pressione dovrà essere in grado di **vincere le perdite di energia** (perdite di carico) dovute all'**attrito** con le pareti del condotto (distribuite) o a **turbolenze locali** indotte da **discontinuità** nella sezione del canale (localizzate) e dovrà essere **fornita dal ventilatore**.

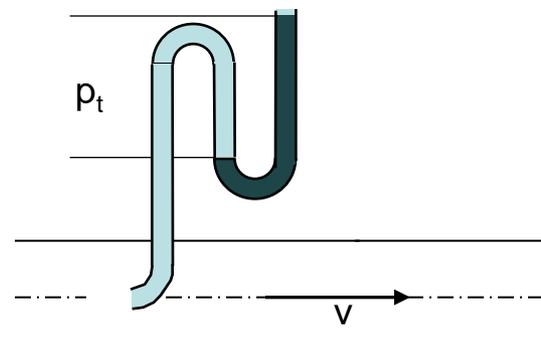
Le pressioni misurate con un manometro sono relative (riferite alla pressione atmosferica p_{atm}). L'atmosfera viene presa come ambiente di riferimento a pressione zero.



Misura della pressione statica:

sezione del manometro **parallela alla direzione del moto** sulla superficie del condotto

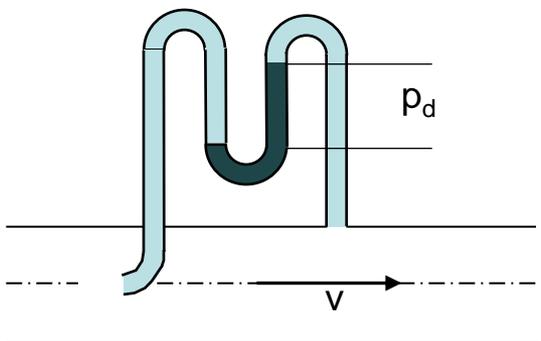
La differenza rispetto alla p_{atm} è dovuta all'azione dell'aria perpendicolarmente alle pareti



Misura della pressione totale:

sezione del manometro **perpendicolare alla direzione del moto**.

La differenza rispetto alla p_{atm} è dovuta all'azione dell'aria perpendicolarmente alle pareti ed alla sua energia cinetica



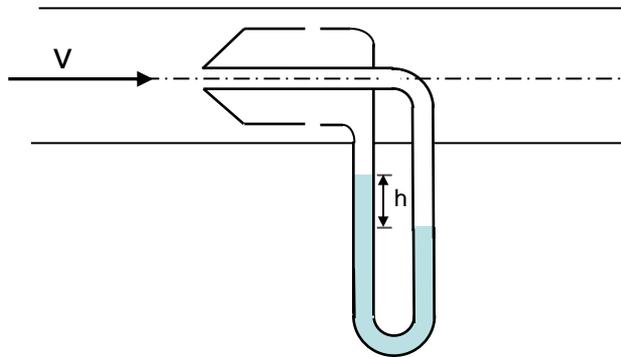
Misura della pressione dinamica:

una **sezione** del manometro **perpendicolare alla direzione del moto** all'interno del condotto, **l'altra parallela** come sopra

La differenza rispetto alla p_{atm} è dovuta all'energia cinetica dell'aria.

Tubo di PITOT

E' uno strumento che consente di valutare la **velocità di scorrimento** del fluido nella condotta, misurando la **pressione dinamica** come **differenza tra quella totale e quella statica**.



La **pressione statica** è rilevata con la presa di pressione parallela alla direzione di efflusso e la **pressione totale** con la presa di pressione perpendicolare alla direzione di efflusso.

$$p_t = p_s + \rho \frac{w^2}{2} \Rightarrow \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot w^2 = p_t - p_s \Rightarrow$$

$$w^2 = \frac{2 \cdot (p_t - p_s)}{\rho} \Rightarrow w = \sqrt{\frac{2 \cdot (p_t - p_s)}{\rho}}$$

Le due misure dovrebbero essere effettuate nello stesso punto; nello strumento, in realtà, i due punti di misura sono distanziati, ma l'errore commesso è trascurabile poiché lo strumento stesso è costruito in modo da non perturbare il campo di moto.

Negli impianti di climatizzazione, **l'aria proviene** da e **viene inviata** in ambienti a pressione atmosferica, nei quali la **velocità dell'aria** può essere considerata **nulla**.

La **prevalenza** sviluppata dal ventilatore (**differenza** tra la **pressione a monte e a valle** del ventilatore) dovrà **uguagliare le perdite** distribuite e localizzate dell'intero circuito.

Se un **ventilatore alimenta** più **circuiti in parallelo** che vanno a servire diversi ambienti, la **caduta totale di pressione tra il ventilatore e ciascun terminale** di immissione è la **stessa** ed uguaglia la **prevalenza del ventilatore**.

Tra le perdite concentrate va computata la **perdita di pressione dinamica** che si verifica quando l'**aria** che sbocca in ambiente attraverso le bocchette o i diffusori **passa dalla velocità di immissione al valore nullo**.

$$\Delta p_d = \rho \cdot \frac{w^2}{2}$$

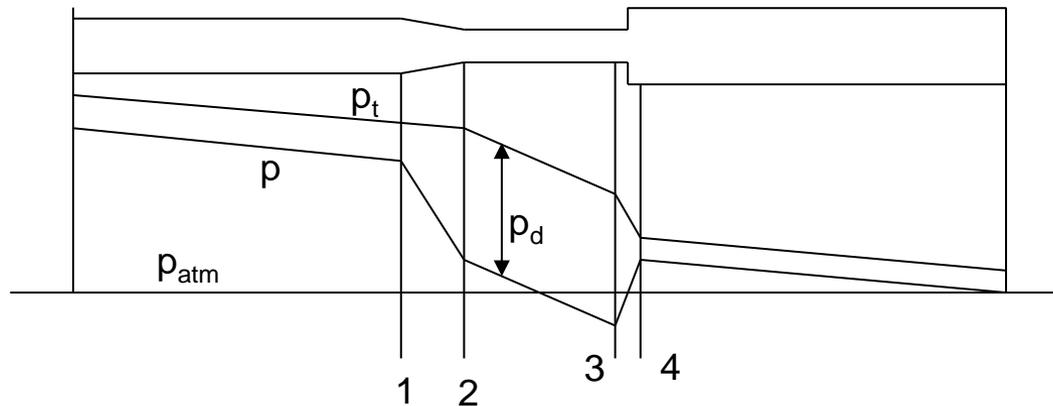
Si possono distinguere le seguenti categorie di canali:

Canali di mandata: trasportano l'aria dall'UTA ai diffusori in ambiente.

Canali di ripresa: trasportano l'aria dall'ambiente climatizzato verso l'UTA (ricircolo) oppure alla sezione di espulsione.

Lungo un canale di mandata la **pressione totale diminuisce nel senso del moto**, mentre **pressione statica e dinamica possono convertirsi l'una nell'altra**, ad esempio quando c'è una **variazione di sezione** mantenendo **costante la portata**.

La trasformazione avviene sempre con **perdita di energia**.



**Tratto di canale di mandata
a portata costante**

In **1-2: riduzione di sezione e aumento di velocità**, quindi di pressione dinamica a spese di quella statica (la caduta di p_t è limitata: trasformazione ad elevato rendimento).

In **3-4: aumento brusco di sezione e diminuzione di velocità**, quindi di pressione dinamica, con conseguente recupero di quella statica (la caduta di p_t è repentina: trasformazione a basso rendimento).

Possibili **fughe d'aria** verso l'esterno (tratti in sovrappressione) o **rientri** dall'esterno (tratti in depressione) nei **giunti**, per difetti di **saldatura** o per non perfetta tenuta delle **guarnizioni**. I **massimi valori** di perdite o rientri supportabili dipendono dalla **destinazione d'uso**, poiché possono peggiorare le condizioni di **purezza dell'aria**

Metodo di dimensionamento a velocità costante

Si determina innanzitutto la **portata in massa da immettere nel singolo ambiente** in funzione del rapporto tra il carico termico dell'ambiente considerato e quello totale dell'intero edificio

$$\dot{M}_i = \dot{M}_0 \cdot \frac{Q_i}{Q_0}$$

\dot{M}_i : portata in massa da immettere nell'ambiente iesimo [kg/s]

\dot{M}_0 : portata in massa totale dell'intero edificio [kg/s]

Q_0 : carico termico dell'intero edificio [W]

Q_i : carico termico dell'ambiente iesimo [W]

Note le **portate** dei tratti terminali si possono calcolare quelle relative ai **canali principali**. Si fissano inoltre dei **valori di riferimento delle velocità** dell'aria per i **vari tronchi del circuito** con criteri di efficienza ed economicità

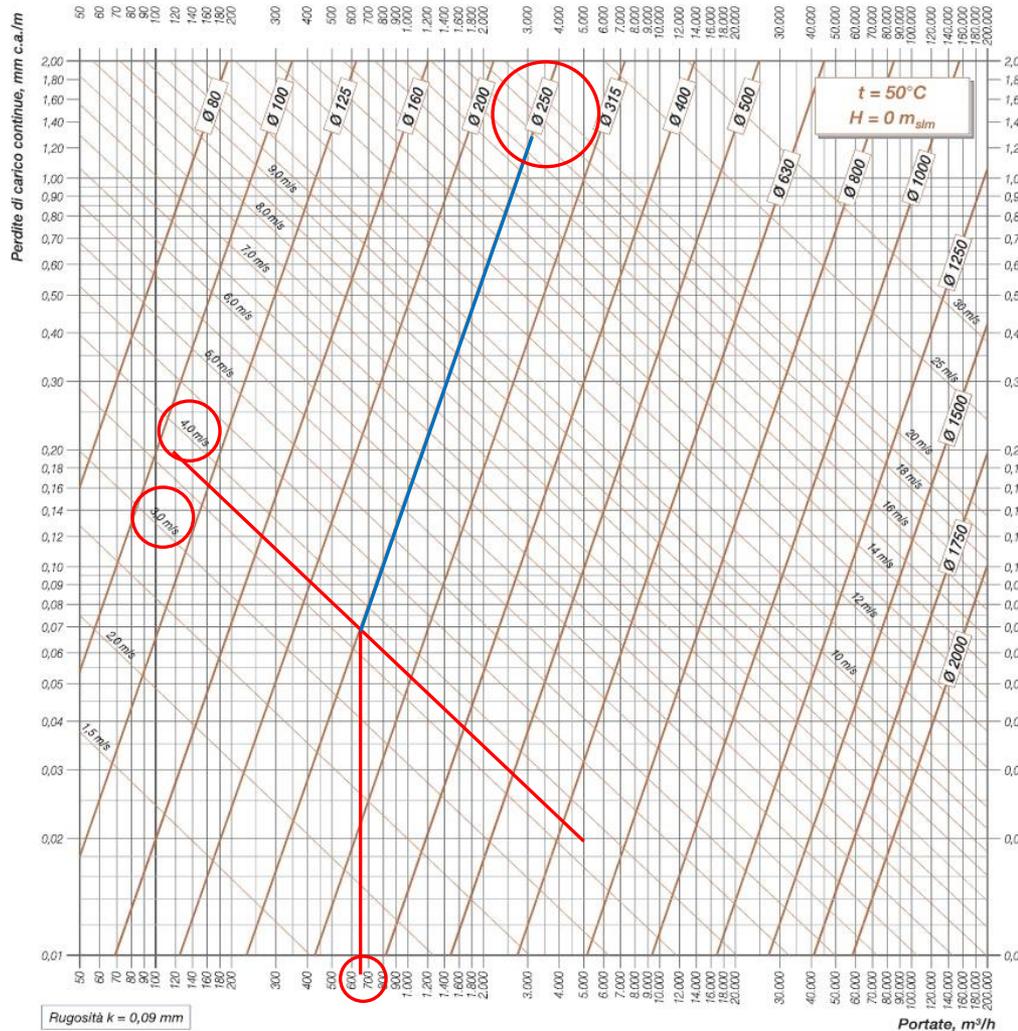
	Velocità minima (m/s)	Velocità massima (m/s)
Tratti principali	4	8
Tratti secondari e terminali	2	4
Tratto immediatamente a valle del ventilatore	4	16

Ai fini del **contenimento del livello sonoro** è importante non superare i valori delle velocità (m/s) dell'aria attraverso i canali indicati nella tabella

Componente	Impianti		
	residenziali	commerciali	industriali
Prese aria esterna	2,5-4,0	2,5-4,5	2,5-6,0
Filtri	1,3-1,5	1,5-1,8	1,8-2,5
Batterie fredde	1,5-2,0	2,0-2,5	2,5-3,8
Batterie calde	2,3-2,5	2,5-4,0	3,5-5,0
Ingresso ventilatore	3,5-4,5	4,0-5,0	5,0-7,0
Mandata ventilatore	5,8-8,5	6,5-11,0	8,0-14,0
Canali principali	3,5-6,0	5,0-8,0	6,0-11,0
Canali derivati	3,0-5,0	3,0-6,5	4,5-9,0

Con la coppia di valori **portata – velocità** si determina il diametro equivalente e la **perdita di carico unitaria per ogni ramo** con un abaco del tipo di quello seguente

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



Esempio:

$$v = 3,7 \text{ m/s}$$

$$\dot{M} = 650 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$D_{\text{eq}} = 250 \text{ mm}$$

Diametro equivalente di un canale rettangolare:

diametro del canale circolare che, percorso dalla **stessa portata** d'aria, determina la **stessa caduta di pressione**

Con il valore del **diametro equivalente** si possono determinare le **dimensioni** in sezione **h e b** di un corrispondente **canale rettangolare**

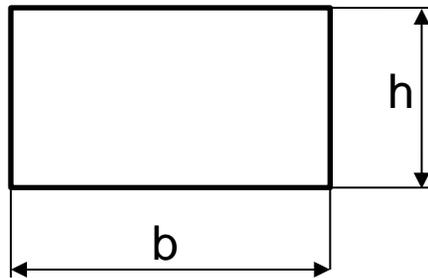
Da: Marco e Mario Doninelli «Tabelle e diagrammi perdite di carico aria» Quaderni Caleffi

Tabella di diametri equivalenti (mm)

La tabella permette di selezionare il **diametro commerciale** più vicino a quello ipotizzato e di determinare **base ed altezza** del **rettangolo** di cui quello è il diametro equivalente, avendo **fissato una delle due dimensioni**, di solito l'**altezza h**, seguendo criteri di **massimo ingombro** (es. controsoffittatura)

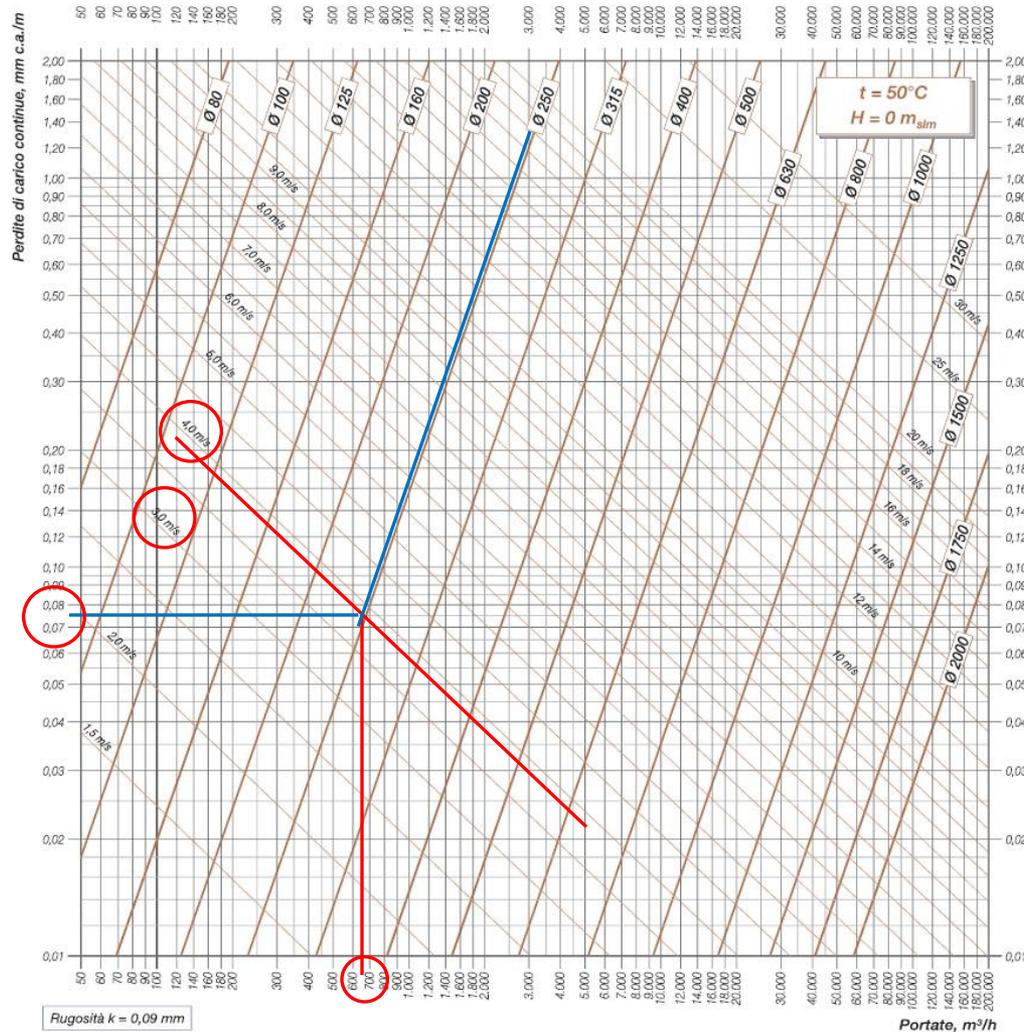
$$D_{eq} = 250 \text{ mm} \rightarrow 245 \text{ mm}$$

$$\text{Fissata } h = 150 \text{ mm} \rightarrow b = 350 \text{ mm}$$



b \ h	150	200	250	300	350	400	450	500
250	210	245	275					
300	230	265	300	350				
350	245	285	325	355	380			
400	260	305	345	370	410	440		
450	275	320	365	400	435	465	490	
500	290	340	380	425	455	490	520	545
550	300	350	400	440	475	515	545	575
600	310	365	415	460	495	535	565	600
650	320	380	430	475	515	555	590	625
700		390	445	490	535	575	610	645
750		400	455	505	550	590	630	665
800		415	470	520	565	610	650	685
850			480	535	580	625	670	710
900			495	550	600	645	685	725
950			505	560	615	660	705	745
1000			520	575	625	675	720	760
1200				620	680	730	780	830
1400					725	780	835	880
1600						830	885	940
1800						870	935	990

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



Con il valore del diametro equivalente commerciale si determina il **nuovo valore di velocità** per quel ramo ed il corrispondente valore di **perdita di carico unitaria**

Esempio:

$$D_{eq} = 245 \text{ mm}$$

$$v = 3,8 \text{ m/s}$$

$$\dot{M} = 650 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$\Delta p_{d,u} = 0,075 \text{ mm c.a./m}$$

Metodo a perdita di carico unitaria costante

Si impone un valore della **velocità in uscita dal ventilatore** seguendo i **dati di riferimento** già indicati nel precedente metodo.

Si deve cercare di **ridurre al massimo le dimensioni del canale principale** (più grande).

Fissata la **velocità del primo tronco**, nota la **portata da trattare** (portata totale) si determina la **perdita di carico distribuita unitaria ed il diametro equivalente** con la coppia di valori **portata-velocità** utilizzando l'abaco già visto, e **si impone lo stesso valore** di perdita di carico unitaria **per i tronchi a valle**.

A partire **dal secondo tronco**, si rilevano dall'abaco i valori di **velocità e diametro equivalente, corrispondenti** ai nuovi valori di portata

Per calcolare le dimensioni della **sezione rettangolare equivalente**, oltre la tabella già descritta, si può utilizzare la formula seguente per **determinare una delle due dimensioni** (di solito la base) avendo **imposto il valore dell'altra** (l'altezza)

$$D_{eq} = 1,3 \cdot \frac{(h \cdot b)^{0,625}}{(h + b)^{0,25}}$$

Metodo di dimensionamento approssimato

In alternativa, si può effettuare un dimensionamento di massima seguendo le indicazioni della tabella seguente.

Una volta **tracciato il lay out** dei canali e nota la **portata dei diversi tratti**, si possono determinare le **sezioni dei canali** circolari o rettangolari

Portata d'aria (m ³ /h)	Canali circolari Diametro (mm)	Canali rettangolari Area (m ²)
50-80	120	0,011
80-150	150	0,019
150-300	200	0,034
300-575	250	0,0525
575-950	300	0,076
950-1400	350	0,1
1400-2000	400	0,135
2000-2500	450	0,174
2800-3700	500	0,21
3700-4800	550	0,252

A questo punto si possono calcolare le perdite di carico distribuite e concentrate

Perdite di carico distribuite

$$\Delta p = f \cdot \frac{l}{D} \cdot p_d = \Delta p_{d,u} \cdot l$$

f: coefficiente di attrito;

l: lunghezza del canale (m);

D: diametro del canale (m);

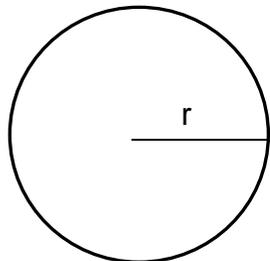
p_d : pressione dinamica (Pa)

I canali di distribuzione possono essere a **sezione circolare o rettangolare** :

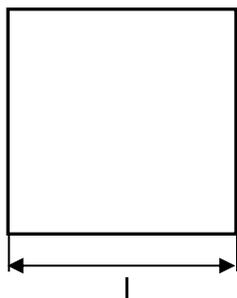
La **sezione circolare** è più indicata per gli **impianti ad elevata pressione** (perché comporta minori perdite di carico per attrito), mentre quella **rettangolare** è comunemente utilizzata negli impianti per **applicazioni civili** caratterizzate da **valori bassi della pressione**

In generale i **canali a sezione quadrata** sono **più economici** di quelli a sezione rettangolare ed il **costo del canale**, a parità di perdita di pressione per metro lineare, **aumenta all'aumentare del rapporto tra lato maggiore e lato minore**.

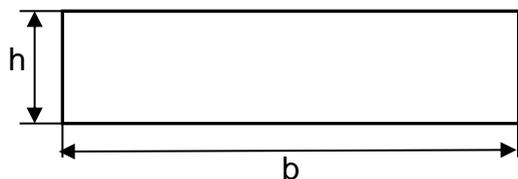
A **parità di area** la sezione circolare prevede il **minimo perimetro** rispetto a quelle quadrata e rettangolare quindi la **minore superficie di contatto** tra fluido e parete ed il **minimo attrito**.



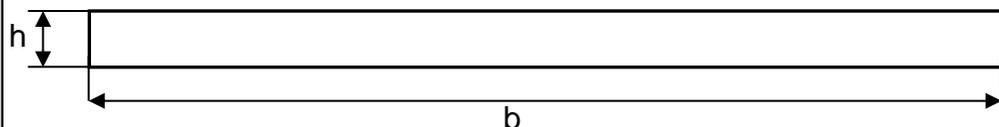
$$A = 1 \text{ m}^2 \Rightarrow r = \sqrt{\frac{1}{\pi}} = 0,56 \text{ m} \Rightarrow 2p = 3,54 \text{ m}$$



$$A = 1 \text{ m}^2 \Rightarrow l = 1 \text{ m} \Rightarrow 2p = 4 \text{ m}$$



$$A = 1 \text{ m}^2; b = 2 \text{ m}; h = 0,5 \text{ m} \Rightarrow 2p = 5 \text{ m}$$



$$A = 1 \text{ m}^2; b = 4 \text{ m}; h = 0,25 \text{ m} \\ \Rightarrow 2p = 8,5 \text{ m}$$

L'area di contatto aumenta all'aumentare del rapporto b/h.

Perdite di carico concentrate

Anche le **perdite di carico concentrate** sono proporzionali al quadrato della velocità dell'aria.

Sono esprimibili con formule del tipo:

$$\Delta p = C \cdot p_d$$

in cui i **valori di C** sono **tabulati** in funzione del tipo di discontinuità

Per i **tratti curvi** può essere, in alternativa, adottato il metodo della **lunghezza equivalente**, mediante il quale a ciascuna curva viene fatto corrispondere un tratto di canale diritto equivalente.

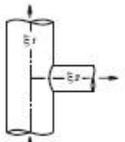
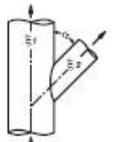
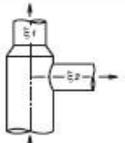
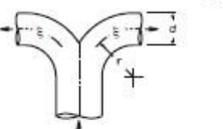
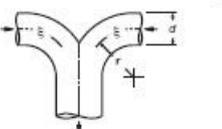
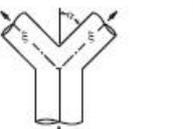
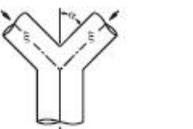
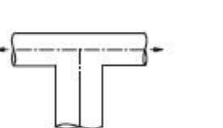
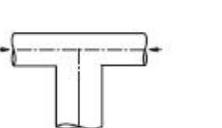
La perdita di carico concentrata viene calcolata come se fosse distribuita sul canale di lunghezza equivalente.

I valori delle lunghezze equivalenti sono tabulati.

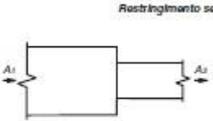
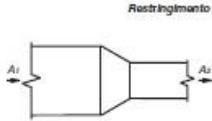
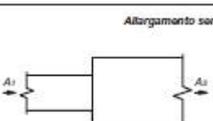
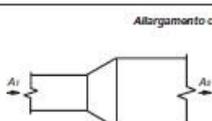
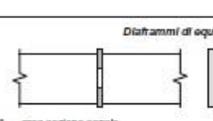
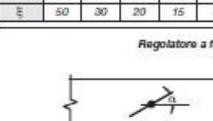
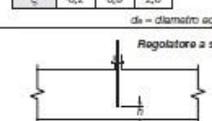
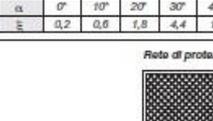
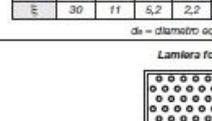
Lo **sviluppo** dei canali deve essere il **più lineare possibile** in modo da **ridurre le perdite di carico** e **limitare il livello sonoro** di funzionamento

Esempi di tabelle con i valori dei coefficienti C

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

 <p>Derivazione a 90°</p> <p>$\xi_1 = 0,2$ $\xi_2 = 1,3$</p>	 <p>Derivazioni a 30°, 45° e 60°</p> <p>$\xi_1 = 0,2$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ξ_2</th> <th>α</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,4</td> <td>30°</td> </tr> <tr> <td>0,7</td> <td>45°</td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>60°</td> </tr> </tbody> </table>	ξ_2	α	0,4	30°	0,7	45°	0,9	60°																
ξ_2	α																								
0,4	30°																								
0,7	45°																								
0,9	60°																								
 <p>Derivazione con riduzione a 90°</p> <p>$\xi_1 = 0,4$ $\xi_2 = 1,3$</p>	 <p>Derivazioni con riduzione a 30°, 45° e 60°</p> <p>$\xi_1 = 0,4$</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>ξ_2</th> <th>α</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,4</td> <td>30°</td> </tr> <tr> <td>0,7</td> <td>45°</td> </tr> <tr> <td>0,9</td> <td>60°</td> </tr> </tbody> </table>	ξ_2	α	0,4	30°	0,7	45°	0,9	60°																
ξ_2	α																								
0,4	30°																								
0,7	45°																								
0,9	60°																								
 <p>Derivazione a doppia curva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>rit</th> <th>ξ_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,50</td> <td>1,2</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>1,50</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>	rit	ξ_1	0,50	1,2	0,75	0,6	1,00	0,4	1,50	0,3	2,00	0,2	 <p>Confluenze a doppia curva</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>rit</th> <th>ξ_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,50</td> <td>1,1</td> </tr> <tr> <td>0,75</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>1,00</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>1,50</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>2,00</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>	rit	ξ_2	0,50	1,1	0,75	0,6	1,00	0,3	1,50	0,2	2,00	0,2
rit	ξ_1																								
0,50	1,2																								
0,75	0,6																								
1,00	0,4																								
1,50	0,3																								
2,00	0,2																								
rit	ξ_2																								
0,50	1,1																								
0,75	0,6																								
1,00	0,3																								
1,50	0,2																								
2,00	0,2																								
 <p>Derivazione ad Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ξ_1</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30°</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table>	α	ξ_1	30°	0,3	45°	0,7	60°	1,0	 <p>Confluenze a Y</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>ξ_2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>30°</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>45°</td> <td>0,6</td> </tr> <tr> <td>60°</td> <td>0,9</td> </tr> </tbody> </table>	α	ξ_2	30°	0,3	45°	0,6	60°	0,9								
α	ξ_1																								
30°	0,3																								
45°	0,7																								
60°	1,0																								
α	ξ_2																								
30°	0,3																								
45°	0,6																								
60°	0,9																								
 <p>Derivazione a T</p> <p>$\xi_1 = 1,4$</p>	 <p>Confluenze a T</p> <p>$\xi_1 = 1,3$</p>																								

Canali rettangolari - valori indicativi dei coefficienti ξ - variazioni di sezione e regolatori

 <p>Restringimento senza invito</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A_2/A_1</th> <th>ξ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,2</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>0,8</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>	A_2/A_1	ξ	0,2	0,5	0,4	0,4	0,6	0,3	0,8	0,2	 <p>Restringimento con invito</p> <p>$\xi = 0,2$</p>																										
A_2/A_1	ξ																																				
0,2	0,5																																				
0,4	0,4																																				
0,6	0,3																																				
0,8	0,2																																				
 <p>Allargamento senza invito</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A_2/A_1</th> <th>ξ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,1</td> <td>0,9</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0,7</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0,4</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>	A_2/A_1	ξ	0,1	0,9	0,2	0,7	0,4	0,4	0,6	0,2	 <p>Allargamento con invito</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A_2/A_1</th> <th>ξ</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,1</td> <td>0,5</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>0,3</td> </tr> <tr> <td>0,4</td> <td>0,2</td> </tr> <tr> <td>0,6</td> <td>0,2</td> </tr> </tbody> </table>	A_2/A_1	ξ	0,1	0,5	0,2	0,3	0,4	0,2	0,6	0,2																
A_2/A_1	ξ																																				
0,1	0,9																																				
0,2	0,7																																				
0,4	0,4																																				
0,6	0,2																																				
A_2/A_1	ξ																																				
0,1	0,5																																				
0,2	0,3																																				
0,4	0,2																																				
0,6	0,2																																				
 <p>Diaframmi di equilibratura</p> <p>A = area sezione canale A^* = area passaggio diaframma</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A^*/A</th> <th>0,20</th> <th>0,25</th> <th>0,30</th> <th>0,35</th> <th>0,40</th> <th>0,45</th> <th>0,50</th> <th>0,55</th> <th>0,60</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>50</td> <td>30</td> <td>20</td> <td>15</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> </tr> </tbody> </table>	A^*/A	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	ξ	50	30	20	15	8	7	4	3	2	 <p>Tubi e barre che attraversano canali</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>a/d_0</th> <th>0,10</th> <th>0,25</th> <th>0,50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>0,2</td> <td>0,6</td> <td>2,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>Tubi Barre</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h/d_0</th> <th>0,10</th> <th>0,25</th> <th>0,50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>0,7</td> <td>1,4</td> <td>4,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>d_0 = diametro equivalente</p>	a/d_0	0,10	0,25	0,50	ξ	0,2	0,6	2,0	h/d_0	0,10	0,25	0,50	ξ	0,7	1,4	4,0
A^*/A	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60																												
ξ	50	30	20	15	8	7	4	3	2																												
a/d_0	0,10	0,25	0,50																																		
ξ	0,2	0,6	2,0																																		
h/d_0	0,10	0,25	0,50																																		
ξ	0,7	1,4	4,0																																		
 <p>Regolatore a farfalla</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>α</th> <th>0°</th> <th>10°</th> <th>20°</th> <th>30°</th> <th>40°</th> <th>45°</th> <th>50°</th> <th>55°</th> <th>60°</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>0,2</td> <td>0,6</td> <td>1,8</td> <td>4,4</td> <td>11</td> <td>21</td> <td>35</td> <td>65</td> <td>105</td> </tr> </tbody> </table>	α	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	55°	60°	ξ	0,2	0,6	1,8	4,4	11	21	35	65	105	 <p>Regolatore a serranda</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>h/d_0</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,4</th> <th>0,5</th> <th>0,6</th> <th>0,7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>30</td> <td>11</td> <td>5,2</td> <td>2,2</td> <td>1,3</td> <td>0,5</td> </tr> </tbody> </table> <p>d_0 = diametro equivalente</p>	h/d_0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	ξ	30	11	5,2	2,2	1,3	0,5		
α	0°	10°	20°	30°	40°	45°	50°	55°	60°																												
ξ	0,2	0,6	1,8	4,4	11	21	35	65	105																												
h/d_0	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7																															
ξ	30	11	5,2	2,2	1,3	0,5																															
 <p>Reto di protezione</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A^*/A</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,4</th> <th>0,5</th> <th>0,6</th> <th>0,7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>17</td> <td>6,5</td> <td>3,0</td> <td>1,7</td> <td>1,0</td> <td>0,6</td> </tr> </tbody> </table> <p>A = area sezione canale A^* = area netta passaggio aria</p>	A^*/A	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	ξ	17	6,5	3,0	1,7	1,0	0,6	 <p>Lamiere forata</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>A^*/A</th> <th>0,2</th> <th>0,3</th> <th>0,4</th> <th>0,5</th> <th>0,6</th> <th>0,7</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>ξ</td> <td>60</td> <td>22</td> <td>9,0</td> <td>4,0</td> <td>2,2</td> <td>1,0</td> </tr> </tbody> </table> <p>A = area sezione canale A^* = area netta passaggio aria</p>	A^*/A	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	ξ	60	22	9,0	4,0	2,2	1,0								
A^*/A	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7																															
ξ	17	6,5	3,0	1,7	1,0	0,6																															
A^*/A	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7																															
ξ	60	22	9,0	4,0	2,2	1,0																															

Da: Marco e Mario Doninelli «Tabelle e diagrammi perdite di carico aria» Quaderni Caleffi

Riepilogando:

Perdite di carico distribuite:

dovute all'**attrito**, ripartite nei tratti rettilinei di canale;

Perdite di carico concentrate (localizzate):

dovute a turbolenze in corrispondenza di **discontinuità** (diramazioni, curve, ostruzioni, organi meccanici...)

Il calcolo di tutte le perdite concentrate e distribuite del circuito consente di determinare la prevalenza del ventilatore.

LA DIFFUSIONE DELL'ARIA IN AMBIENTE

La diffusione dell'aria in ambiente **condiziona in maniera significativa il grado di comfort** termoigrometrico raggiungibile, poiché, se non effettuata correttamente, **può introdurre cause di disagio:**

Velocità eccessiva dell'aria e creazione di **correnti fastidiose**, che producono spiacevoli **sensazioni localizzate di caldo o di freddo**

Zone di **aria stagnante** legate a velocità dell'aria troppo basse (<0.08 m/s)

Eccessive **differenze di temperatura**, soprattutto in regime invernale, **tra due locali** tra loro comunicanti (una differenza massima di $1,5^{\circ}\text{C}$ non comporta sensazioni di discomfort)

Eccessivo **gradiente termico verticale**

La **direzione di provenienza** del flusso d'aria rispetto alla persona può determinare o meno condizioni di disagio:

La **migliore direzione** di provenienza dell'aria è quella per la quale il **flusso d'aria** investe la persona **frontalmente**, meno buona è la **direzione laterale**, mentre **peggiore** è quella per la quale il flusso d'aria investe la **nuca della persona** interessata.

Queste considerazioni condizionano la **scelta del tipo di diffusori** (terminali dell'impianto di climatizzazione) e del loro **posizionamento in ambiente**

Di seguito sono riportati **alcuni valori delle velocità dell'aria ambiente** e le **sensazioni prodotte in funzione delle attività svolte**

0,25 m/s è il valore di riferimento **al di sopra del quale** persone che svolgono attività di ufficio avvertono fastidio da correnti d'aria

Velocità media dell'aria in ambiente (m/s)	Sensazione prodotta	Applicazioni
0 – 0,08	Aria quasi stagnante	
0,13	Condizioni ottimali di benessere	Tutte le applicazioni
0,13 – 0,25	Condizioni abbastanza favorevoli (0,25 m/s: valore max sopportabile per una persona seduta)	Tutte le applicazioni commerciali
0,33	Fastidio da correnti (volano i fogli dal tavolo)	Centri commerciali
0,38	Limiti di sopportabilità per persone in lento movimento	Magazzini, stabilimenti industriali
0,38 – 1,50	Sopportabile solo per lavorazioni di tipo industriale con persone in movimento	Fabbriche

INDUZIONE

Si definisce “**Induzione**” quel fenomeno fisico per il quale l’**aria immessa** in ambiente dai diffusori di un impianto di climatizzazione (aria primaria) **trascina con sé** una certa quantità di **aria ambiente** (aria secondaria) che **si miscela** con essa **rallentandone la velocità** di immissione.

Un **meccanismo di induzione efficace** comporta una **rapida miscelazione dell’aria** con una conseguente **buona uniformità di distribuzione della temperatura** in tutto l’ambiente.

In altre parole l’induzione è quel **fenomeno per il quale una parte dell’aria ambiente viene coinvolta nel moto dell’aria primaria**

Si definisce “**Rapporto di Induzione**” la seguente quantità:

$$R = \frac{\text{aria primaria} + \text{aria secondaria}}{\text{aria primaria}}$$

L’entità del fenomeno di induzione **dipende dal perimetro della sezione trasversale** del diffusore: **a parità di sezione**, l’**induzione è tanto maggiore** quanto **più lunga e stretta** è la **bocchetta**, poiché in questo caso è **maggiore la superficie di contatto** tra l’aria primaria e quella ambiente.

Si definisce “**Gittata di un diffusore**” la “distanza che percorre l’aria primaria prima che la sua velocità, misurata solitamente a 2 m dal pavimento, scenda a 0,25 m/s”

La gittata **dipende** proprio **dalla velocità** che caratterizza il flusso d’aria; questa **tende a diminuire** a causa dell’**attrito** tra il getto d’aria primaria e l’aria ambiente, attrito che è di fatto la **causa del fenomeno di induzione**

Si può pertanto affermare che in linea di principio, **maggiore è l’induzione minore è la gittata** a parità di altre condizioni.

Con i **diffusori circolari** si ha la **massima gittata** e la **minima induzione**, poiché la sezione circolare presenta il **perimetro di minima lunghezza a parità di area**.

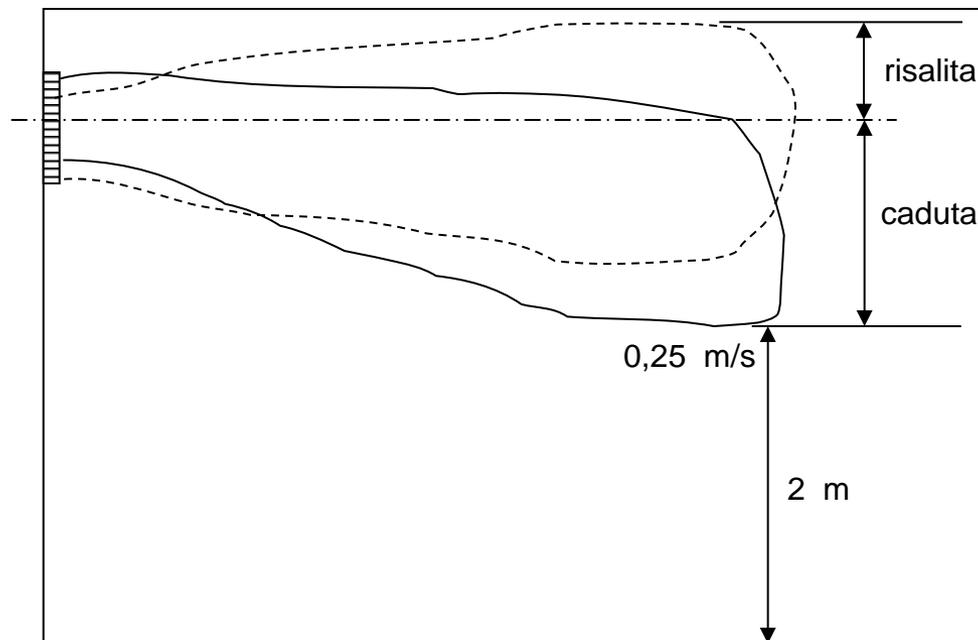
Se il getto d’aria immesso in ambiente è a temperatura diversa da quella ambiente, **tende ad innalzarsi** (se è **più caldo**) o **ad abbassarsi** (se è **più freddo**)

Inoltre se è proiettato parallelamente ad una parete posta a breve distanza, la **presenza della parete** stessa limita i fenomeni di miscelazione con l’aria presente in ambiente, creando una **zona a bassa pressione** tra il getto e la superficie della parete (effetto parete).

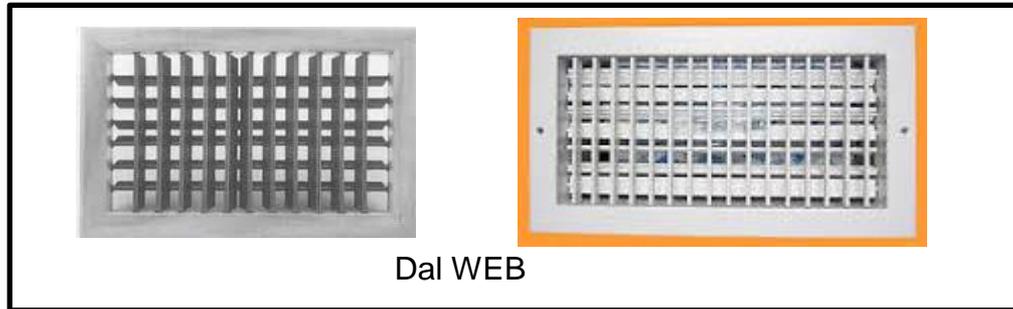
L’**effetto parete** **aumenta la gittata** del diffusore e **diminuisce la caduta** del getto verso il basso

Con il termine **CADUTA** del getto d'aria si indica la distanza verticale tra l'asse del diffusore e l'altezza dal pavimento a cui cade l'aria primaria fredda al termine della propria gittata

Con il termine **RISALITA** si indica la distanza verticale tra l'asse del diffusore e l'altezza dal pavimento a cui risale l'aria primaria calda al termine della propria gittata

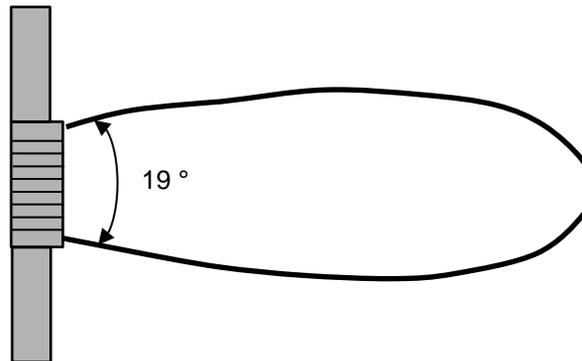


Si definisce **DIFFUSORE** un qualsiasi dispositivo destinato ad immettere aria in ambiente. In particolare, si definiscono **bocchette i diffusori installati a parete** in prossimità del soffitto dotati di **uno o due ordini di alette**

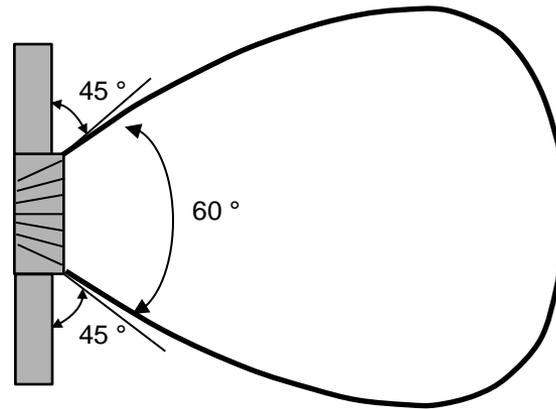


Le **alette orizzontali** **direzionano il getto** d'aria, mentre quelle **verticali** determinano **l'angolo di apertura** e conseguentemente **l'entità della gittata**.

Le **alette verticali diritte** danno origine in genere ad un angolo di divergenza di circa 19° , le **alette convergenti** danno ancora una divergenza di 19° , ma con un **aumento di gittata** di circa il 15%, a causa dell'infittimento dei filetti fluidi al centro del flusso d'aria dove interviene meno l'attrito a rallentare il getto.



Le **alette verticali divergenti** accentuano la diffusione laterale, diminuendo la gittata; bocchette con le **alette estreme orientate a 45°** provocano una divergenza di 60° con dimezzamento della gittata.



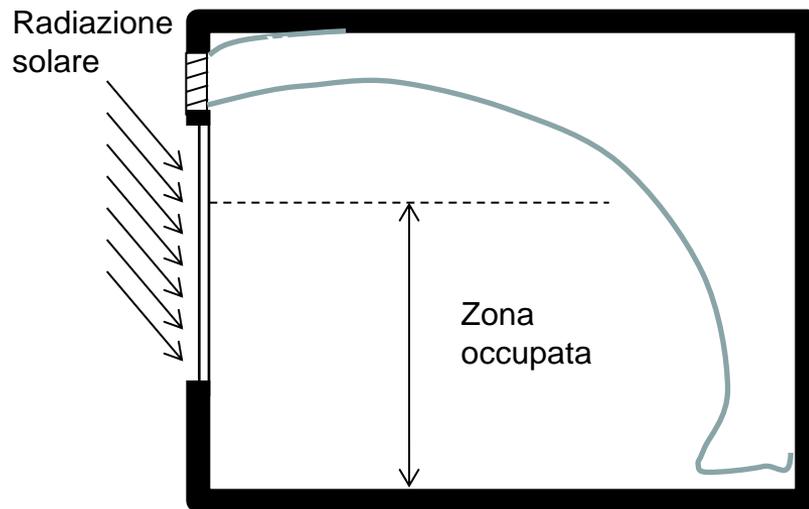
Normalmente la **gittata deve essere prevista per coprire l'intera lunghezza del locale** per evitare di creare sulla parete opposta a quella di immissione zone calde in estate e fredde in inverno.

Effetto di gittate lunghe

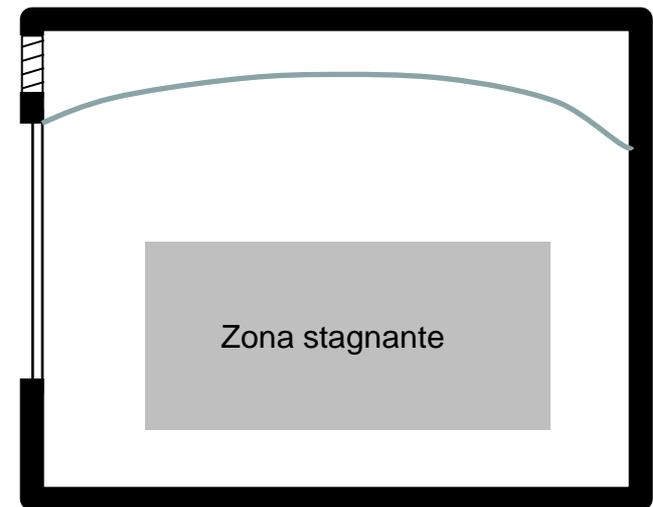
In regime estivo l'aria totale **cade lungo la parete opposta** a quella in cui è posizionata la bocchetta e fluisce verso il pavimento; la **zona in cui avviene la caduta** è contraddistinta da **velocità elevate** che creano condizioni di discomfort

In regime invernale l'aria totale **tende a salire** e a portarsi verso il soffitto creando una **zona stagnante** al di sopra del pavimento all'interno della zona occupata, con generazione di un **gradiente termico verticale** significativo; in questo caso una **gittata lunga contrasta la generazione del ristagno d'aria** provocando la caduta dell'aria sulla parete opposta a quella di posizionamento delle bocchette

Regime estivo



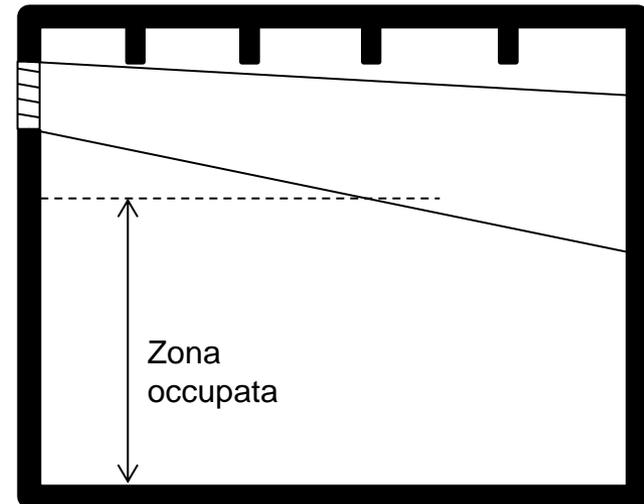
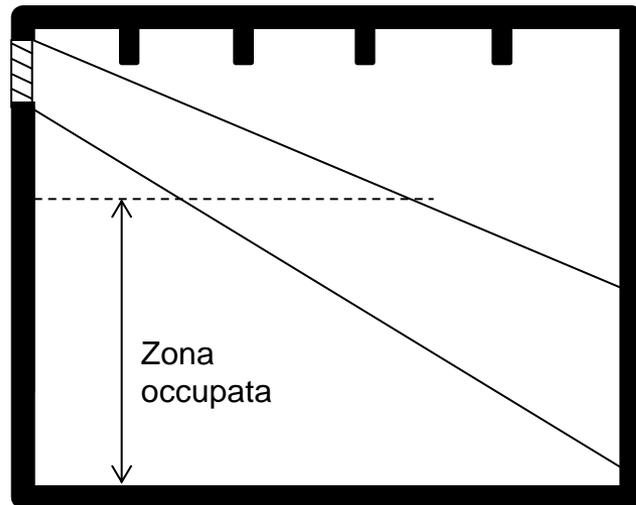
Regime invernale



La presenza di ostacoli sul soffitto può condizionare la scelta di uno schema di distribuzione dell'aria

Quando il **soffitto** è **privo di ostacoli**, le bocchette devono essere disposte **in alto** ad una **distanza pari almeno a due volte l'altezza della bocchetta**, per evitare l'effetto parete e la formazione di aloni di polvere sul soffitto.

Quando il flusso d'aria può essere **intercettato da ostacoli** (es. travi), è conveniente **abbassare la posizione** della bocchetta anziché orientare le alette verso il basso per evitare che il flusso d'aria entri troppo rapidamente nella zona occupata.



I **Diffusori a soffitto** normalmente **di forma circolare**, ottenuti da coni concentrici che facilitano il miscelamento tra aria immessa ed aria ambiente (induzione), ma esistono anche in forme semicircolare quadrata o rettangolare.



Dal WEB



I **Diffusori a soffitto circolari** producono in genere **gittate moderate ed elevati rapporti di induzione**, che producono una buona uniformità di distribuzione delle temperature interne.

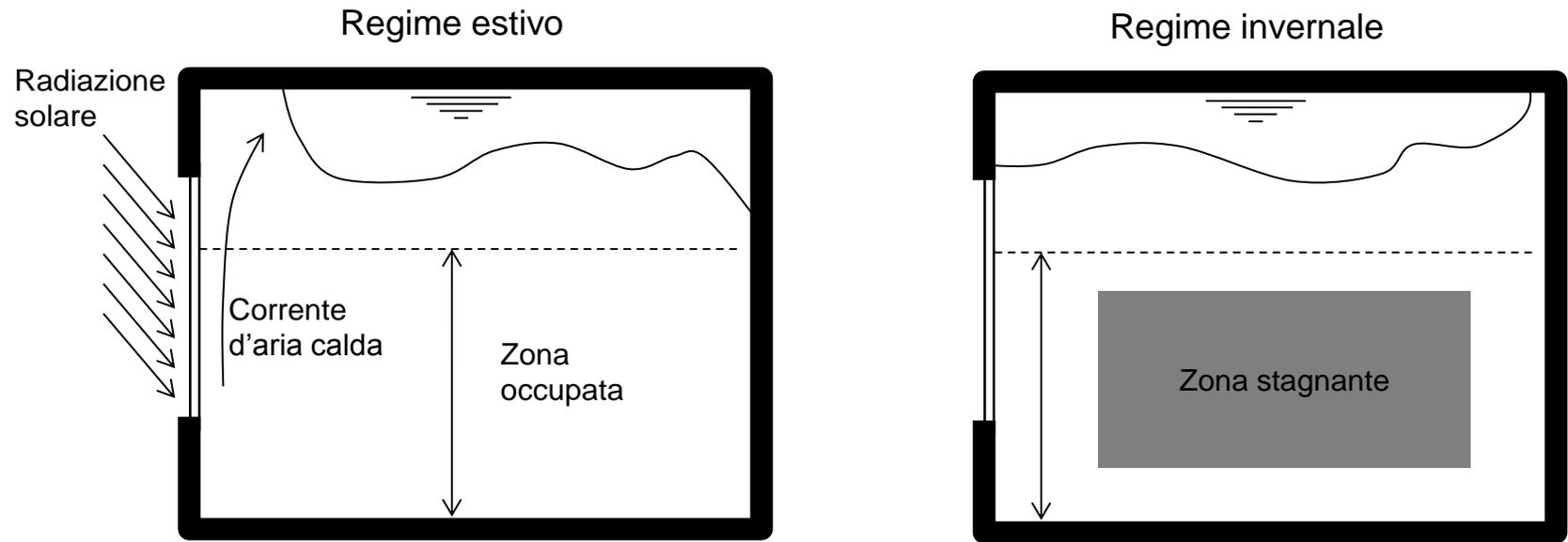
L'elevata induzione è legata all'**effetto soffitto**, per il quale *il flusso d'aria*, diffuso in tutte le direzioni attorno al terminale, *tende a mantenersi aderente al soffitto*, contrastando la tendenza alla caduta

Per questa ragione, *i diffusori a soffitto consentono di lavorare in regime di raffreddamento con temperature più basse dell'aria di mandata*

I diffusori a soffitto consentono di ottenere la migliore uniformità nella distribuzione dell'aria, potendosi anche disporre per i terminali vicini alla porta o alla finestra di trattare portate maggiori per compensare condizioni termiche più sfavorevoli. Per contro questa soluzione **richiede la costruzione del controsoffitto e risulta pertanto costosa**

Il flusso d'aria in regime estivo può risentire della presenza di una parete fortemente irraggiata che innesca una corrente d'aria calda ascendente, per cui sul lato della parete irraggiata la caduta dell'aria avviene prima che essa venga raggiunta, mentre la parete opposta viene investita dal flusso d'aria in caduta; poiché le massime variazioni di temperatura si verificano all'interno dell'aria totale, è molto importante che la zona di caduta non invada la zona occupata troppo presto

In regime di riscaldamento si producono condizioni simili a quelle estive con zone stagnanti verso il centro del locale



I **Diffusori lineari ad elevata induzione** hanno la caratteristica di distribuire l'aria con rapporti di induzione molto alti e possono perciò funzionare con elevati differenziali di temperatura, consentendo in tal modo una diminuzione delle portate di esercizio.

Il flusso d'aria è costituito da **numerosi getti individuali emessi verso la zona occupata**. La portata d'aria è suddivisa perciò in un ampio numero di getti ad elevata induzione

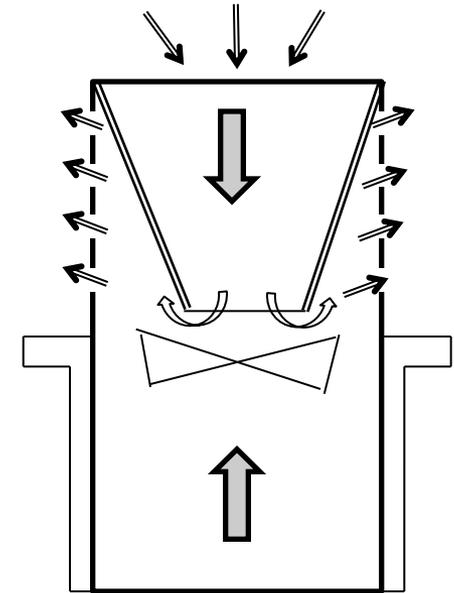
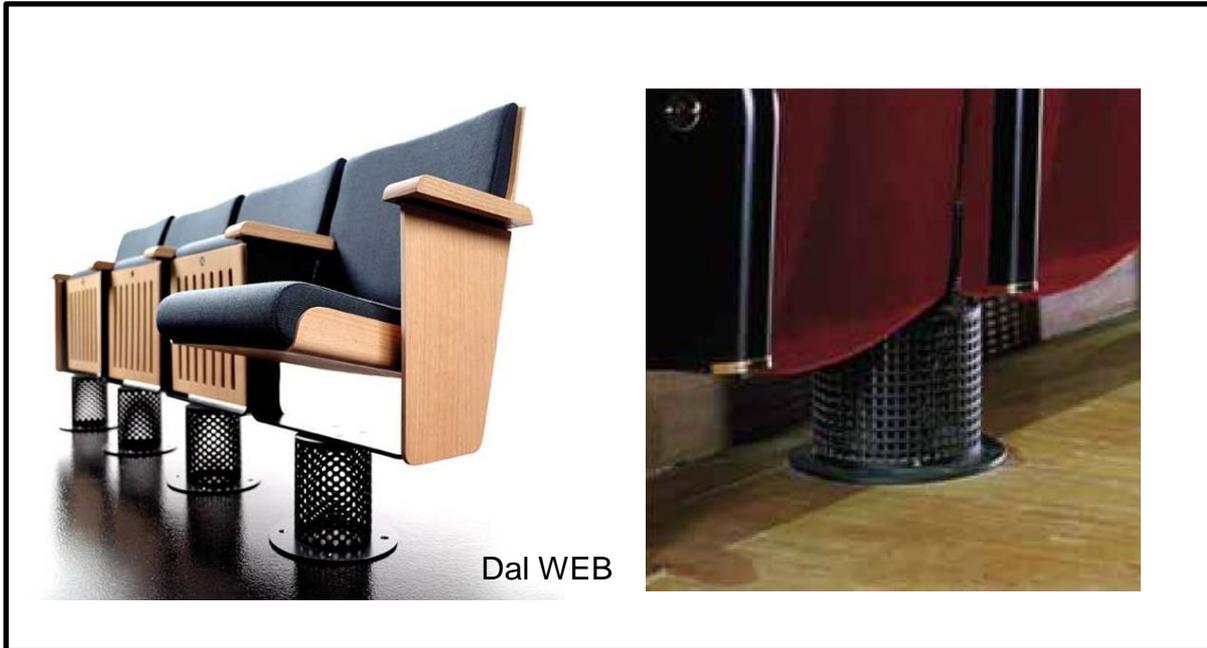


Dal WEB

I **diffusori a sviluppo lineare** emettono l'aria da numerose feritoie con un'inclinazione di 45° sui due lati ed un getto verticale di supporto

L'aria immessa **equalizza la propria temperatura con quella ambiente prima di entrare nella zona occupata** e perciò non si producono correnti

I **Diffusori da piede di poltrona** sono utilizzati in auditori, teatri, sale conferenza...



Funzionano con il **principio dell'induzione interna al diffusore stesso** in modo da consentire differenziali di temperatura molto contenuti tra l'aria immessa e quella ambiente

Il flusso d'aria primaria ascendente viene investito dall'azione centrifuga di alette rotanti, che lo spinge verso gli ugelli di immissione creando al contempo nella zona centrale una depressione in grado di richiamare dall'alto aria ambiente che si miscela con quella primaria;

A volte **gli ugelli di efflusso sono situati all'interno della spalliera della poltrona** dove avviene anche l'induzione