

MISURE DI PORTATA ARIA

Sono misure essenziali per determinare le prestazioni di un sistema aeraulico e vengono eseguite con differenti tecniche:

- direttamente sui terminali aria (bocchette, diffusori);
- all'interno di condotti (misura traversa);
- su dispositivi di taratura e regolazione caratterizzati (serrande, flange tarate, regolatori di portata autoazionati).

*Pierluigi Cattaneo,
Ubaldo Nocera, Massimo Silvestri*

I COLLAUDI DEGLI IMPIANTI AERAUICI A FINI DI BENESSERE

Procedure di prova e metodi di misura



Seconda parte
Misure di portata aria

2 MISURE SUI TERMINALI DI MANDATA E RIPRESA

Quasi tutti i terminali provocano irregolarità di flusso e rendono impossibile ricavare misure ripetibili. Per questo motivo l'esperienza e alcuni studi teorici sconsigliano di utilizzare le misure direttamente eseguite sui terminali come tecnica principale per la determinazione della portata d'aria.

In cantiere le maggiori perdite di tempo e di energia sono causate dalle diverse "opinioni" sulle tecniche di misura di portata dai terminali e dal tentativo di metterle in pratica.

Si commentano da sé situazioni in cui la misura di portata su diffusori viene eseguita smontando il diffusore e misurando la velocità sul canotto di raccordo. In generale bisognerà rifarsi alle tecniche utilizzate dal fabbricante per determinare le caratteristiche del terminale in laboratorio avendo cura di verificare che le condizioni di installazione reali siano uguali a quelle di prova. Sono numerosi i fattori che influenzano le misure sul campo:

- posizione della sonda di misura;
- posizione delle alette di bocchette e griglie o dei coni dei diffusori;
- posizione delle serrande di taratura;
- condizioni dell'aria in ingresso (prese statiche, dinamiche, captatori, raddrizzatori di filetto).

Tali fattori possono determinare errori fino al 50%.

Sono necessarie più tecniche di misura in funzione del tipo di terminale. Quelle più utilizzate e richiamate dal prEN 12599 sono:

- indirette, che consentono di ricavare la portata di aria dalla misura della pressione statica o totale nel collo del terminale. È una tecnica adottabile per terminali con perdite di carico medio-alte, comunque superiori a 30 Pa;
- indirette con il metodo della compensazione, mai impiegate sul campo ed invece utilizzabili in laboratorio. Si applica al terminale un plenum collegato a un ventilatore di prova dotato di controllo di portata. Il ventilatore immette o estrae aria dal plenum a secondo che si tratti di un terminale di estrazione o immissione.

Si agisce quindi sul regolatore di portata del ventilatore e la portata del terminale risulta pari alla portata del ventilatore quando nel plenum la pressione statica è nulla. Si effettua la misura di portata con una flangia tarata o una griglia di Wilson montata sul circuito del ventilatore:

- dirette con strumentazione particolare che riporta il flusso dell'aria in condizioni di accettabile uniformità da consentire una misura della velocità media.

Ad esempio l'anemometro a ventolina utilizzato su bocchette e griglie e il balometro su diffusori a coni. Si introduce un disturbo, trascurabile nel caso dell'anemometro a ventolina e valutabile nel caso del balo-



Figura 1 - Balometro

metro. Alcuni balometri danno la misura corretta dell'errore dovuto all'applicazione dello strumento sul terminale;

- dirette con il metodo del sacco. Si tratta di collegare alla bocca del terminale un sacco costruito con materiale leggero e tenuto ripiegato. All'istante zero si rilascia il sacco che va a riempirsi di aria in un tempo da cronometrarsi.

Il sacco si ritiene riempito qualora la sua pressione interna rilevata con un micromanometro raggiunga i 3 Pa. La durata della misura si ritiene accettabile se il tempo di riempimento è maggiore di 10 s. In caso contrario va usato un sacco con capacità più grande. Risulta che un sacco da 1000 L va usato fino a portate di 360 m³/h.

Con una accorta applicazione si possono ottenere misure con errore del 5%.

Non bisogna comunque tralasciare il fatto che autore-

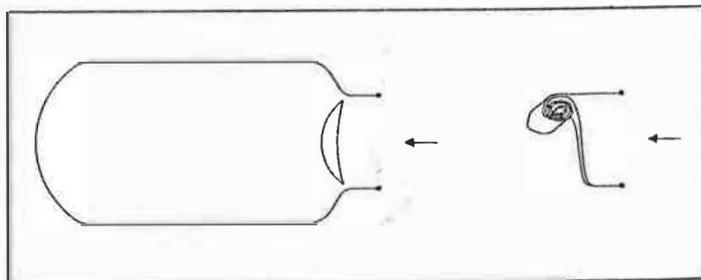


Figura 2 - Illustrazione schematica del metodo del sacco

voile letteratura non considera possibile "certificare" la portata d'aria ricavata con misure sui terminali dovendosi sempre provvedere a un confronto con i valori misurati nei condotti.

4 MISURE SU ELEMENTI CARATTERIZZATI

Gli elementi caratterizzati sono quelli di cui è stata ricavata in laboratorio, almeno su prototipo, la relazione che lega portata a differenza di pressione.

Non sempre la differenza di pressione misurata corrisponde alla perdita di carico dell'elemento in quanto le prese di pressione spesso sono costruite e posizionate per amplificare il valore rilevato.

Si tratta di elementi fissi inseriti sulle reti aerauliche con lo scopo di misurare, tarare o controllare la portata di aria. Usualmente sono utilizzati:

- cassette di controllo di portata (VAV o CAV);
- regolatori di portata autoazionati;
- serrande di taratura;
- elementi di misura quali ad esempio le griglie di Wilson e le flange tarate;
- componenti di impianto di cui siano note le caratteristiche aerauliche come batterie di scambio termico, silenziatori, lamiere forate.

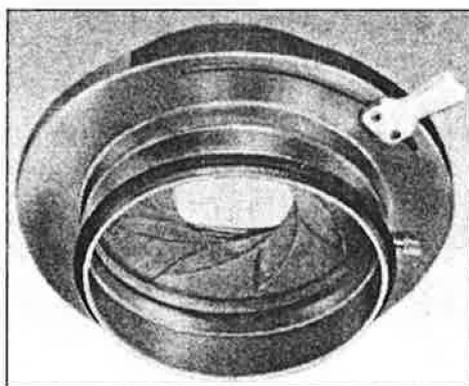


Figura 3 - Serranda di taratura a iride

Deve essere nota la reale relazione tra portata e perdita di carico dell'elemento misurata in laboratorio e le condizioni di installazione devono essere le stesse in cui tale relazione è stata ricavata. Nel caso in cui la relazione portata/perdita di carico fosse solo stimata con algoritmi di calcolo, come ad esempio accade per le batterie di scambio termico, l'esperienza ha dimostrato che le misure portano a stimare la portata d'aria con errori sistematici non controllabili e pertanto se ne sconsiglia l'uso. La formula ricorrente per calcolare la portata a partire da misure di differenza di pressione sull'elemento caratterizzato assume la classica espressione di:

$$Q = k \cdot (Dp)^{0.5}$$

Dove

- Q = portata (L/s);

- k = coefficiente di efflusso per l'elemento considerato
- Dp = differenza di pressione misurata sull'elemento secondo le indicazioni del fabbricante (Pa).

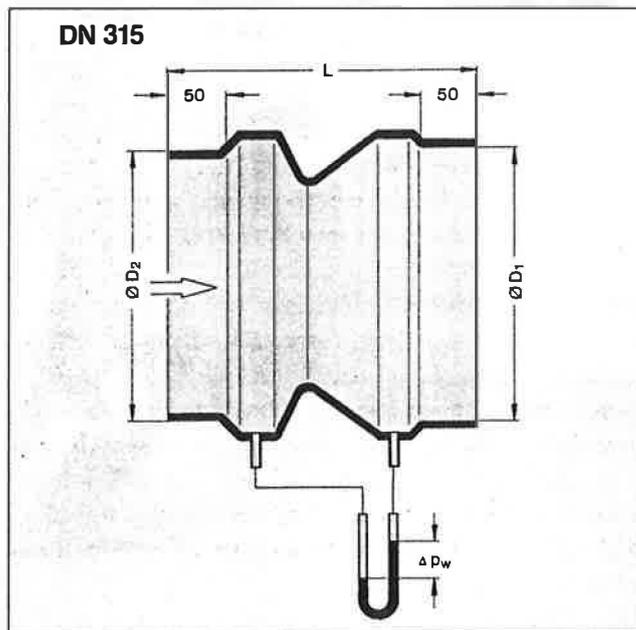


Figura 4 - Flangia tarata

Esempio

Una flangia tarata diametro 315 mm ha un fattore k pari a 73,3. Il valore misurato della differenza di pressione è 120 Pa, valutare la portata.

$$Q = 73,3 \cdot (120)^{0.5} = 803 \text{ (L/s)}$$

4 MISURE NEI CONDOTTI

Sono misure indirette dette anche misure "traverse" in quanto comportano la misura della velocità dell'aria sulla sezione retta trasversale delle condotte.

La tecnica richiede di:

- individuare su un tratto di condotta una posizione in cui il flusso dell'aria sia accettabilmente uniforme;
- misurare le velocità istantanee su più punti della sezione retta del condotto e ricavare la velocità media;
- ricavare l'area della sezione retta da misure geometriche;
- calcolare la portata volumica come prodotto della velocità per l'area della sezione del condotto.

4.1 Sezione traversa

Si tratta di ricavare il valor medio della velocità dell'aria nel condotto a partire da misure di velocità su più punti posti sul piano di misura della sezione trasversale perpendicolare all'asse del condotto.

Le caratteristiche che deve avere il piano trasversale per limitare errori sistematici sono:

- distribuzione di velocità uniforme;

- flusso perpendicolare al piano trasversale. Sono accettabili variazioni lievi fino a 10 gradi;
- condotto di forma costante nelle vicinanze del piano di misura.

Individuato il punto di misura bisogna stabilire la tecnica per ricavare il valore medio della velocità a partire da tutte le possibili misure all'interno del condotto.

Si prende in esame il piano di misura dove, in teoria, i punti di misura sono infiniti e il valore della velocità dell'aria potrà variare da punto a punto a causa della distribuzione del profilo di velocità. Sulle pareti la velocità è nulla e aumenta verso il centro del condotto.

La causa delle non uniformità è dovuta a disturbi introdotti da curve, diramazioni, serrande e altri componenti delle reti aerauliche. Esistono disturbi di flusso non facilmente rappresentabili, che non consentono alcun tipo di misurazione accettabile e sono quelli che inducono movimenti di rotazione al flusso dell'aria intorno all'asse del condotto. In tali casi, durante l'esecuzione delle misure si nota un'ampia pulsazione del valore letto. I valori ricavati in situazioni simili non sono utilizzabili.

In caso di lievi pulsazioni, invece, la misura può essere utilizzata, ma va fatta una media in un intervallo di tempo definito della misura di velocità eseguita sullo stesso punto. Alcuni strumenti lo fanno automaticamente.

La tecnica consiste quindi nel suddividere la sezione retta del condotto in areole al centro di ognuna delle quali effettuare la misura, creando quindi un reticolo di misura.

Sono state proposte differenti tecniche per il reticolo di misura:

- eguale area in cui ogni punto è al centro di areole di eguale superficie;
- Log-Tchebycheff, più accurato, in quanto meglio approssima il comportamento del flusso in prossimità delle pareti del condotto. In pratica, per i condotti circolari e ovali, il metodo egual area e quello Log-Tchebycheff sono simili.

In entrambi i metodi la velocità media viene ricavata come media aritmetica di tutti i valori misurati sul reticolo.

Nel caso di misure negative il valore viene considerato nullo e partecipa alla media.

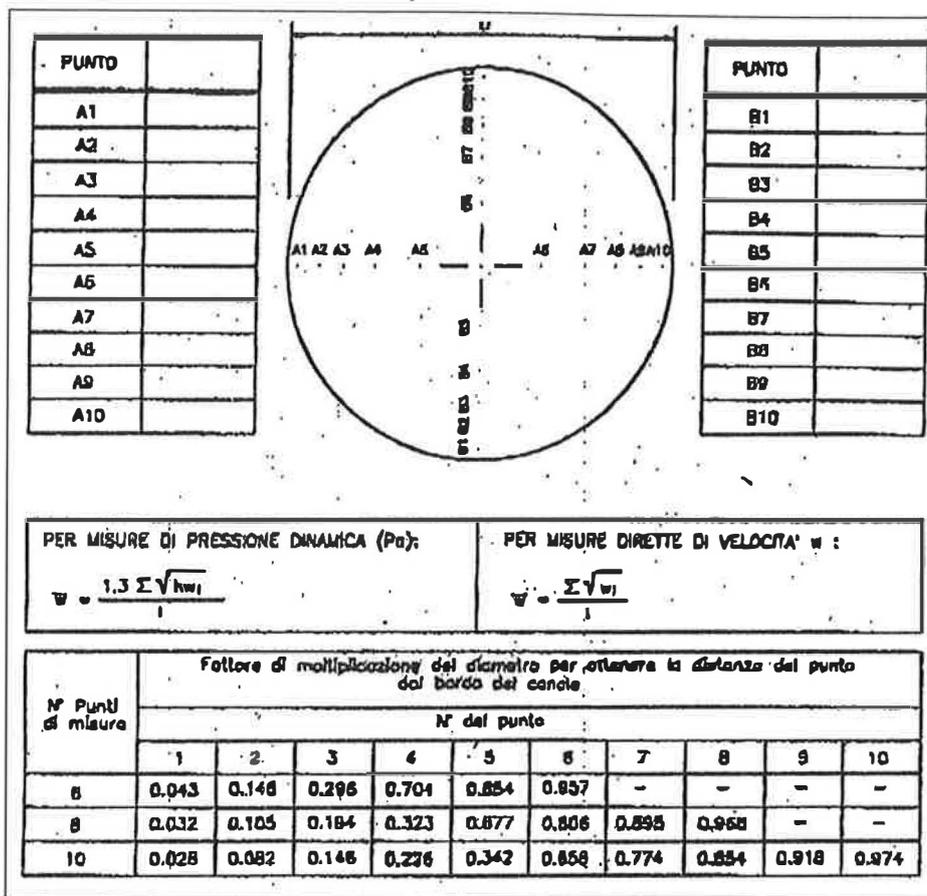


Figura 5 - Reticolo per punti di misura della velocità in un canale circolare

4.2 Punto di misura

È possibile stimare l'errore dovuto alle caratteristiche della sezione di misura e della sua distanza dagli elementi di condotto, quali curve, diramazioni, serrande che disturbano il flusso dell'aria.

La condizione ideale è quella in cui la distribuzione delle velocità dell'aria sulla sezione retta del condotto segue la tipica forma della distribuzione in un moto turbolento. È utile a questo punto precisare che per disuniformità si intende la distribuzione del profilo di velocità quando si scosta dalla distribuzione ideale del moto turbolento. Il prEN 12599 consente, una volta individuato il punto di misura, di valutare il numero di punti del reticolo di misura necessario per controllare l'errore complessivo, a fronte di un errore

Tabella I - Fattore di protezione, punti di misura ed errore

Distanza relativa a/Dh	Approssimazione totale/ approssimazione di tutte le altre influenze		
	10/5	20/5	20/10
1,6	-	15	20
2,0	50	10	14
2,5	34	7	10
3,0	25	6	8
4,0	16	4	5
5,0	12	3	3
6,0	8	2	3

strumentale definito. Una volta noto l'errore della strumentazione e la posizione della sezione traversa si ricava l'errore complessivo.

La tabella I definisce:

- D_h (m) = diametro idraulico di un condotto pari a $4 \cdot A/U$, dove A (m^2) è l'area della sezione retta e U (m) il perimetro. Per condotti circolari, il diametro idraulico coincide con il diametro geometrico;
- a/D_h = fattore di protezione rapporto tra la distanza del punto di misura dall'elemento disturbante a monte e il diametro idraulico D_h .

Esempio

Stabilire il minimo numero di misure da eseguire sulla sezione retta nelle seguenti condizioni:

- condotto rettangolare di $0,4 \cdot 0,25$ m;
- distanza del punto di misura da un elemento di disturbo 1,50 m;
- errore dello strumento utilizzato 5%;
- errore complessivo desiderato per la misura massimo 10%.

Si ricava

- diametro idraulico

$$D_h = 4 \cdot (0,4 \cdot 0,25) / (0,4 + 0,25) \cdot 2 = 0,308;$$

- fattore di protezione $a/D_h = 4,87$ che si arrotonda a 5;
- numero di misure = 12.

La sezione retta del condotto nel punto di misura andrà suddivisa in un reticolo di 12 punti per ognuno dei quali andrà eseguita la misura di velocità. La media aritmetica delle dodici misure dà il valore medio della velocità dell'aria nel condotto con un errore complessivo del 10%. Un'altra tecnica per valutare l'errore della misura è quella del fattore U ovvero del fattore irregolarità di flusso definito come:

$$U = (V_{max} - V_{min}) / (2 \cdot V_{med})$$

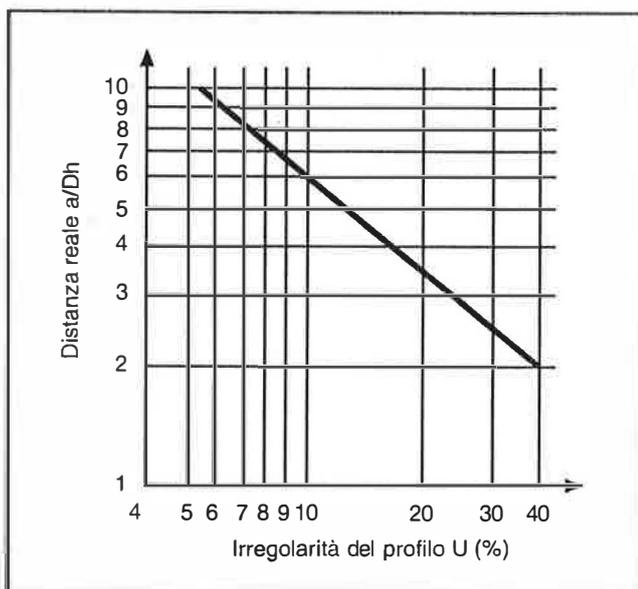


Figura 6 - Relazione tra fattore di protezione e irregolarità del profilo

Dove:

- V_{max} = valore della velocità massima misurata sul 25% della sezione retta;
- V_{min} = valore della velocità minima misurata sul 25% della sezione retta scartando le misure eseguite sulla zona perimetrale della sezione retta;
- V_{med} = valore della velocità media misurata su tutta la sezione retta.

Nel caso non siano state eseguite misurazioni si può ricavare una relazione tra fattore di protezione e fattore U riferendosi alla figura 6.

La tabella II consente di ricavare l'errore della misura in funzione del fattore U e del numero di misure eseguite su un punto.

Tabella II - Errore di misura in funzione della irregolarità del profilo e del numero di punti di misura

Numero dei punti di misura	Approssimazione della posizione dei punti di misura in %					
	Irregolarità del profilo della sezione U in %					
	2	10	20	30	40	50
4	6	12	20	28	36	42
5	5	11	17	24	31	36
6	5	10	15	21	27	23
8	4	8	13	18	13	27
10	3	7	12	16	20	24
20	2	5	8	11	14	16
30	2	4	7	9	11	14
50	1	3	5	7	8	10
100	1	2	3	5	6	7
200	1	1	2	3	4	5

Esempio

Stabilire l'errore complessivo di una misura con le seguenti caratteristiche:

- irregolarità del profilo 30%;
- $V_{max} = 5$ m/s;
- $V_{min} = 2,8$ m/s;
- $V_{med} = 4$ m/s;
- numero di misure eseguite = 30.

Si ricava

- errore dovuto al punto di misura $\pm 9\%$.

Il reticolo di misura sarà costituito da 30 punti. La media aritmetica delle trenta misure dà il valore medio della velocità dell'aria nel condotto con un errore complessivo di $\pm 9\%$. Le procedure sopra indicate possono essere utilizzate al contrario e cioè per individuare la posizione del piano di misura una volta noto l'errore massimo richiesto.

5 CONCLUSIONI

Le misure di portata di aria sono le più impegnative e difficili da realizzare sui sistemi aerulici. Tale difficoltà è determinata da:

- impegno nell'individuare i punti di misura e nell'accedervi;
- dover procedere spesso per tentativi con impiego di tempo e risorse. Oneri di cui non si tiene spesso conto in fase preventiva;
- non conoscenza delle tecniche che porta alle più estemporanee applicazioni dei principi della fluidodinamica.

Più l'applicazione è fantasiosa più ne è radicata la sua validità nella mente dell'inventore;

- mancanza di tempo. Spesso i termini contrattuali non lasciano spazio per le misure e le messe a punto.

Ormai da molti decenni letteratura e normative in tutto il mondo hanno stabilito le regole dell'arte per le misure di portata aria, ma in Italia non si è ancora raggiunta un'accettabile sensibilità sull'argomento. La CEN PR 12599 stimola nella giusta direzione.

Tra l'altro chiede di specificare in fase di contratto/capitolato:

- estensione delle misure e tolleranze;
- che dovrà esistere un responsabile delle operazioni di misura e test e della compilazione dei documenti con i "report" dei dati misurati;
- i dati di riferimento (altrove chiamati design intent document);
- le modalità di esecuzione di eventuali misure in condizioni differenti da quelle di progetto;
- azioni da intraprendere in caso di risultati negativi delle misure quali, ad esempio, ripetizione delle misure.

ASHRAE indica che in caso di "final verification", l'equivalente del collaudo, si proceda alla esecuzione di misure campione.

La scelta dei punti campione deve essere comunicata dal verificatore lo stesso giorno in cui avviene la misura. Nel caso di esito negativo anche di solo una delle misure campione si procede al rifacimento di tutte, non le stesse.

Sono utilissimi suggerimenti per ottenere una corretta messa a punto, taratura e bilanciamento dei sistemi aerulici nello spirito della CEN PR 12599.

BIBLIOGRAFIA

- [1] European Standard "Ventilation for buildings - Test procedures and measuring methods for handing over installed ventilation and air conditioning systems" - 1996 - CEN rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels
- [2] AICARR "Misure bilanciamento e collaudo dei circuiti aria ed acqua nei sistemi di climatizzazione" - 1995 - viale Monte Grappa, 2 - Milano
- [3] "Ashrae Handbook - Fundamentals 1993" - 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329 - Chap. 32 - Duct Design
- [4] "Ashrae standard 111- 1988 - Practices for measurement, testing, adjusting and balancing of building heating, ventilation, air conditioning, and refrigeration systems" - 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329
- [5] "Ashrae guideline 1- 1996 - The HVAC Commissioning process" - 1791 Tullie Circle, N.E., Atlanta, GA 30329

- [6] Air Movement and Control Association - "Air Systems" - 1987 - 30 West University drive - Arlington Heights, Illinois 60004 U.S.A.
- [7] James W. May - American Air Filter Company inc. - "The physics of air" - 1963 - 215 Central Av., Louisville B. Kentucky
- [8] American Conference of Governmental Industrial Hygienist "Industrial Ventilation" - 1992 - 6500 Glenway Av. Bldg. D7, Cincinnati, Ohio 45211 USA
- [9] SMACNA "HVAC systems testing, adjusting and balancing" - 1990 - 8224 old Courthouse road Vienna, Virginia 22182 USA
- [10] NEBB "Procedural standards for building systems commissioning" - 1993 - 1385 Piccard Drive, Rockville Maryland 20850 USA.

Dott. ing. Pierluigi Cattaneo, Intertecno Spa, Milano
 Dott. ing. Ubaldo Nocera, Libero Professionista, Parma
 Dott. ing. Massimo Silvestri, Libero Professionista, Dalmine (BG)

RIASSUNTO - ABSTRACT

Il collaudo degli impianti aerulici ai fini di benessere

Procedure di prova e metodi di misura Seconda parte: Misure di portata aria

Il primo di questa serie di articoli di illustrazione del progetto di norma europea prEN 12599, recepito dal progetto di norma UNI 5-032 ter relativo al collaudo degli impianti aerulici a fini di benessere, è apparso su questa rivista nel numero 4, aprile 1999, con oggetto "Procedure di prova e metodi di misura".

Il presente articolo entra direttamente nel vivo dell'argomento descrivendo le misure di portata d'aria, che sono certamente tra le più delicate e controverse da eseguire.

Parole chiave: Impianti aerulici - Collaudi - Progetto di norma europea 12599 - Portate d'aria - Metodi di misura

Testing Aerulic Installation for Air Quality Testing Procedures and Measurement Methods Part 2: Air flow measurement methods

The first article of this series "Testing procedures and measurement methods", has been published on the issue No.4, april 1999 of this magazine. The object of the series is the analysis of the Draft Standard EN 12599, integrally acknowledged by the Draft Standard UNI 5-032 ter "Testing of aerulic installations".

The present article deals with air flow measures and measurement methods which are among the most delicate and disputed ones to be carried out.

Key words: Aerulic installations - Tests - European Draft Standard 12599 - Air flow - Measures and measurement methods