

Materials and Structures Testing and Research
www.masteritalia.org

MASTER MAGAZINE

Dicembre 2020, numero 2 - Anno XI



Peculiarità circa la valutazione delle caratteristiche aerodinamiche di un ventilatore industriale in situ ed importanza dell'analisi delle incertezze

Marco Maria Parrini

Ingegnere, libero professionista

Sommario

Vengono discussi i principali metodi di prova standardizzati per l'esecuzione di prove in situ su ventilatori industriali con particolare aspetto alle indicazioni sull'analisi delle incertezze dei risultati di prova.

Marco M. Parrini (studio@marco-parrini.com)

Studio di Ingegneria Parrini

Viale Gian Galeazzo 7, 20136 - Milano

1. Introduzione

Un ventilatore è una turbomacchina operatrice che riceve energia meccanica e la utilizza, per mezzo di una o più giranti palettate, per mantenere un flusso continuo d'aria o di altri gas in un impianto.

In linea teorica i ventilatori sono simili alle pompe ed ai compressori.

Tuttavia, mentre risulta semplice la distinzione tra ventilatori e pompe a seguito del differente fluido trattato (fluido in fase liquida per le pompe, fluido in fase aeriforme per i ventilatori), la distinzione tra ventilatori e compressori risulta più complessa in quanto entrambe queste turbomacchine trattano la medesima tipologia di fluido (aria o gas). In linea generale, mentre un ventilatore ha lo scopo di spingere, spostare o aspirare una quantità di fluido, i compressori hanno anche il compito di comprimere o provocare una riduzione di volume del fluido trattato.

I settori di applicazione dei ventilatori sono estremamente vasti anche se si possono individuare, principalmente due principali famiglie:

- ventilazione, depolverizzazione e trasporto del fluido e di altri materiali o particelle aerodisperse risultato del processo di lavorazione
- incremento dello scambio energetico dovuto al moto fornito dal ventilatore

A voler redigere un elenco, seppur non esaustivo, possiamo, di seguito, indicare alcune applicazioni tipiche per ciascuna delle due famiglie.

Alla prima famiglia appartengono le seguenti applicazioni:

- ventilazione nel settore dell'edilizia (dal civile all'ospedaliero ecc...);
- ventilazioni di gallerie;
- camere bianche;

- cementifici (per quanto riguarda il molino del crudo);

Alla seconda famiglia appartengono, invece, le seguenti applicazioni:

- produzione energia elettrica nelle fasi di ottimizzazione del processo di combustione (miscela tra combustibile ed aria);
- scambiatori di calore dove i ventilatori sono utilizzati per convogliare le portate d'aria per il raffreddamento delle unità di scambio termico;
- settore oil&gas;
- industria del vetro.

Il collocamento del ventilatore all'interno di un impianto, qualsiasi esso sia, può essere posizionato in modo che lavori in aspirazione (o depressione), noti col nome di "induced draft fans" o in sovrappressione, noti come "forced draft fans".

Esistono diversi tipi di ventilatore in funzione delle caratteristiche necessarie (ventilatori assiali e centrifughi) e diversi sono anche i materiali per la realizzazione degli stessi: acciaio inox, acciai speciali con trattamento anticorrosivi ecc. Inoltre è possibile realizzare i componenti di un ventilatore sfruttando differenti materiali per esempio al fine di ottenere macchine per applicazioni antideflagranti.

Indipendentemente dall'applicazione, dai materiali utilizzati nella sua costruzione è necessario verificare le prestazioni del ventilatore una volta inserito nell'impianto per il quale è stato progettato: si parla, quindi, di prove in situ.

2. Necessità di esecuzione di prove di prestazioni in situ

Due sono le situazioni tipiche che necessitano di eseguire prove per la determinazione delle caratteristiche di un ventilatore:

- rispetto di una clausola del contratto di fornitura del ventilatore che prevede la verifica delle prestazioni del ventilatore nell'impianto progettato;
- verifica delle prestazioni del ventilatore per accertare, nella fase di avviamento dell'impianto (in inglese "commissioning"), la necessità di eventuali miglioramenti del sistema.

In entrambe le situazioni sopra descritte, seppur non obbligatorio (le norme di cui parleremo non sono di tipo cogente), è utile fare riferimento a norme che danno indicazioni su come eseguire tale tipologia di test principalmente per i seguenti motivi:

- le norme forniscono procedure e metodologia di prova riconosciute ed accettate, utili da seguire per evitare errori di ingenuità o inesperienza,
- consentono di ripetere i test ottenendo risultati comparabili in quanto indicano in maniera dettagliata le procedure da seguire.

A differenza dei test di laboratorio che individuano la curva caratteristica del ventilatore nella sua estensione più completa, ovvero da portata nulla a portata massima (condizione di pressione statica nulla), durante un test in situ risulta necessario verificare le prestazioni di un ventilatore in un numero limitato di punti, relativi al funzionamento dell'impianto stesso.

Di seguito si riportano in forma grafica i concetti sopra esposti:

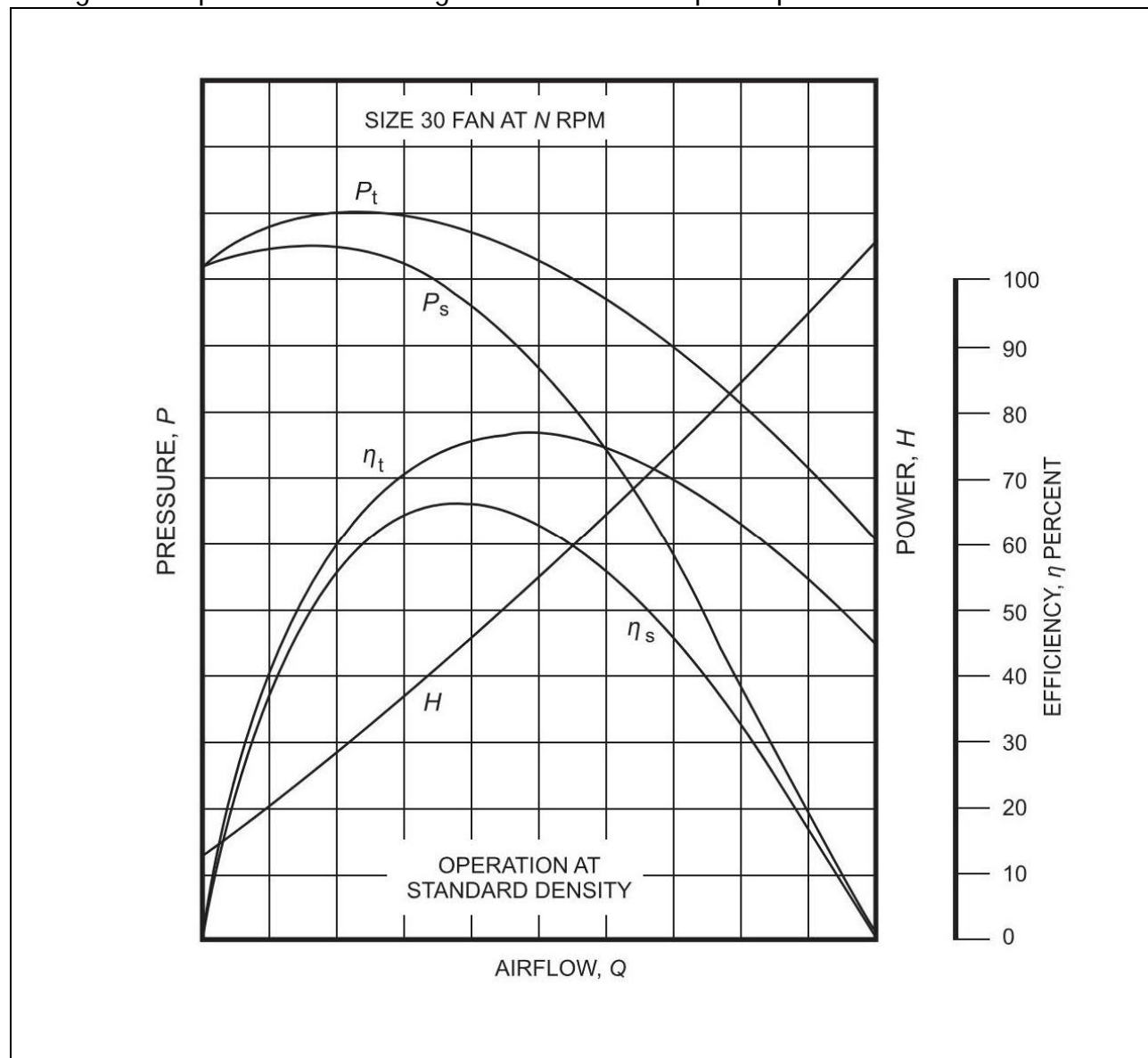


Fig. 1: Curva caratteristica di laboratorio di un ventilatore centrifugo a pale rovesce (i pedici "s" e "t" indicano rispettivamente i valori di pressione statica e totale e i relativi rendimenti) ¹

¹ Tratto da: "AMCA Publication 201: Fan and Air System"

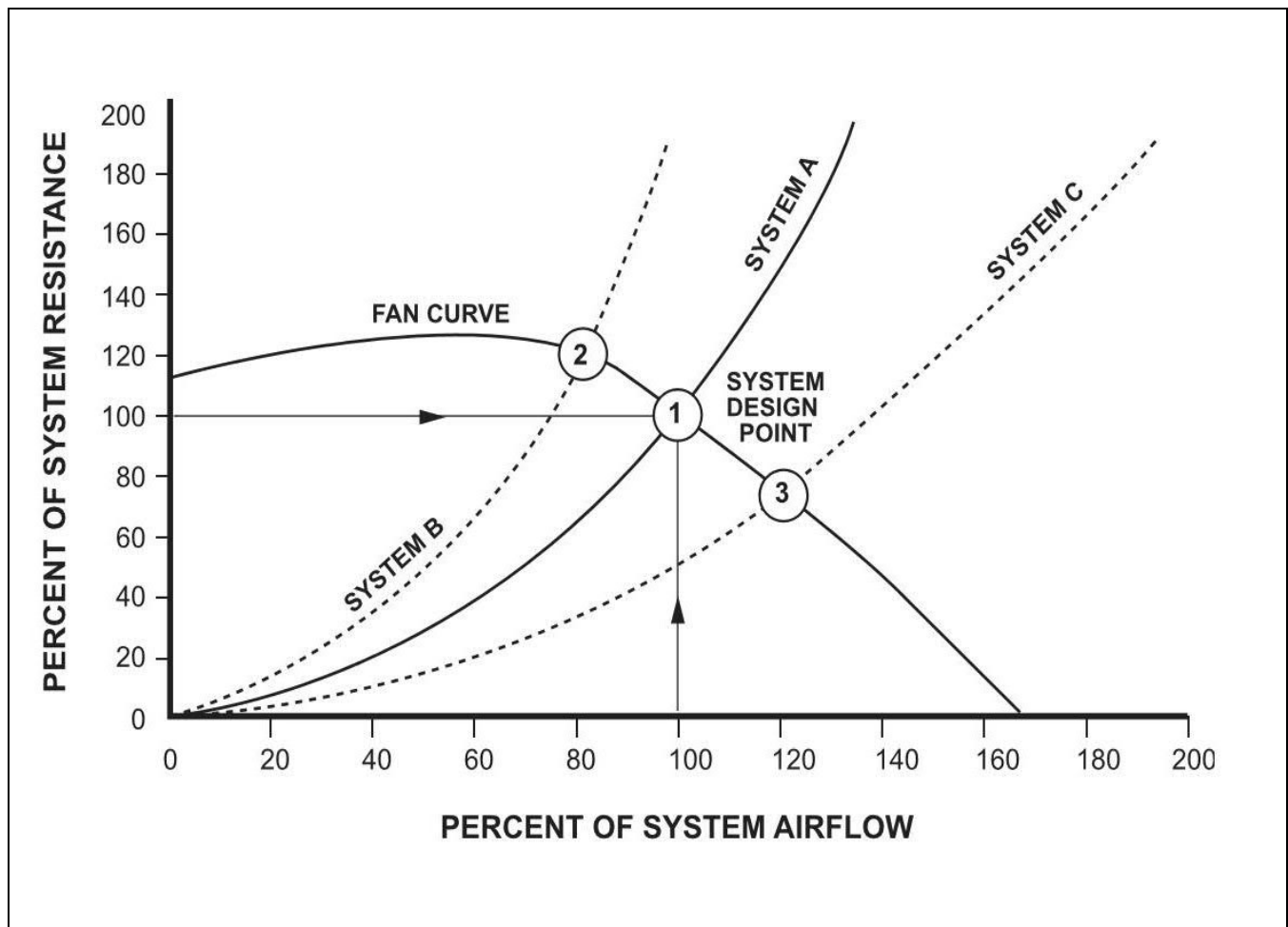


Fig. 2: Punti di prova nel caso di prove in situ⁵

Di norma la prestazione del ventilatore viene verificata solo nel punto tipico di funzionamento che si ottiene, come indicato in figura 2 (cfr. punti 1, 2, 3), dall'intersezione della curva di prestazione del ventilatore con la/le curva/e di resistenza dell'impianto.

3. Standard esistenti per le prove di ventilatori in situ

Tre sono le norme per l'esecuzione di prove in situ:

a. UNI EN ISO 5802: "Ventilatori industriali. Prove prestazionali in situ". La prima edizione è datata 2001 ed è stata rivista nel 2008 e nel 2015. L'attuale versione presenta, rispetto alla versione precedente, solo qualche correzione.

Lo scopo di tale norma è indicato al punto 1: "This International Standard specifies tests for determining one or more performance characteristics of fans installed in an operational circuit when handling a monophasic fluid"².

² "questa norma internazionale dà prescrizioni per l'esecuzione di test al fine di determinare uno o più punti della curva caratteristica di un ventilatore che tratta di fluido monofase, installato su di un impianto"

b. AMCA 803: *“Industrial Process Power Generation Fans: Site Performance test Standard”*. Questa norma è redatta dall’Associazione AMCA “Air Moving and Control Association International Inc.” con sede in Illinois negli Stati Uniti di America.

Lo scopo di tale norma è riportato al punto 1 dove è indicato che la norma prescrive un metodo di prova per la valutazione delle prestazioni di un ventilatore nelle condizioni di installazione nell’impianto cui è destinato, nelle applicazioni dell’Industria di processo o di generazione di potenza. La norma, inoltre, fornisce indicazioni e regole per la conversione delle caratteristiche misurate in altre condizioni di operatività.

c. ASME PTC 11-2008: *“Fans – Performance Test Code”*. E’ redatta dall’American Association of Mechanical Engineers. Nasce nel 1946 come norma per test di laboratorio ma l’attuale versione al punto 1.2 recita: *“The scope of this Code is limited to the testing of fans after they have been installed in the systems for which they were intended”*³.

Un ulteriore documento di riferimento per l’esecuzione di test in situ su ventilatori è rappresentato da:

d. AMCA Publication 203: *“Field Performance measurement of Fan System”*. Al punto 2 è indicato: *“The recommendations and examples in this publication may be applied to all types of centrifugal, axial, and mixed flow fans in ducted or nonducted installations used for heating, ventilating, air conditioning, mechanical draft, industrial process, exhaust, conveying, drying, air cleaning, dust collection, etc. Although the word air is used when reference is made in the general sense to the medium being handled by the fan, gases other than air are included in the scope of this publication”*⁴.

La differenza tra le prime tre norme citate e la quarta è rappresentata dal fatto che a differenza delle norme che forniscono indicazioni vincolanti, la “Pubblicazione” può essere meno restrittiva e fornire suggerimenti. In altre parole le “Pubblicazioni” hanno un approccio più pratico e sono meno complesse da seguire.

Un esempio chiarirà quanto sopra indicato:

la Pubblicazione AMCA 203 individua, a differenza delle norme dove non sono previste sottocategorie di test, tre differenti tipologie di esecuzione di test in situ e precisamente:

- test in situ categoria “A”: - Valutazione generale del ventilatore nel sistema in cui è inserito: misura del punto di funzionamento del ventilatore/impianto per la valutazione delle modifiche o aggiustamenti del sistema

- test in situ categoria “B”: - test di accettazione – Test da eseguire come accettazione di quanto previsto nell’accordo tra fornitore e cliente

³ “lo scopo della presente norma è limitato alla misurazione delle caratteristiche di un ventilatore una volta che lo stesso è stato installato nell’impianto per cui era stato progettato”

⁴ Le raccomandazioni e gli esempi contenuti nella presente pubblicazione possono essere applicati a tutti i tipi di ventilatori centrifughi, assiali, a flusso misto canalizzati o non canalizzati per installazioni nei settori riscaldamento, ventilazione, condizionamento, aspirazione meccanica, industria di processo, smaltimento fumi, trasporto, asciugatura, aspirazione polveri ecc. Sebbene nel testo sia utilizzata la parola “aria”, qualunque altro gas deve considerarsi incluso nello scopo della presente pubblicazione”.

- test in situ categoria "C": - test di verifica della rispondenza delle prestazioni del ventilatore – test da eseguire su richiesta della committenza per la verifica delle prestazioni a seguito di un reclamo.

Per ciascuna categoria di test la Pubblicazione AMCA 203 fornisce un differente livello di prescrizioni da rispettare nell'esecuzione del test stesso.

Considerando i tre standard e la pubblicazione sopra identificati è possibile eseguire un confronto sulle similitudini concettuali e gli approcci di ciascuno e riassumere i risultati in forma tabellare esplicitando similitudini e differenze.

Nella pagina seguente viene riportata una tabella che ripercorre gli aspetti concettuali fondamentali riportando per ciascun documento il paragrafo dove tale argomento è discusso.

Nel dettaglio si possono osservare le seguenti particolarità:

- a differenza della norma EN ISO 5802, le norme (e la pubblicazione AMCA) di origine statunitense considerano parte integrante del percorso di esecuzione di un test anche l'aspetto della presentazione dei risultati. Alla terzultima riga della seguente tabella è indicato il punto di trattazione della presentazione dei risultati, completamente assente per la norma EN ISO 5802.

- nella riga in colore verde si sottolinea quanto già sopra evidenziato: le norme non permettono suggerimenti o "precauzioni", mentre la Pubblicazione AMCA 203 può permettersi di inserire tali argomentazioni.

- Al fine dell'elaborazione dei risultati è opportuno notare (si veda l'ultima riga della tabella seguente in colore rosso) che tutti e quattro i documenti riportano indicazioni sull'analisi delle incertezze di misura⁵.

⁵ Qualora la committenza intenda considerare come valore di prova il valore realmente misurato, senza l'analisi di alcuna incertezza di misura sarà necessario che tale aspetto venga esplicitato prima dell'esecuzione dei test e non a test avvenuti. Più avanti si discuterà maggiormente sul calcolo delle incertezze e si chiariranno meglio gli aspetti sopra enunciati.

Documents structure and concept similarity				
	EN ISO 5802 Standard	ASME PTC 11 Standard	AMCA 803 Standard	AMCA 203 Publication
General items	Sect. 1: Scope; Sect. 2, 3 and 4: Normative references, Terms definitions and procedures concerning in situ tests, Quantities to be measured	Sect. 1: Object and Scope; Sect. 2: Definitions of Terms, symbols and their descriptions	Sect. 1 and 2: Purpose and Scope; Sect. 3, 4 and 5: Units of measurement, Symbol and subscription, Definitions	Sect. 1 and 2: Introduction and Scope; Sect. 6: Fan Performances Sect. 8: Symbol and Subscriptors
Recommendation and Principles	Sect. 5.1: General condition and Procedures concerning in situ tests Sect. 5: General conditions and procedures concerning in situ tests	Sect. 3: Guiding principles	Sect. 8: Conduct a test	Sect. 3: and 4 Types of Field tests; Alternatives to conducting Field test [laboratory test] Sect. 5: System Effect Factors
General considerations concerning Instrumentation, including accuracy, calibration etc	Sect. 6: Instrumentation	Sect. 4: Instruments and Methods of Measurement	Sect. 6: Instrument and Methods of Measurement	Annex J: Instrumental Characteristics
Measurement Planes locations and requirements	Sect 3: Figure 1 and Sect. 7, 8 and 9 (see below)	Are not indicated in a specific Section, but are indicated in different part of the Standard	Sect 7: Measurement Plane Configuration	Sect. 7 Reference Planes [for measurements]
Additional practical information (warnings) for reducing errors during test operations				Sect. 15 and 16: Test Preparation, Precautions
Performances determination	Sect. 7, 8 and 9: Determination of fan pressure, determination of fan flow rate, determination of power	Sect. 4 and 5: Instruments and Method of Measurement, Computation of results	Sect. 9: Calculation	Sect 10: Fan Static Pressure Sect. 9: Fan flow rate Sect. 11: Fan Power Input Sect 12: Fan Speed Sect 13: Densities Sect. 14: Conversion calculation
Information to be included in calculations and results		Sect. 6: Report of Results and Sect. 6-4: Calculation and results	Sect 11: Presentation of results	Annex S: Typical format for Field Test Data
Additional practical informations				Sect. 17: Typical Fan-system Installation
Uncertainty Analysis	Sect. 10: Uncertainty associated with the determination of fan performances	Sect. 7: Uncertainty Analysis	Sect. 10: Uncertainties	Annex T: Uncertainties analysis

Tabella 1

4. Principali difficoltà nell'esecuzione di test in situ

Tutti e quattro i documenti presi in esame richiedono che vengano misurate le seguenti grandezze:

- Pressione barometrica;
- Temperatura di bulbo secco e bulbo umido;
- Velocità di rotazione del ventilatore;
- Potenza assorbita;
- Traversa di Pitot o misurazione delle pressioni statiche e totali del fluido trattato a monte e a valle della girante;
- Area dei condotti di passaggio del fluido nei punti di misura;
- Pressione statica

Oltre a difficoltà di tipo logistico dovute al posizionamento del ventilatore nell'impianto, per cui spesso è necessario avere a disposizione una piattaforma elevatrice per il posizionamento della strumentazione, vi sono altre tipologie di problematiche.

Fondamentale importanza, ai fini di ottenere risultati affidabili, riveste la posizione ed il numero delle prese di misura, in particolare per il rilievo dei valori di pressione statica e totale (ai fini della determinazione della velocità del fluido e della portata in massa).

Tuttavia spesso accade che il Committente decida di non optare per una soluzione chiavi in mano ma affidi i lavori ad una pluralità di soggetti senza un opportuno coordinamento.

Capita, quindi, che al momento dell'esecuzione delle prove o, comunque, durante le attività di avviamento dell'impianto, non sia possibile eseguire le misurazioni di pressione nei punti prestabiliti dalle norme sopra citate con conseguenze anche importanti sulla validità dei valori misurati.

Troppo spesso poi i test in situ vengono visti dal Committente come inutilmente costosi, con la richiesta di limitare il tempo di prova o i punti di misura.

Quanto sopra indicato porta ad un incremento, spesso, dei valori di incertezza di misura che tengono conto di una molteplicità di parametri assai ampia.

Oltre alle incertezze tipiche delle misurazioni vi sono poi incertezze geometriche dovute da un lato alle tolleranze di esecuzione dei vari componenti dell'impianto, come canalizzazioni ecc. e dall'altro alle posizioni dei punti di misura, che devono essere posti in zone dove il flusso è in condizioni il più omogenee possibile (ovvero lontano da gomiti, aree di turbolenza ecc.). Vi sono poi le incertezze di misura dovute alla strumentazione utilizzata.

Un'ampia casistica di queste ultime problematiche è illustrata nella Pubblicazione AMCA 201:2011.

Anche il calcolo dell'efficienza di un ventilatore può non essere agevole in considerazione del fatto che da un lato è necessario conoscere l'efficienza del motore (non sempre

fornito dal costruttore) e dall'altro è necessario misurare l'effettiva potenza del motore durante l'esecuzione della prova.

Purtroppo capita ancora troppo spesso che si estrapoli il valore di potenza del motore dal trend dei dati dell'impianto (per esempio nei giorni precedenti alla prova) invece di misurarlo durante la prova. Un calo di tensione si ripercuote sulla velocità di rotazione della girante e, di conseguenza, sul valore della quantità di moto trattata dal ventilatore: utilizzando un valore di potenza non misurato si otterrebbe un valore di efficienza del ventilatore assolutamente falsato perché nel valore della potenza non comparirebbe in nessun modo il calo di tensione; anche per questo motivo l'uso del trend di dati per la valutazione della potenza del motore non è permesso da nessuno dei testi citati.

Il valore di efficienza è dato dal rapporto tra l'energia fornita dal ventilatore e quella assorbita dallo stesso con il valore della potenza assorbita a denominatore:

$$\text{Efficienza} = \text{Portata} \times \text{Pressione totale} / \text{Potenza assorbita}$$

5. Importanza della valutazione delle incertezze di misura nei test in situ

Il punto 10 della norma UNI EN ISO 5802 chiarisce in maniera esplicita le differenze che si possono ottenere tra misurazioni effettuate in laboratorio ed in situ. A differenza delle prove di laboratorio nelle prove in situ si ha:

- perdite di pressione sull'impianto (per cattivi accoppiamenti o mancanza di sigillature), ricircoli o presenza di vortici;
- non corretta stima dei valori di resistenza dei vari componenti dell'impianto
- eccessive perdite di pressione dovute ad un componente dell'impianto troppo vicino al ventilatore con creazione di distacchi di vena, contrazione di vena o altro;
- errori effettivi di misura o di applicazione

Di seguito si riportano i valori di calcolo delle varie incertezze in accordo alla Pubblicazione AMCA 203. La norma AMCA 803 presenta le medesime formule, mentre la norma UNI EN ISO 5802 presenta una tabella al punto 10 con i soli valori massimi. Infine la norma ASME PTC-11 al punto 7, pur fornendo diverse indicazioni rimanda alla norma PTC 19.1 come riferimento per i vari calcoli.

Si dà maggiore risalto a quanto indicato dai documenti AMCA in quanto, per esperienza personale, maggiormente utilizzati.

AMCA 203 Publication Annex T Uncertainties Analysis

Ref.	Symbol	Measurement ref.	Value or calculation [minimum]	Value or calculation [maximum]
T 4.1	e_b	Barometric pressure	0.003	0.007
T 4.2	e_d	Dry bulb temperatre	0.005	0.02
T 4.3	e_w	wet bulb depression	$5/(td-tw)$	$10/(td-tw)$
T 4.4	e_N	Fan speed	0.005	0.01
T 4.5	e_h	Power input	0.03	0.07
T 4.6	e_c	Pitot traverse	0.015	0.075
T 4.7	e_A	flow measurement area	0.01	0.02
T 4.8	e_f	Velocity pressure	0.0229	0.1136
T 4.9	e_g	Static pressure	$(0.000225+(0.1xPv/(Ps2-Ps1)^2)^{0.5}$	$(0.0033+(0.2xPv/(Ps2-Ps1)^2)^{0.5}$
T 5.1	e_ρ	Density	$(eb^2+ev^2+ed^2)^{0.5}$	$(eb^2+ev^2+ed^2)^{0.5}$
T 5.1	e_v	Density	$(0.00000725tw - 0.0000542)D(td-tw))^2$	$(0.00000725tw - 0.0000542)D(td-tw))^2$
T 5.2	e_q	Fan flow rate	$(ec^2+eA^2+(ef/2)^2+(ep/2)^2+eN^2)^{0.5}$	$(ec^2+eA^2+(ef/2)^2+(ep/2)^2+eN^2)^{0.5}$
T 5.3	e_p	Fan Static pressure	$(eg^2+er^2+(2xeN)^2)^{0.5}$	$(eg^2+er^2+(2xeN)^2)^{0.5}$
T 5.4	e_h	Fan Power input	$(eh^2+er^2+(3xeN)^2)^{0.5}$	$(eh^2+er^2+(3xeN)^2)^{0.5}$

Tabella 2: tratta da AMCA Publ. 203 (in grassetto sono indicati i valori dati mentre in carattere normale i valori da calcolare).

Dal punto di vista grafico la norma AMCA 803 e la Pubblicazione AMCA 203 prescrivono dopo il calcolo del valore minimo e massimo di ciascuna delle incertezze per ciascuna delle misure effettuate, di rappresentarli graficamente con un rettangolo (attorno al valore misurato nella prova) sulla curva caratteristica del ventilatore in prova come di seguito illustrato.

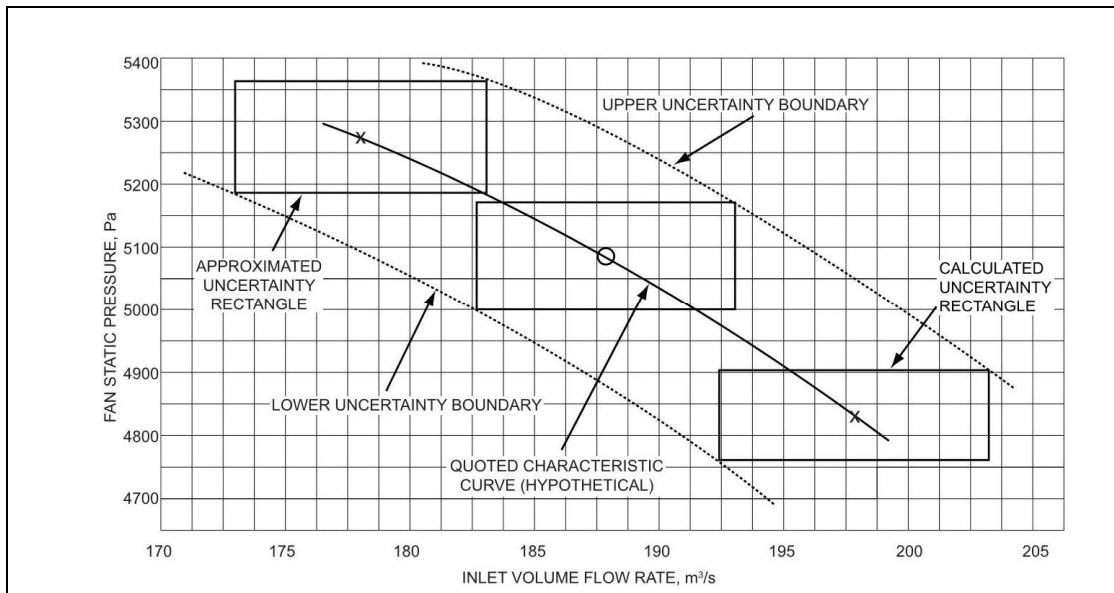


Figura 3: rappresentazione grafica delle incertezze di misura⁶

⁶ Tratto da AMCA 803

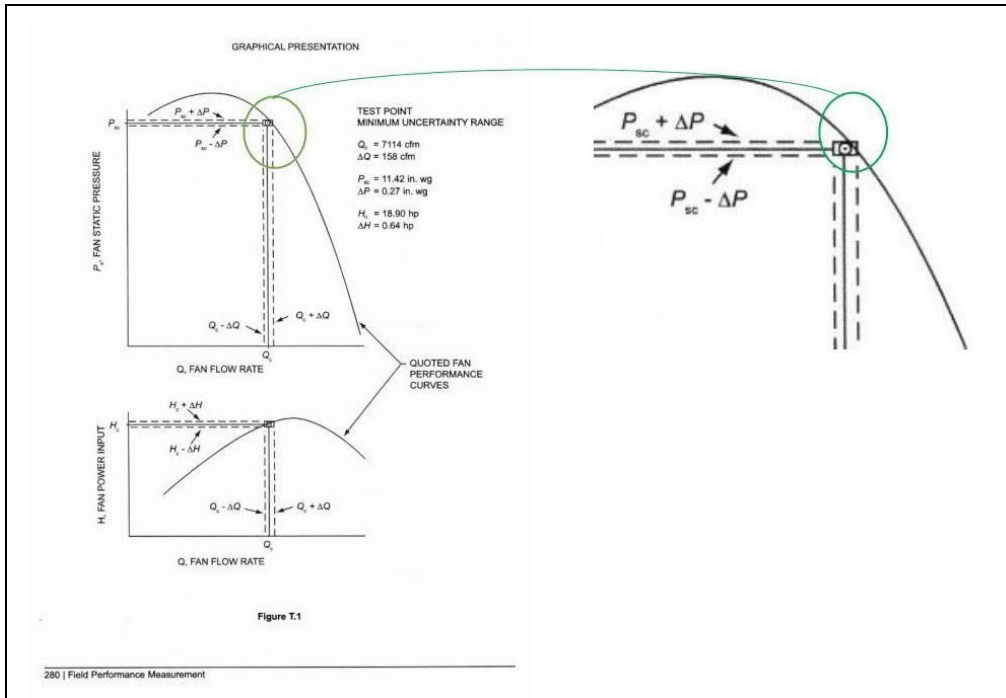


Figura 4: altra rappresentazione grafica delle incertezze di misura⁷

Può accadere che durante l'esecuzione di un test in situ si misuri un solo punto di funzionamento del ventilatore (in termini di portata/pressione) e che questo non risulti posizionato sulla curva originaria del ventilatore come illustrato in figura 5:

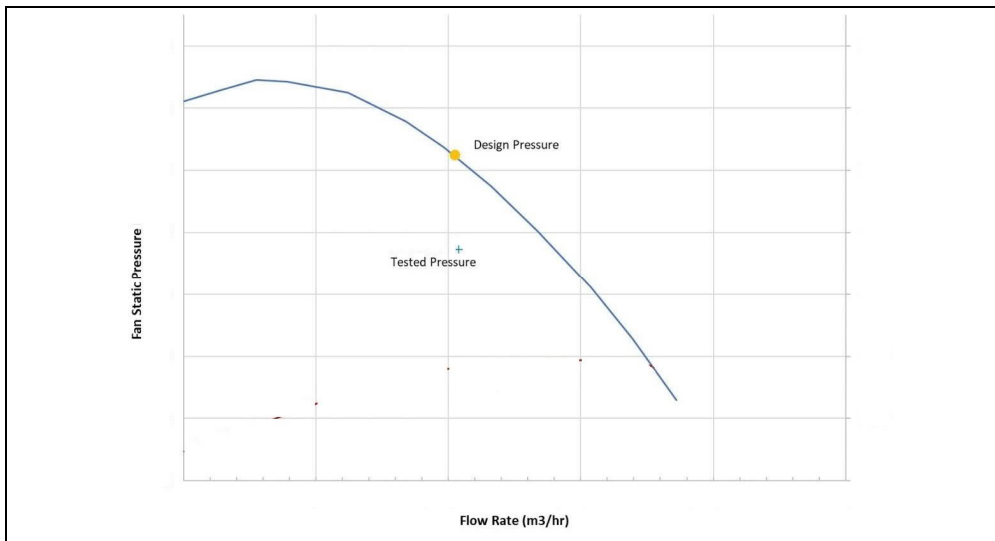


Figura 5: diversa posizione dei punti misurati (tested point) in situ rispetto al punto di progettazione del ventilatore (design point).

Andando ad eseguire un'analisi delle incertezze come sopra illustrata può accadere che il rettangolo sia posizionato come nella figura seguente:

⁷ Tratto da AMCA 203

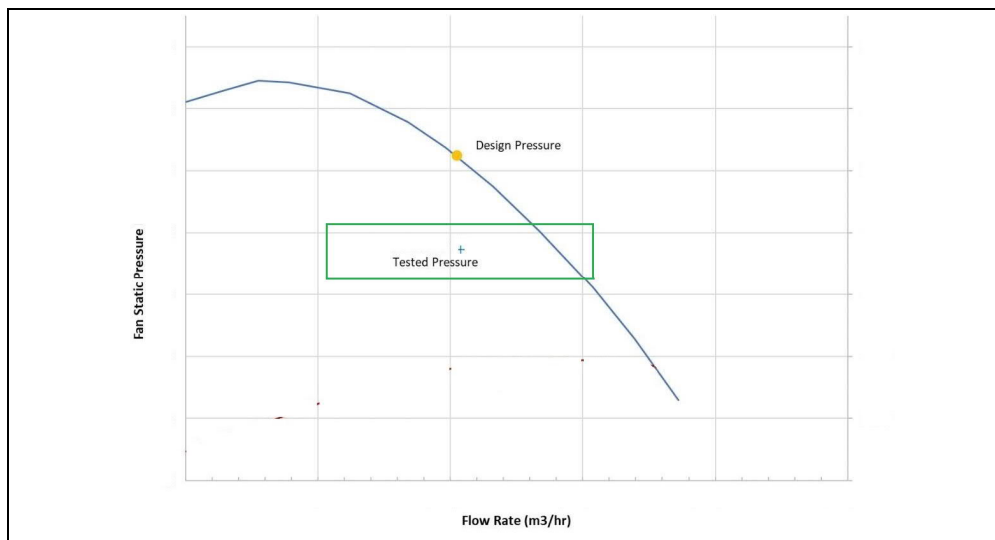


Figura 6: inserimento del rettangolo delle incertezze (colore verde) nel grafico di figura 5

Poiché il rettangolo interseca la curva originaria del ventilatore si può affermare che la prestazione fornita dal ventilatore risulta garantita e dunque che lo stesso è stato correttamente dimensionato per l'uso nell'impianto in cui è inserito.

Il fatto che il punto testato possa trovarsi distante dal punto di progetto dipende non dal ventilatore ma dalla curva dell'impianto che risulta differente da quella di progetto, a causa delle diverse perdite di pressione del sistema, ma di ciò si tratterà in differente articolo.

6. Conclusioni

Nel caso di prove di ventilatori in situ, l'analisi delle incertezze permette di considerare i differenti gradi di difficoltà che si incontrano nell'esecuzione dei test in situ.

Come indicato nell'appendice "T" della Pubblicazione AMCA 203 *"Field test conditions are from near ideal to near impossible"*⁸

L'analisi delle incertezze in una prova in situ di un ventilatore può sicuramente richiedere tempo e risultare non di elementare soluzione, ma risulta indispensabile per una corretta interpretazione della prova in situ che non rispecchia quasi mai le condizioni ideali delle prove in laboratorio.

Si precisa, da ultimo, che l'analisi delle incertezze non deve essere confusa con la calibrazione e l'accuratezza della strumentazione, trattate da ciascuna norma in parti dedicate (si veda la riga 3 della Tabella 1)

⁸ Le condizioni di prova in situ variano tra condizioni quasi ideali e condizioni quasi impossibili

Bibliografia:

1. UNI EN ISO 5802: 2015 "Industrial Fans – Performance testing in situ";
2. AMCA 803-02 (R2008): "Industrial Process Power Generation Fans: Site Performance test Standard";
3. ASME PTC 11-2008: "Fans – Performance Test Codes";
4. AMCA Publication 203-90 (R2011): "Field Performance measurement of Fan System";
5. AMCA Fan and Air System Application Handbook, 2011, edito da AMCA International, contenente la seguenti pubblicazioni:
 - AMCA 200 Publication: Air System
 - AMCA 201 Publication: Fans and Systems
 - AMCA 202 Publication: Troubleshooting
 - AMCA 203 Publication: Field Performance Measurements of Fan System
6. Fan Engineering An Engineer's Handbook on Fans and Their Application-Edited by Robert Jorgensen – ottava edizione, 1983 – Pubblicato da Buffalo Forge Company, Buffalo, New York;
7. A. de Kovats and G. Desmur: Pompes, Ventilateurs, Compresseurs- Centifuges at Axiaux, 1962, Dunod
8. B. Eck: Fans- Design and Operation of Centrifugal, Axial-flow and Cross-flow fans- 1973, Pergamon Press
9. B. Eck: La Fluidodinamica Tecnica- Vol 2 _ Applicazioni industriali Edizioni Scienza e Tecnica, Milano 1986 (Springer-Verlag)