

Laboratorio Combustione e Ambiente

**Andamento del III° circuito di correlazione interlaboratorio
determinazione del fattore k Tubo di Pitot**

2015

Relazione annuale

Gennaio 2016

Relazione redatta a cura di:

P. Lopinto



Innovazione e ricerca

SOMMARIO:

1. PREMESSA AL III° CIRCUITO: RIFERIMENTI ED AGGIORNAMENTI NORMATIVI	4
2. CONDOTTO DI PROVA.....	4
3. TUBO DI PITOT DI RIFERIMENTO	8
4. TUBO DI PITOT DI PROVA E MICROMANOMETRO DIFFERENZIALE	9
5. PROCEDURA DI PROVA	13
6. PROCEDURA OPERATIVA PER IL CONTROLLO DELL'INTEGRITA' DEL PITOT TIPO S MESSO A DISPOSIZIONE DALL'ORGANIZZATORE DEL CIRCUITO (SSC).....	15
7. PRESENTAZIONE DEI DATI.....	16
8. TRATTAMENTO DEI DATI SPERIMENTALI	17
9. MODALITA' DI ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI.....	17
10. ANALISI STATISTICA DEI DATI.....	18
11. RIASSUNTO DEL CIRCUITO DI CORRELAZIONE 2015	19
12. RAW DATA (DATI GREZZI)	27
13. CRITICITA' RISCOstrate, CONCLUSIONI E PROSPETTIVE	36
ALLEGATO 1: CERTIFICATO DI TARATURA TUBO DI PITOT CIRCUITO INTERCONFRONTO 2015.....	38



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

GESTIONE DEL CIRCUITO DI CORRELAZIONE INTERLABORATORIO DETERMINAZIONE DEL FATTORE k TUBO DI PITOT 2015

Al fine di produrre dati costantemente affidabili, è necessario, per un laboratorio attuare un adeguato programma di garanzia della qualità e delle procedure di monitoraggio delle prestazioni. Il Proficiency Testing può essere considerato uno di questi programmi di garanzia.

Il tipico format per i programmi di verifica, si basa sulla distribuzione di campioni di un materiale di prova ai partecipanti. I laboratori partecipanti (c.d. "partecipanti") riconoscono la provenienza del materiale di prova da parte di un fornitore competente (c.d. "provider").

I partecipanti analizzano il materiale senza conoscerne il risultato corretto e restituiscono il risultato della misurazione al provider.

Quest'ultimo soggetto converte i risultati in punteggi che rispecchiano le prestazioni del laboratorio partecipante. Il partecipante viene informato di eventuali anomalie nei risultati di prova, con l'obiettivo di sensibilizzare il management ad intraprendere qualsiasi azione correttiva possa risultarne necessaria.

Questo l'incipit del protocollo o guida ai Proficiency Test che lo IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry) pubblicava nel 2006 e che viene ancora oggi considerato a riferimento nell'organizzazione e conduzione dei circuiti interlaboratorio [Thompson et al. © 2006 IUPAC, Pure and Applied Chemistry 78, 145-196].

Certamente non venivano e non sono tuttora sufficientemente considerati i circuiti interlaboratorio nel campo delle emissioni in atmosfera per i quali sono necessarie opportune premesse.

Innanzitutto il campionamento riveste una fase particolarmente delicata (rappresenta infatti una percentuale elevata nell'incertezza totale associata al dato finale), in quanto a causa delle caratteristiche dei metodi di campionamento, non è possibile conservare un campione di controllo sul quale ripetere l'analisi e non è d'altro canto possibile ripetere il campionamento data la variabilità nel tempo dell'effluente gassoso.

Manca poi un campione o materiale di riferimento di valore noto con cui confrontare il dato rilevato dal laboratorio e valutare quindi le proprie prestazioni.

Sono stati seguiti attentamente i precedenti circuiti interconfronto nel campo delle emissioni in atmosfera: in particolare il gruppo di lavoro ARPAV – Provincia di Belluno che a partire dal 2006 assieme a laboratori pubblici e privati ha condotto esercizi di interconfronto identificati con l'acronimo ICNORDEST.

E' stato condotto un primo circuito avente per oggetto polveri e portata, successivamente ossidi (CO – CO₂ – NO_x , Carbonio Organico Totale (COT) ed HCl) ed infine metalli e PM10.



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

Il circuito si è svolto regolarmente nel corso del 2015 subendo alcune variazioni rispetto al calendario prestabilito all'inizio dall'Istituto organizzatore il Circuito (di seguito identificato con SSC): è iniziato la III settimana di maggio 2015 ed è terminato la II settimana di dicembre 2015.

1. PREMESSA AL III° CIRCUITO: RIFERIMENTI ED AGGIORNAMENTI NORMATIVI

Nel corso dell'anno 2013 sono intervenuti importanti aggiornamenti relativamente alla norma principale presa a riferimento per la conduzione del circuito **UNI 10169:01** "Determinazione della velocità e della portata di flussi gassosi convogliati per mezzo del tubo di Pitot".

La norma UNI 10169:01 è stata ritirata dall'ente di accreditamento ACCREDIA con sostituzione (Circolare ACCREDIA 79 del 26 giugno 2014).

Il 16 maggio 2013 immediatamente prima dell'inizio dell'attività, entra in vigore la norma **UNI EN ISO 16911:13** "Emissioni da sorgente fissa - Determinazione manuale ed automatica della velocità e della portata di flussi in condotti" La parte 1: Metodo di riferimento manuale, produce alcune considerazioni nel merito della taratura dei tubi di Pitot.

Valgono in questo senso le medesime considerazioni scritte nel precedente rapporto (Andamento del II° Circuito. 2013-14) così come sono ancora da considerarsi validi gli stessi riferimenti (norme e workshop interpretativi).

Tali considerazioni saranno meglio discusse nel prosieguo della trattazione.

2. CONDOTTO DI PROVA

Le caratteristiche del condotto di prova sono desunte dalla norma UNI 10169:01 presa a riferimento. Anche in questo caso rimangono valide le considerazioni fatte al medesimo paragrafo del rapporto 2013-14 (numero di Reynolds (Re), conformità alla UNI 10169:01 per quanto riguarda le caratteristiche ed il posizionamento della sezione di misurazione).

Da un punto di vista costruttivo le "fonti" continuano a rimanere:

1) **UNI 10169:01** in riferimento a quanto riportato in 5.1.3 "Taratura del tubo di Pitot":

"Occorre disporre di un condotto rettilineo di sezione circolare percorso da un flusso gassoso con velocità compresa tra 14 m/s e 16 m/s, costante nel tempo in modo da assicurare la stazionarietà del flusso durante tutto il periodo di taratura. L'area del tubo di Pitot (ovvero del tubo di Pitot con sonda di prelievo abbinata), proiettata sulla sezione di misurazione del condotto, non deve essere maggiore del 3% dell'area della sezione di misurazione stessa"

2) La norma tecnica **ASTM D3796-09** "Standard Practice for Calibration of Type S Pitot Tubes"

In tale standard, capitolo 6 (apparatus) e paragrafo 6.1 (flow system) sono esplicitati alcuni criteri costruttivi (sottoparagrafi da 6.1.1 a 6.1.5).

Si ritiene preferibile un condotto a sezione circolare o rettangolare. Nel primo caso il **diametro minimo** del condotto dovrebbe essere di 305 mm (**0,3 metri**). Per sezioni rettangolari la profondità (larghezza) dovrebbe



Innovazione e ricerca

essere al minimo 254 mm (0,25 metri). Sono permesse altre geometrie di condotto (ad es. esagonali o ottagonali) con la premessa che abbiano un'area di sezione di almeno 645 cm² (0,0065 m²).

E' raccomandato che il flusso sia mantenuto costante attraverso un **condotto di lunghezza almeno 10 volte le dimensioni del diametro del condotto stesso**. Per sezioni rettangolari si utilizzi il diametro equivalente (D_e). Al fine di determinare la lunghezza del condotto si utilizzi la seguente formula:

$D_e = \frac{2LW}{(L+W)}$ dove D_e è il diametro equivalente mentre L e W sono rispettivamente Lunghezza e Larghezza della

sezione. Per condotti poligonali regolari il Diametro equivalente si desume dalla circonferenza inscritta e da lì poi la lunghezza del condotto.

Per assicurare che in prossimità della sezione di inserimento del tubo di Pitot siano assicurate linee di flusso stabili, si raccomanda di **porre il punto di misura a almeno 8 diametri (o diametri equivalenti) a valle e ad almeno 2 diametri a monte rispetto alla più vicina discontinuità di flusso**.

Se questa condizione **non** può essere raggiunta **si deve dimostrare adeguatamente il raggiungimento della stabilità del flusso**.

La norma dettaglia anche le specifiche di **velocità del ventilatore** che può essere collocato sia a valle che a monte della sezione di misura (Figura 1): esso deve garantire una velocità **di circa 15,2 m/sec costante nel tempo**.

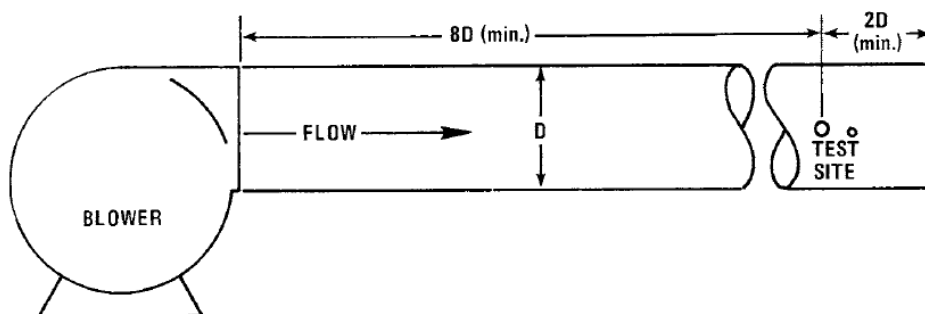


Figura 1 – Pitot Tube Calibration System (da ASTM D3796-09)

La figura sottostante mostra anche i due fori da praticare per l'ingresso rispettivamente del tubo di Pitot di tipo S e per il tubo standard (Tipo L). Devono essere uno leggermente a valle rispetto all'altro per fare in modo che il tubo Standard (Tipo L) e il Tipo S risultino allineati nella sezione di misura. Per questo la norma consiglia di utilizzare un materiale acrilico o comunque trasparente per il condotto (per lo meno in questa zona).

La situazione specifica del condotto in uso presso l'Istituto organizzatore del circuito (SSC) è visualizzata in Figura 2 e schematicamente elencata in Tabella 1.



Innovazione e ricerca



Figura 2 (foto condotto utilizzato in SSC)

Nel corso dei primi mesi del 2015 è stata fatta un'operazione di sostituzione del ventilatore centrifugo del condotto presente nel sito (capannone) SSC di San Donato Milanese.

La sostituzione si è resa necessaria ai fini di aumentare la velocità di flusso all'interno del condotto, raggiungendo, a lavori ultimati un range di velocità 5 – 30 m/s (con i livelli da 5 a 25 m/s garantiti stabili) ed un range di portata da 1300 a 14000 m³/h.

Lo schema costruttivo rimane tale da prevedere un'altezza dalla base all'innesto del raccordo ventilatore – condotto di circa 2 metri (1,90 metri), una prima parte di condotto fino alla sezione di misurazione di 2,30 metri ed una parte finale dalla sezione di misurazione al termine del condotto di 2 metri. Il diametro del condotto rimane inalterato a 0,4 metri.

Ci troviamo in queste condizioni in un regime di flusso abbondantemente turbolento con $Re > 1200$.



Innovazione e ricerca

Tabella 1 (caratteristiche condotto utilizzato in SSC)

Caratteristiche	Progetto interno INNOVHUB	Conformità rispetto ad ASTM D3796-09
Lunghezza condotto	4,3 m	SI
Diametro idraulico condotto	0,4 m	SI
Diametri idraulici prima della sezione di misurazione	5	NO (dimostrabilità stabilità flusso richiesta)
Diametri idraulici dopo la sezione di misurazione	5	SI
Presenza raddrizzatore di flusso (SI / NO)	SI	SI (dimostrabilità stabilità flusso di cui a condizione diametri idraulici prima della sezione di misurazione)
Se SI lunghezza L dispositivo (fascio cilindri raddrizzatore flusso)	0,3 m	
Diametro modulo b (unità cilindro raddrizzatore flusso)	0,035 m	

Relativamente alla situazione presente in SSC, al fine di garantire la conformità delle caratteristiche ed il posizionamento della sezione di misurazione si è prestata particolare attenzione alla sezione 7 della norma UNI 10169:01 ed in particolare al punto d) relativo all'omogeneità della distribuzione della velocità del gas nella sezione di misurazione o del "rispetto" dei diametri idraulici: "nel caso in cui il flusso, subito dopo il tratto rettilineo dove è posizionata la sezione di misurazione, sfoghi direttamente in atmosfera, il tratto rettilineo di condotto dopo la sezione di misurazione deve essere di almeno 5 diametri idraulici (per un totale di 10 diametri idraulici)"

Nonostante sia rispettata la condizione d) di cui al punto 7 della norma UNI 10169:01 è stato comunque deciso di applicare all'interno del condotto, un dispositivo per migliorare le condizioni di flusso nella sezione di misurazione.

E' stato fatto uso di un raddrizzatore di flusso del tipo di cui alla figura C.3 (Appendice C norma UNI 10169:01) installato all'interno del condotto ad una distanza di circa 2 metri prima della sezione di misurazione.

La norma **UNI EN ISO 16911:13 Parte 1** dettaglia le specifiche di performance relative alla taratura del tubo di Pitot soprattutto in A.2.2.2 (Annex A – normativo e dunque prescrittivo).

In tale paragrafo si sottolineano due prescrizioni relative alla taratura.

La prima riguarda la frequenza e l'ampiezza di taratura: essa dovrebbe essere effettuata a flussi rappresentativi delle condizioni di flusso del camino ed i punti di taratura dovrebbero coprire il range di operatività del tubo di Pitot (ad esempio un massimo del doppio del massimo flusso più percentuali intermedie del massimo flusso).

Questa affermazione inciderà sulla scelta di adottare per il Circuito condotto nel corso del 2015 tre range di velocità di flusso (a 5 m/sec, a 10 ed a 20 m/s).



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

La seconda affermazione riguarda la modalità di taratura: dovrebbe essere una taratura multi-punto che prenda in considerazione il range di velocità dell'applicazione. Dovrebbe essere tracciabile metrologicamente e questo può essere ottenuto, ad esempio, attraverso l'utilizzo di un tunnel del vento con livelli di velocità di flusso tracciabili attraverso tecniche laser quali il LDA (Laser Doppler Anemometry).

Questi passaggi della norma hanno portato a due differenti interpretazioni se considerati riferibili a qualsiasi laboratorio accreditato secondo la **UNI EN ISO 16911:13 Parte 1** piuttosto che a centri di taratura LAT accreditati per la taratura dei tubi di Pitot.

La taratura dei tubi di Pitot a più punti è imprescindibile; inoltre i punti di taratura dovranno essere scelti in modo tale da coprire le misure effettivamente poi eseguite in campo.

La taratura deve essere tracciabile, il che vuol dire, sulla base delle indicazioni contenute in altri documenti ACCREDIA, che la taratura deve essere necessariamente effettuata o direttamente da laboratori accreditati o per confronto con strumenti primari tarati da detti centri.

Nel secondo caso il laboratorio dovrà necessariamente dotarsi di un apposito condotto di prova che dovrà però garantire stabilità del flusso e di range di velocità e pressione compatibili con le prestazioni richieste dal metodo.

Il laboratorio, utilizzando le proprie procedure e i propri primari, potrebbe anche utilizzare apposite gallerie del vento rese disponibili da terze parti, (costruttori o altri laboratori) anche se non appartenenti a centri di taratura LAT o equivalenti **[WK, Padova 19/03/14]**.

3. TUBO DI PITOT DI RIFERIMENTO

Il tubo di Pitot usato come riferimento è un tubo di tipo S (n° serie X120) il cui schema è del tipo di cui alla figura B1 (Appendice B norma UNI 10169:01) nonchè Figura 1 norma ASTM D3796-09 tarato da un centro metrologico riconosciuto a livello europeo: Westenberg Engineering (Calibration Mark 2802 – D-K 18193-01-00 – 2014-11) con un tubo di Pitot di riferimento a fattore di taratura noto.

Si riporta in Figura 3 la foto del dispositivo in possesso della SSC.

A seguito della riunione avvenuta in data 20 gennaio 2015 è stato stabilito di non servirsi più di un certificato emesso da un Ente accreditato relativo al Pitot primario per confronto con il valore medio trovato dal Circuito ma di considerare il valore "vero" tra i laboratori quello scaturito dal trattamento statistico. Tale valore verrà chiamato **valore assegnato (o di consenso)** nella tabella relativa alla statistica generale del Circuito nella presentazione dei risultati finali.

Allegato al presente rapporto sarà fornito il Certificato di taratura del centro LAT equivalente a cui l'organizzatore del Circuito si è comunque rivolto ai fini di confronto con i valori di consenso ottenuti ai livelli di velocità prestabiliti.



Innovazione e ricerca

In Tabella 2 sono riportati i risultati di tale taratura

Tabella 2

	Display LDA	Velocità calcolata della sonda Pitot	Fattore di correzione m	Deviazione assoluta della sonda Pitot	Incertezza estesa della misurazione riferimento	Incertezza estesa della misurazione sonda campione	Incertezza estesa della misurazione taratura	Incertezza estesa della misurazione taratura
	m/s	m/s		m/s	m/s	m/s	m/s	%
1	5,055	6,031	0,838	0,976	0,03	0,004	0,026	0,51
2	10,108	12,019	0,841	1,911	0,05	0,018	0,054	0,53
3	15,269	18,165	0,841	2,896	0,08	0,013	0,078	0,51
4	25,343	30,217	0,839	4,874	0,13	0,061	0,141	0,56
5	34,156	40,902	0,835	6,746	0,17	0,049	0,178	0,52

Fattore medio di correzione m: **0,839**



Figura 3 (foto del tubo di Pitot di riferimento)

In aggiunta al tubo di cui alla Figura 4 l'Istituto organizzatore del Circuito ha messo a disposizione un tubo di prolunga da collegare direttamente al micromanometro differenziale.

Entrambi i dispositivi sono stati messi a disposizione al fine di garantire stesse condizioni di conduzione del circuito e limitare al tubo di Pitot di prova di ogni laboratorio coinvolto ed alla procedura stessa le *uniche* variabili nel principio di svolgimento del circuito stesso.

4. TUBO DI PITOT DI PROVA E MICROMANOMETRO DIFFERENZIALE

La norma UNI 10169:01 determina il metodo per determinare la velocità e la portata dei flussi gassosi convogliati che si immettono nell'atmosfera ed è stata pertanto pensata per un obiettivo più ampio rispetto all'attività in oggetto.

Essa prevede l'utilizzo di due tipi di tubi di Pitot, il tipo L e il tipo S e ne prescrive le condizioni di impiego.



Innovazione e ricerca

Possono essere utilizzati anche altri tipi di tubi di Pitot, purché sia verificato che la loro accuratezza risponda ai requisiti di cui in 12 (UNI 10169:01).

La sostituzione della norma con la UNI EN ISO 16911-1 apporta una serie di considerazioni che possono essere sintetizzate come segue:

Le tarature dei micromanometri differenziali e dei tubi di Pitot potranno essere riferite ai singoli componenti, mentre alcune delle prestazioni di cui alla Tabella 3 della norma UNI EN ISO 16911-1 (ripetibilità, effetto angolare del sensore di flusso, errore sulla linearità) dovranno essere forzatamente riferite all'accoppiamento di tali strumenti (linea derivante dall'unione del tubo di Pitot con il micromanometro). Si ritiene che le procedure di taratura e di verifica intermedia taratura vadano nella direzione di considerare solidale il Pitot con il micromanometro differenziale individuando linee di campionamento distinte. In caso contrario, il laboratorio dotato di numerosi strumenti dovrà verificare le diverse combinazioni strumentali che saranno utilizzate [WK, Padova 19/03/14].

A seguito della riunione del 20/01/2015 che ha portato a prevedere le prove per i tre livelli menzionati precedentemente è stato stabilito di chiedere a ciascun partecipante:

- La disponibilità di Pitot "primario", preferibilmente di tipo L, munito di certificato del fattore ad almeno 5, 10 e 20 m/s proveniente da Centro Metrologico accreditato (LAT o equivalente);
- La disponibilità di micromanometro digitale o analogico munito di certificato proveniente da Centro Metrologico accreditato (LAT o equivalente) in un range operativo adeguato ai fini della taratura

Alla luce di queste pre-condizioni non si è più ritenuto indispensabile fare circolare la check-list delle condizioni strumentali / assicurazione qualità dei laboratori partecipanti (Tabella 2 Andamento del II° circuito di correlazione interlaboratorio determinazione del fattore k Tubo di Pitot 2013-14).

Si sono considerati due aspetti importanti ai fini della qualità del risultato e dell'errore associato:

- 1) Il fattore k associato alla sonda "primaria" del laboratorio partecipante ed informazioni di contorno (Ente prescelto per la taratura, anno del certificato di taratura)
- 2) Il misuratore di pressione e le stesse informazioni di contorno di cui al punto 1)

Per quel che concerne il Pitot primario di ciascun laboratorio partecipante, si ricorda come all'interno del file di presa dati tale fattore entri nella seguente relazione:

$$\alpha_x = \alpha_r \sqrt{\frac{\Delta P_r}{\Delta P_s}}$$
 dove α_r risulta essere proprio il fattore k del Pitot di riferimento del laboratorio partecipante, α_x il fattore k del Pitot (Darcy) che l'istituto organizzatore fa circolare e ΔP_r e ΔP_s le variazioni di pressione differenziale rilevate dal misuratore rispettivamente del Pitot primario di riferimento e del Pitot oggetto dell'interconfronto.

α_r è dunque un parametro importante in quanto moltiplicativo del rapporto sotto radice quadrata.



Innovazione e ricerca

Nelle tabelle seguenti (Tabella 3 – Tabella 4 e Tabella 5) viene mostrato l'elenco dei fattori k comunicati dai laboratori partecipanti per i 3 livelli di velocità investigati:

Tabella 3: k primari Pitot laboratori partecipanti (5 m/s)

Codice	K primario	Tipo
8M-15	0,809	S
6N-15	0,992	L
6H-15	0,997	L
3E-15	0,810	S
8K-15	0,990	L
9I-15	0,797	S
1O-15	0,830	S
8S-15	0,815	S
2J-15	1,000	L
5F-15	1,000	L
6A-15	1,001	L
4Q-15	1,038	L
4V-15	0,835	S
4U-15	0,796	S
9G-15	1,004	L
9W-15	1,001	L
1Z-15	1,000	L
2P-15	1,011	L
2R-15	1,005	L
1T-15	1,002	L
5C-15	1,005	L
5L-15	1,006	L
3B-15	1,020	L

Tabella 4: k primari Pitot laboratori partecipanti (10 m/s)

Codice	K primario	Tipo
8M-15	0,813	S
6N-15	0,992	L
5C-15	1,005	L
8S-15	0,815	S
1O-15	0,830	S
4Q-15	1,047	L
2P-15	1,016	L
9I-15	0,797	S
8K-15	0,990	L
3B-15	1,020	L
5F-15	1,000	L
6H-15	1,000	L
2J-15	1,000	L



Innovazione e ricerca

4V-15	0,836	S
9G-15	1,004	L
2R-15	1,005	L
6A-15	1,001	L
5L-15	1,000	L
1Z-15	1,000	L
3E-15	0,832	S
9W-15	1,001	L
1T-15	0,999	L
4U-15	0,817	S

Tabella 5: k primari Pitot laboratori partecipanti (20 m/s)

Codice	K primario	Tipo
8M-15	0,813	S
6N-15	0,992	L
5L-15	1,000	L
4U-15	0,814	S
8K-15	0,990	L
2J-15	0,998	L
6H-15	1,002	L
9I-15	0,797	S
1O-15	0,830	S
5F-15	0,998	L
9G-15	1,004	L
6A-15	1,001	L
4V-15	0,836	S
8S-15	0,815	S
1T-15	0,999	L
1Z-15	1,000	L
4Q-15	1,061	L
2P-15	1,017	L
9W-15	1,001	L
5C-15	1,005	L
3E-15	0,847	S
2R-15	1,002	L
3B-15	1,020	L

Sarà poi fornita una correlazione tra la performance ottenuta dal singolo partecipante (z-score) e tale fattore. Al momento si fornisce, oltre alle Tabelle di cui sopra un altro dato al contorno:

8 laboratori su 23 (34,8 % circa) avevano un certificato aggiornato al 2015, 6 su 23 (26 %) al 2014, 5 al 2013 (21,7 %) 3 al 2012 (13 %) ed 1 al 2010 (4,5 circa).

L'aspetto del misuratore di pressione utilizzato è ritenuto un ulteriore aspetto importante all'interno della dinamica di conduzione della prova.



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

Il file presa dati che viene inviato ad ogni laboratorio partecipante necessario per l'acquisizione dei risultati, chiede una serie di informazioni relative al micromanometro ovvero la tipologia (digitale / analogico, il fondo scala espresso in Kpa, il centro prescelto per la taratura, il numero e la data del certificato di taratura).

In questo caso si è verificata una problematica relativa all'acquisizione dei dati.

I laboratori, probabilmente non ritenendo, a ragione, l'inserimento di queste informazioni indispensabile ai fini del risultato o performance hanno spesso non compilato i campi o hanno inserito dati palesemente irreali.

Tutti (23 su 23) hanno utilizzato un **micromanometro digitale**.

Per i tre livelli di velocità tra i 6 e gli 8 laboratori su 23 non hanno comunicato il dato del **fondo scala del micromanometro** o lo hanno comunicato palesemente erroneo da non fare capire agli organizzatori l'esattezza del valore.

Questi dati sono molto alti (da un 26 a un 34 %).

I rimanenti hanno comunicato i seguenti range di fondo scala: 9 laboratori su 23 (39%) 2000 – 2500 Pa; 4 laboratori 1000 Pa (17,4 % circa). I rimanenti un dato piuttosto anomalo tra 300 e 600 Pascal di fondoscala (2 laboratori, 8 % circa).

Per questo motivo (che auspicabilmente sarà sanato il prossimo ciclo) non si è scelto di correlare l'indice di performance (z-score) di ogni singolo partecipante alle specifiche scelte di assicurazione qualità legate al misuratore di pressione, ma è stata fatta una valutazione aggregata esposta nelle conclusioni di questo rapporto.

Come per il primo punto però si riportano le distribuzioni di datazione del certificato di taratura:

12 laboratori su 23 (52,2%) hanno il certificato aggiornato al 2015; 7 al 2014 (30,4%) 2 al 2013, 1 al 2012 ed 1 al 2011.

Si evince la sostanziale omogeneità delle condizioni "strumentali" dove con strumentali si intendono le condizioni di velocità del condotto e la disponibilità di tubi di Pitot e micromanometri sottoposti a taratura.

Quanto si può dedurre dalle novità introdotte con le nuove richieste è una sostanziale divisione tra misuratori di pressione a fondo-scala attorno ai 2000 Pa e strumenti a fondo-scala dimezzati. Vedremo come e se questo andrà a correlarsi con la performance ottenuta.

Alla luce di queste considerazioni si continua a ritenere siano le modalità operative di conduzione della conferma metrologica (la procedura) che inficino maggiormente sul risultato del laboratorio.

5. PROCEDURA DI PROVA

L'aspetto che si presta maggiormente a variabilità nel circuito nel suo complesso è rappresentato dalla procedura di prova.



Innovazione e ricerca

Anche in questo caso è stato preso come riferimento lo standard UNI 10169:01 (Taratura del tubo di Pitot 5.1.3)

Nel corso della riunione svoltasi in data 27 giugno 2013 e ribadita in data 20 gennaio 2015, è stato stabilito di effettuare n° 3 prove relative a n° 3 letture di Δp per confronto tra un tubo di Pitot preso a riferimento ed il tubo di Pitot messo a disposizione da ogni singolo laboratorio partecipante, attraverso le seguenti modalità operative:

1. Effettuare una pulizia accurata dei Pitot, utilizzando aria compressa o eventualmente anche un bagno ad ultra-suoni
2. Posizionare nel condotto il Pitot primario prestando attenzione di lasciare uno spazio di almeno 80 mm dalla parete interna
3. Lasciare stabilizzare il sistema per circa 10 minuti
4. Azzerare il micromanometro e collegarlo al tubo di Pitot
5. Effettuare 3 letture del Δp
6. Togliere il riferimento e posizionare nel condotto, nel medesimo punto di affondamento, il tubo di Pitot soggetto a taratura, effettuare 3 letture del Δp
7. Successivamente ruotare di 180° il tubo di Pitot da tarare e ripetere la stessa procedura come da punto 6

Il protocollo di prova è da considerarsi da doversi ripetere per ognuna delle velocità considerate.

CRITERI DI ACCETTABILITA':

- i fattori αx non devono discostarsi più di 0.02 dal valore medio
- il fattore medio delle tre prove non deve differire più di 0.01

Tali criteri sono desunti dalla stessa norma presa a riferimento.

Si sono considerati due ulteriori criteri:

- differenza di temperatura durante la conduzione dell'intera prova (comprensiva della rotazione del tubo di Pitot di 180°) non superiore a $0,5^\circ\text{C}$
- differenza di pressione assoluta rilevata non superiore al 5% del valore medio di pressione durante la conduzione dell'intera prova (comprensiva della rotazione del tubo di Pitot di 180°)

Queste due ultime condizioni non sono riportate nella norma di riferimento (UNI 10169:01) ma derivano dalla pratica adottata dal Laboratorio Combustione e Ambiente di Innovhub – SSI e ne costituiscono parte integrante della procedura di taratura (rif. int. PT-042).

Tutti i criteri, compresi gli ultimi due che esulano dalla norma di riferimento si considerano tesi a garantire condizioni di stazionarietà del flusso nel condotto. Il loro rispetto è pertanto da considerarsi



Innovazione e ricerca

fortemente consigliato, tuttavia non vincolante, in quanto sarà poi il trattamento statistico successivo a rilevare eventuali dati sospetti (*straggler*) e anomali (*outlier*).

In questa occasione è stato deciso di **valutare 3 differenti velocità all'interno del condotto**: 5, 10 e 20 m/s. A tale scopo è stato creato un documento di **Linee guida** (<http://www.innovhub-ssi.it/web/stazione-sperimentale-per-i-combustibili/circuiti-interlaboratorio>) che prevede due modalità partecipative e relative condizioni.

MODALITA' 1: modalità di conduzione prove presso l'istituto organizzatore (Sede SSC).

Tale modalità è soggetta ai seguenti pre-requisiti:

- A) Disponibilità di Pitot "primario", preferibilmente di tipo L, munito di certificato del fattore ad almeno 5, 10 e 20 m/s proveniente da Centro Metrologico accreditato (LAT o equivalente);
- B) Disponibilità di micromanometro digitale o analogico munito di certificato proveniente da Centro Metrologico accreditato (LAT o equivalente) in un range operativo adeguato ai fini della taratura.

MODALITA' 2: modalità di conduzione prove presso sede del laboratorio partecipante o altra sede.

Tale modalità è soggetta ai seguenti pre-requisiti oltre al rispetto di quelli di cui alla modalità 1:

- A) Disponibilità di condotto con velocità modulabile da 3 a 25 m/s o comunque range di velocità garantito stabile: 5 – 10 - 20 m/s;
- B) Caratteristiche sezione del condotto > 3% da area occupata da Pitot (comprensiva di eventuale prolunga)

Ulteriore aspetto già ribadito, è stato deciso di non servirsi più di un certificato emesso da un Ente accreditato relativo al Pitot primario per confronto con il valore medio trovato dal Circuito ma di considerare il **Valore assegnato (di consenso)** tra i laboratori quello scaturito dal trattamento statistico.

6. PROCEDURA OPERATIVA PER IL CONTROLLO DELL'INTEGRITA' DEL PITOT TIPO S MESSO A DISPOSIZIONE DALL'ORGANIZZATORE DEL CIRCUITO (SSC)

A seguito delle continue spedizioni, caratteristica del Circuito di Interconfronto, del Pitot messo a disposizione dall'Organizzatore a mezzo corriere, si rende necessaria una procedura di verifica di integrità dello stesso. Tale verifica a cura di SSC, sarà effettuata prima dell'inizio del Circuito, a metà dello stesso e qual ora un laboratorio partecipante ritenesse che il Pitot ricevuto non abbia più integre le sue caratteristiche strutturali. Il Pitot dovrà essere rispedito ad Innovhub-SSI Divisione Combustibili (con spese a carico dell'Organizzatore), il quale può decidere di fermare il Circuito nel caso non potesse più ripristinarne l'integrità.

La procedura tenta di fornire una valutazione numerica delle caratteristiche fisiche della testa del Pitot.



Innovazione e ricerca

La verifica consiste nell'effettuare una fotografia frontale ed una laterale alla testa di Pitot; tramite un CAD2D effettuare una misurazione sulla deformazione (in gradi) delle eventuali smussature dei fori di misura (α, β) ed una misura sull'eventuale disassamento (z) dei due tubi di misurazione (in mm).

7. PRESENTAZIONE DEI DATI

L'ordine di esecuzione delle prove da parte dei laboratori è stato stabilito da un calendario costantemente aggiornato da SSC.

Il calendario finale è riportato nella Tabella 6

Tabella 6 - Calendario finale delle prove di correlazione 2015 con Pitot di riferimento di tipo S (n° serie X120)

N°	LABORATORIO	PERIODO DI PROVE	NOTE
1	INNOVHUB-SSI (SSC)	18 – 22 maggio	
2	CONSULENZE AMBIENTALI	25 – 29 maggio	
3	ACTECO	1 – 5 giugno	
4	AMBIENTE SC	8 – 12 giugno	
5	ARPA UMBRIA	15 – 19 giugno	
6	ENTE ZONA	22 – 26 giugno	
7	INDAM	29 giugno – 3 luglio	
8	SYNDIAL	6 – 10 luglio	
9	KYMIA Srl	13 – 17 luglio	
10	EUROLAB	27 – 31 luglio	
11	MIT AMBIENTE	31 agosto – 4 settembre	
	INNOVHUB-SSI (SSC)	07 – 11 settembre	Controllo integrità Pitot
12	FENICE	14 – 18 settembre	
13	FENICE	28 settembre – 2 ottobre	
14	LABANALYSIS	5 – 9 ottobre	
15	ENEL PRODUZIONE	11 – 15 ottobre	
16	SGS ITALIA	19 – 23 ottobre	
17	SGS ITALIA	26 – 30 ottobre	
18	TECNOLOGIE D'IMPRESA	Novembre presso Sede INNOVHUB-SSI (SSC)	
19	EUROFINS		
20	AMIAT		
21	CPG LAB		
22	EUROLAB ITALIA		
23	THEOLAB		
24	BETALAB		
	INNOVHUB-SSI (SSC)	Dicembre	Controllo integrità Pitot



Innovazione e ricerca

SSC ha svolto in due occasioni, come laboratorio di riferimento, la funzione di ricontrollo visivo dell'integrità del Pitot ed effettua una prova di controllo.

Essendo il numero dei laboratori partecipanti sufficientemente consistente da garantire robustezza al trattamento statistico i dati delle prove di ricontrollo non hanno partecipato al computo del trattamento dati sperimentali.

8. TRATTAMENTO DEI DATI SPERIMENTALI

I dati delle prove sono stati predisposti dai laboratori partecipanti su un format excel appositamente preparato da SSC.

Come concordato nella riunione tecnica del 20 gennaio 2015 i dati raccolti sono stati elaborati tramite fogli elettronici excel, applicando un primo trattamento statistico di base (1° livello) e successivamente, alla fine del circuito, un trattamento statistico più approfondito (2° livello), secondo la **norma ISO 5725:04 parte 5** "Part 5: Alternative methods for the determination of the precision of a standard measurement method", un metodo robusto di analisi, per le stime degli scarti tipo della ripetibilità e riproducibilità, che sono meno soggette al giudizio dell'analista, rispetto a quelle fornite dai metodi descritti nella UNI ISO 5725-2.

Non sarà presentato nessun altro tipo di trattamento statistico che comunque è stato effettuato (secondo la UNI ISO 5725-2) ed i cui risultati saranno comunque esposti nei grafici conclusivi (Cap. 11)

Si precisa come il Circuito di Interconfronto 2015 continui a ritenere ufficiali i risultati ottenuti dal trattamento secondo la norma ISO 5725:04 parte 5.

I dati sperimentali sono stati raccolti a partire da un file excel fatto girare prima della conduzione delle prove a ciascun laboratorio (003_2015_PT_Pitot_ISSI_SSC_dati.xls).

Il file prevede in un primo foglio la raccolta dei dati delle prove. In un secondo foglio viene fornita in automatico l'elaborazione con il primo livello statistico dei dati.

Ogni laboratorio partecipante, dunque, ha la possibilità, una volta raccolti ed inseriti i dati sul foglio excel, di avere a disposizione già il proprio trattamento statistico di primo livello.

9. MODALITA' DI ELABORAZIONE DEI DATI SPERIMENTALI

La valutazione statistica dei dati di calcolo del fattore k (calcolo della media, della deviazione standard, del coefficiente di variazione percentuale del circuito di correlazione) è relativa alle tre prove svolte da tutti i laboratori secondo il programma concordato.

Nel trattamento statistico di 1° livello (calcolo delle medie, delle deviazioni standard e del coefficiente di variazione percentuale per ogni parametro misurato) sono stati considerati tutti i dati ricevuti dai laboratori partecipanti e, quindi, non è stata fatta alcuna ricerca di dati anormali (*outliers*).



Innovazione e ricerca

10. ANALISI STATISTICA DEI DATI

L'analisi statistica di 2° livello dei dati di calcolo del fattore k è stata effettuata applicando la norma ISO 5725:04 parte 5, tramite formule appositamente ricavate da questa norma.

Il trattamento prevede di porre i risultati di una prova in ordine crescente e di individuare, tramite il calcolo della mediana e dello scarto tipo della mediana, risultati con comportamento anomalo che non vengono eliminati, ma posti uguali a valori limite.

Per il nuovo set di risultati si calcolano media e scarto tipo e si verifica la presenza di risultati anomali. Il processo è iterativo e si ferma quando lo scarto tipo calcolato all'iterazione $i+1$ è molto simile allo scarto dell'iterazione precedente.

Il calcolo della media "robusta" (X_m) e deviazione standard (S) **prende in considerazione tutti i risultati**; i valori che cadono all'esterno delle deviazioni massime accettabili vengono riallocati mediante utilizzo di algoritmi iterativi.

Si effettuano una serie di stime e si calcolano le deviazioni massime accettabili e si riallocano i risultati che si trovano al di fuori di quei valori massimi (*outliers*).

Le stime successive impongono di calcolare sempre la media e deviazione standard considerando però anche i valori riallocati. L'ultima iterazione prevede di calcolare le sempre nuove e massime deviazioni accettabili e di riallocare gli outliers.

L'ultima stima, infine, calcola media e deviazione standard quando questi valori non differiscono dai precedenti più dei limiti concessi.

E' stato scelto di preferire la parte -5, in quanto il metodo tradizionale prevede l'esclusione di valori anormali dal calcolo degli scarti tipo di ripetibilità e riproducibilità.

Escludere valori anormali può avere conseguenze sensibili sulle stime di tali scarti e quindi chi analizza i dati deve fare una valutazione soggettiva decidendo quali escludere.

L'approccio di parte -5 non prevede prove di esclusione: vengono compresi pertanto anche i valori anormali con il risultato di ottenere scarti tipo non più influenzati dal giudizio dell'analista.

Sono pertanto stati determinati i valori limite di **ripetibilità (r)** e di **riproducibilità (R)** con le seguenti definizioni: la **ripetibilità** (precisione sotto condizioni di ripetibilità) prevede che un laboratorio operi in **ripetibilità** quando la differenza (in valore assoluto) tra i risultati di due prove svolte con lo stesso operatore, con le stesse apparecchiature, in condizioni operative concordate e ritenute standard e con lo stesso Pitot di riferimento, secondo la procedura adottata nella normale routine di controllo qualità, supera il valore limite di ripetibilità soltanto in 1 caso su 20, ossia con una probabilità del 5%.

Due laboratori distinti operano in condizioni di **riproducibilità** (precisione sotto condizioni di riproducibilità) quando la differenza (in valore assoluto) dei risultati delle prove svolte da ciascuno di essi, con operatori ed apparecchiature differenti, in condizioni operative concordate e ritenute standard e con lo stesso Pitot di riferimento, applicando la procedura adottata nella normale routine di controllo qualità, supera il valore limite di riproducibilità soltanto in 1 caso su 20, ossia con una probabilità del 5%.



Innovazione e ricerca

E' stato determinato infine per ogni laboratorio il punteggio z-score conseguito, relativo a tutti i parametri misurati. Questo parametro statistico indica il grado di bontà dei risultati ottenuti dal laboratorio rispetto a quelli medi del circuito di correlazione.

E' stato considerato soltanto il valore assegnato (di consenso) del circuito all'interno della formula che verrà esplicitata nelle successive definizioni.

il Circuito di Interconfronto 2015 ha ritenuto come ufficiali i risultati di z-score ottenuti dal trattamento secondo la norma ISO 5725:04 parte 5. Sono stati tuttavia confrontati con i risultati di z-score ottenuti dal trattamento secondo la norma ISO 5725:04 parte 2.

DEFINIZIONI:

Il punteggio z-score si calcola come:

$$z\text{-score} = (x-m) / d.s.$$

Dove (x-m) è lo scarto dalla media (x) dei valori di un parametro (fattore k) riportato da un laboratorio rispetto alla media (m) del circuito di correlazione e d.s. è la **deviazione standard** relativa a quel parametro del circuito di correlazione. Generalmente si può dire che il valore x riportato dal laboratorio risulta soddisfacente se il valore assoluto di z-score è inferiore a 2, è ritenuto sospetto se il suo valore è compreso tra 2 e 3, mentre è ritenuto anomalo se è superiore a 3.

11. RIASSUNTO DEL CIRCUITO DI CORRELAZIONE 2015

Il quadro riassuntivo dei risultati del circuito di correlazione svolto nel 2015 con il Pitot di riferimento di tipo S (n° serie X120) è presentato nelle tabelle da 7 a 9 che seguono e commentato in dettaglio nelle pagine successive di questo rapporto.

Tabella 7 – Statistica generale del circuito per velocità media **5 m/s**

Statistica generale Circuito 5 m/s (ISO 5725:04 parte 5):	
Laboratori iscritti	24
Laboratori partecipanti	23
Valore minimo	0,820
Valore massimo	0,900
Valore assegnato	0,836
Media prove laboratori partecipanti	0,836
Riproducibilità della prova (scarto tipo)	0,035
Incertezza della media	0,003



Innovazione e ricerca

Tabella 8 – Statistica generale del circuito per velocità media **10 m/s**

Statistica generale Circuito 10 m/s (ISO 5725:04 parte 5):	
Laboratori iscritti	24
Laboratori partecipanti	23
Valore minimo	0,820
Valore massimo	0,840
Valore assegnato	0,833
Media prove laboratori partecipanti	0,833
Riproducibilità della prova (scarto tipo)	0,025
Incertezza della media	0,002

Tabella 9 – Statistica generale del circuito per velocità media **20 m/s**

Statistica generale Circuito 20 m/s (ISO 5725:04 parte 5):	
Laboratori iscritti	24
Laboratori partecipanti	23
Valore minimo	0,810
Valore massimo	0,900
Valore assegnato	0,836
Media prove laboratori partecipanti	0,836
Riproducibilità della prova (scarto tipo)	0,031
Incertezza della media	0,002

Si consideri il confronto di tali risultati con il valore del certificato del centro di taratura (Westenberg Engineering) riportato in Tabella 2.

Il confronto può essere fatto con sufficiente precisione solo per 2 livelli su 3.

A 5 m/s il valore del k (circuito) è di 0,836 contro il valore di 0,838 del certificato (velocità display LDA 5,055 m/s).

A 10 m/s il valore del k (circuito) è di 0,833 contro il valore di 0,841 del certificato (velocità display LDA 10,108 m/s).

Non è stata effettuata dal centro una misura del k a velocità di 20 m/s tuttavia a 15,269 m/s tale valore si attesta a 0,841 ed a 25,343 m/s si attesta a 0,839 (valore medio 0,840) con un valore del k per 20 m/s (circuito) di 0,836.

Il valore del k ottenuto dal circuito **approssima sempre per difetto** quello del centro di taratura con un **range di scostamento tra 0,002 e 0,008**.



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

Come è stato anticipato nel Capitolo 4 si sono considerati due aspetti importanti ai fini della qualità del risultato e dell'errore associato:

- 1) Il fattore k associato alla sonda "primaria" del laboratorio partecipante ed informazioni di contorno (Ente prescelto per la taratura, anno del certificato di taratura)
- 2) Il misuratore di pressione e le stesse informazioni di contorno di cui al punto 1)

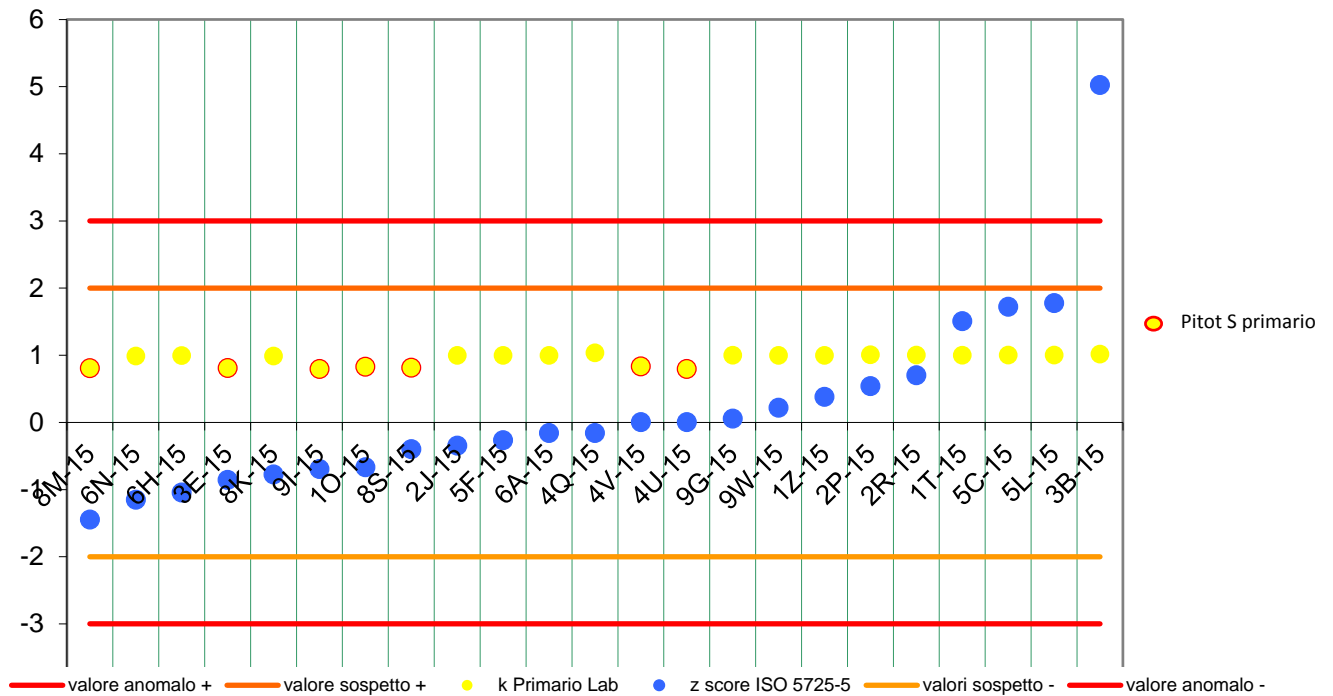
Relativamente al punto 1) sono stati creati dei grafici che mettono in correlazione lo z-score con il valore del k della sonda primaria (PITOT L o S) utilizzata dal laboratorio partecipante e comunicata nel file presa dati.



Innovazione e ricerca

Figura 4 – Grafico z-score Vs k Pitot primario (5 m/s)

Grafico z-score Vs k Pitot primario **5 ms** laboratori partecipanti

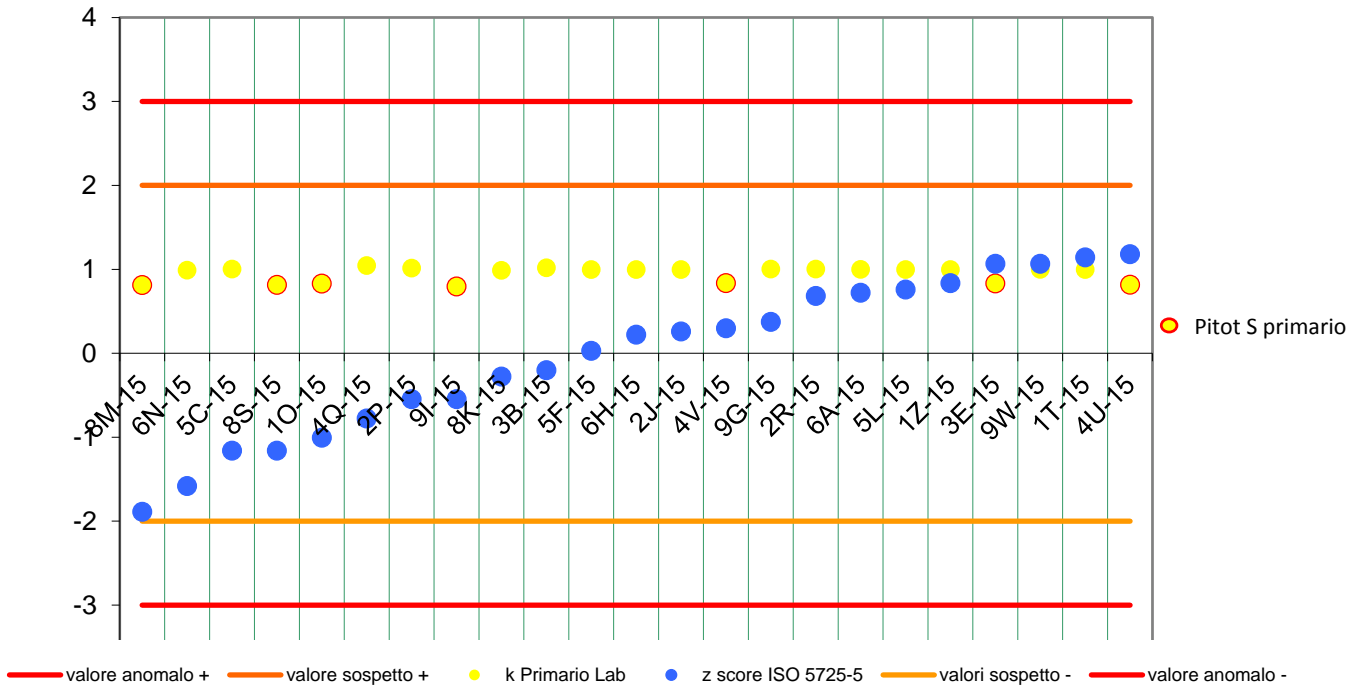




Innovazione e ricerca

Figura 5 – Grafico z-score Vs k Pitot primario (10 m/s)

Grafico z-score Vs k Pitot primario 10 ms laboratori partecipanti

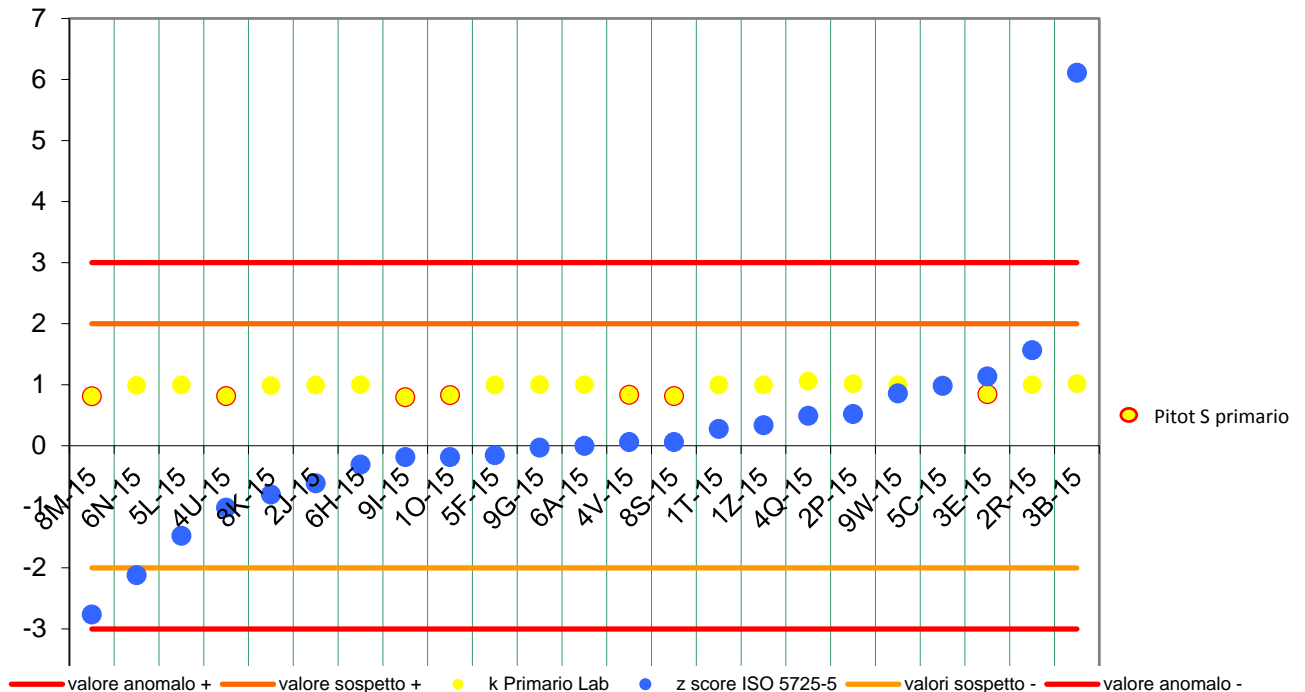




Innovazione e ricerca

Figura 6 – Grafico z-score Vs k Pitot primario (20 m/s)

Grafico z-score Vs k Pitot primario 20 ms laboratori partecipanti



Le considerazioni a valle di questi tre grafici portano a considerare **non correlato** il k del Pitot primario del laboratorio partecipante.

Si tenga presente che il 69,5 % ha utilizzato un Pitot L come riferimento e i k relativi differiscono (tabelle da 3 a 5) da un minimo di 0,990 a un massimo di 1,061 con uno scarto massimo di 0,071 quindi relativamente contenuto.

E' pur vero che in tutti i 3 livelli considerati in tutti e tre i casi un laboratorio che si è avvicinato maggiormente ad un segnale di avvertimento era dotato di un Pitot S (Laboratorio 8M – 15 con un k da 0,809 a 0,813) ma innanzitutto a tale laboratorio non è mai stato dato alcun segnale né di avvertimento né di intervento, secondariamente altri laboratori utilizzando un primario S (7 su 23) si sono collocati in una zona centrale e dunque a buon indice di performance nei grafici soprastanti.

Per quanto riguarda il micromanometro differenziale come è già stato ribadito non è stato possibile creare grafici analoghi a quelli presentati sopra data la carenza di dati.

Prima di passare ai risultati un'ultima relativamente interessante elaborazione.

Sono stati confrontati i 6 laboratori che hanno eseguito le prove presso il sito SSC e quindi utilizzando lo stesso condotto. Dato come assunto che i 6 laboratori abbiano tutti lavorato con condizioni



Innovazione e ricerca

infrastrutturali del tutto simili (rilevate nei file di presa dati) come condizioni ambientali, temperatura nel condotto e rappresentando il 26% del totale, il dato può dirsi mediamente rappresentativo.

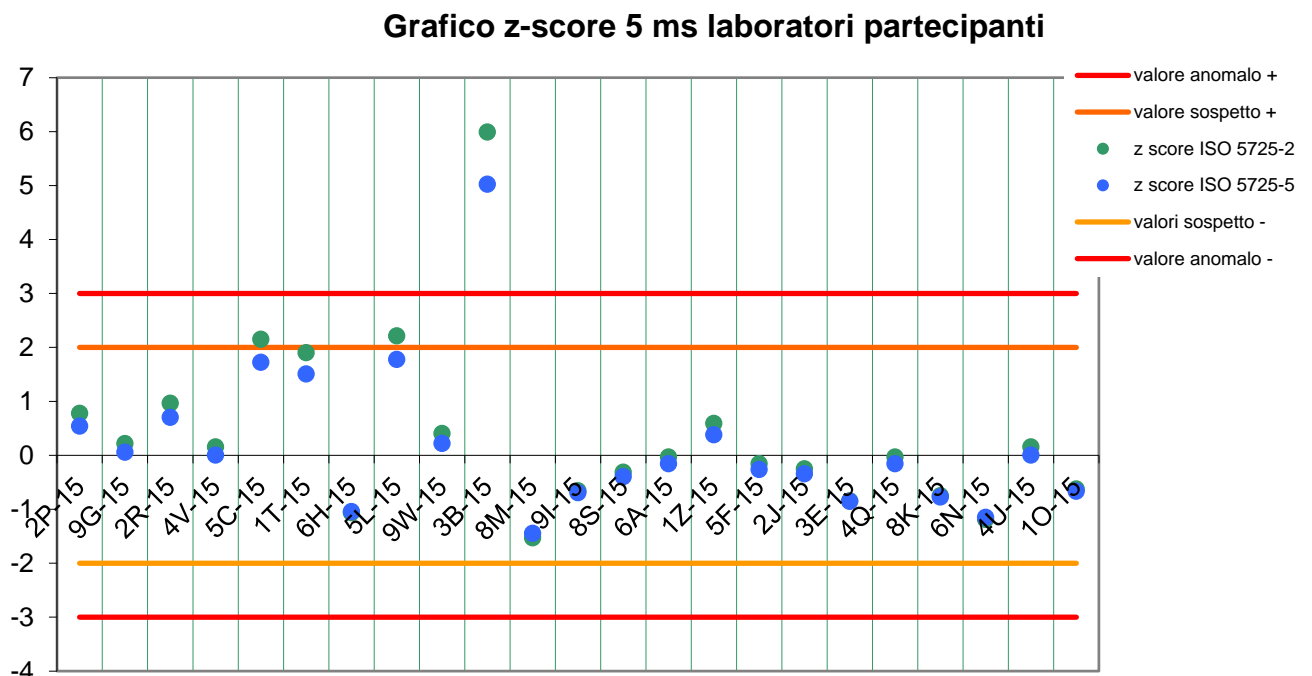
Per motivi legati all'anonimato si è scelto di non rappresentare i dati in forma grafica, tuttavia per il livello di 5 m/s tutti e 6 i laboratori ottengono un valore di z-score compreso tra -2 e 0 (per la precisione lo z-score più alto si attesta a 0,01).

Per il livello di 10 m/s 4 laboratori su 6 rimangono sempre nella "metà bassa" degli z-score (tra -2 e 0). Infine per il livello di 20 m/s sempre 4 su 6 rimangono nella "metà bassa" degli z-score.

Si può in effetti concludere una tendenza, un "effetto condotto" che porterebbe ad omogeneizzare le performance dei laboratori quando si lavora con le stesse condizioni "di contorno".

I grafici conclusivi dei 3 livelli comprendenti gli z-score dei laboratori partecipanti sono proposti sotto:

Figura 7 – Grafico z-score laboratori partecipanti al circuito 2015 (5 m/s)

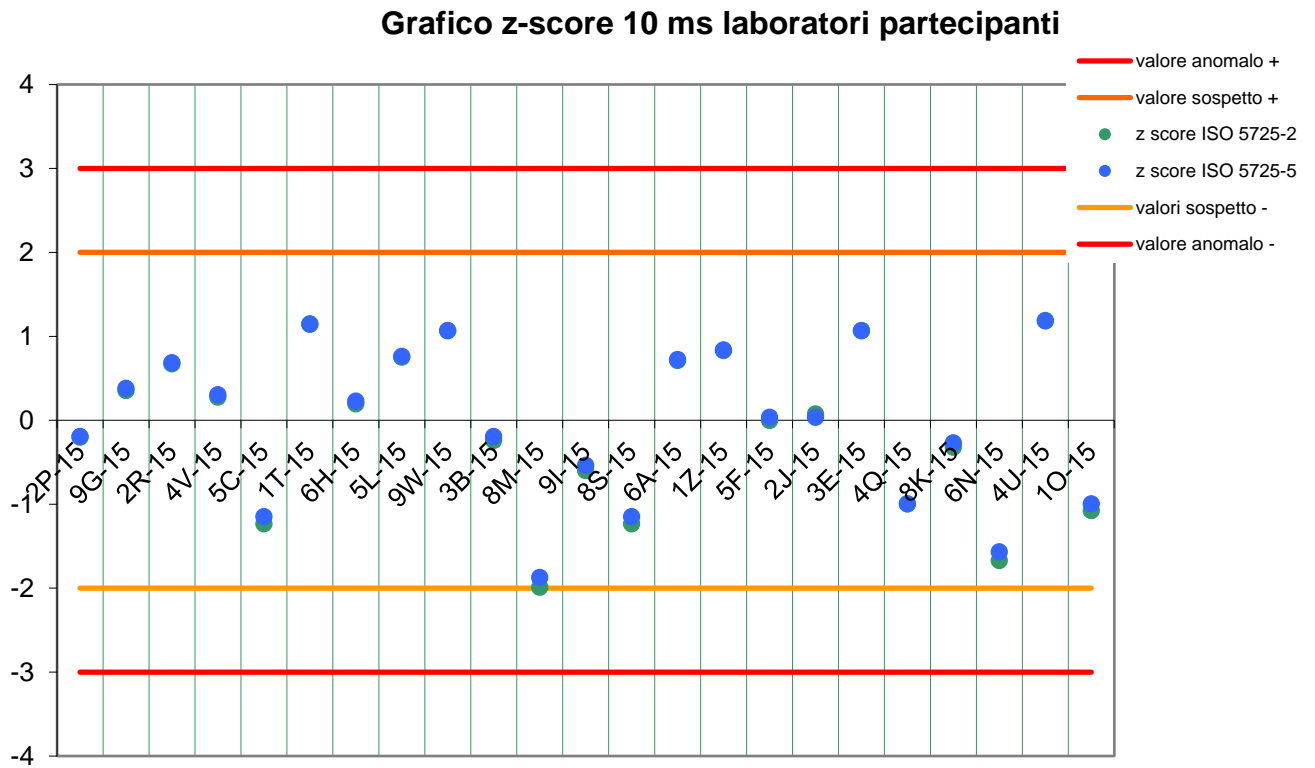


Segnale di intervento	1	Laboratorio 3B-15
Segnale di avvertimento	0	



Innovazione e ricerca

Figura 8 – Grafico z-score laboratori partecipanti al circuito 2015 (10 m/s)



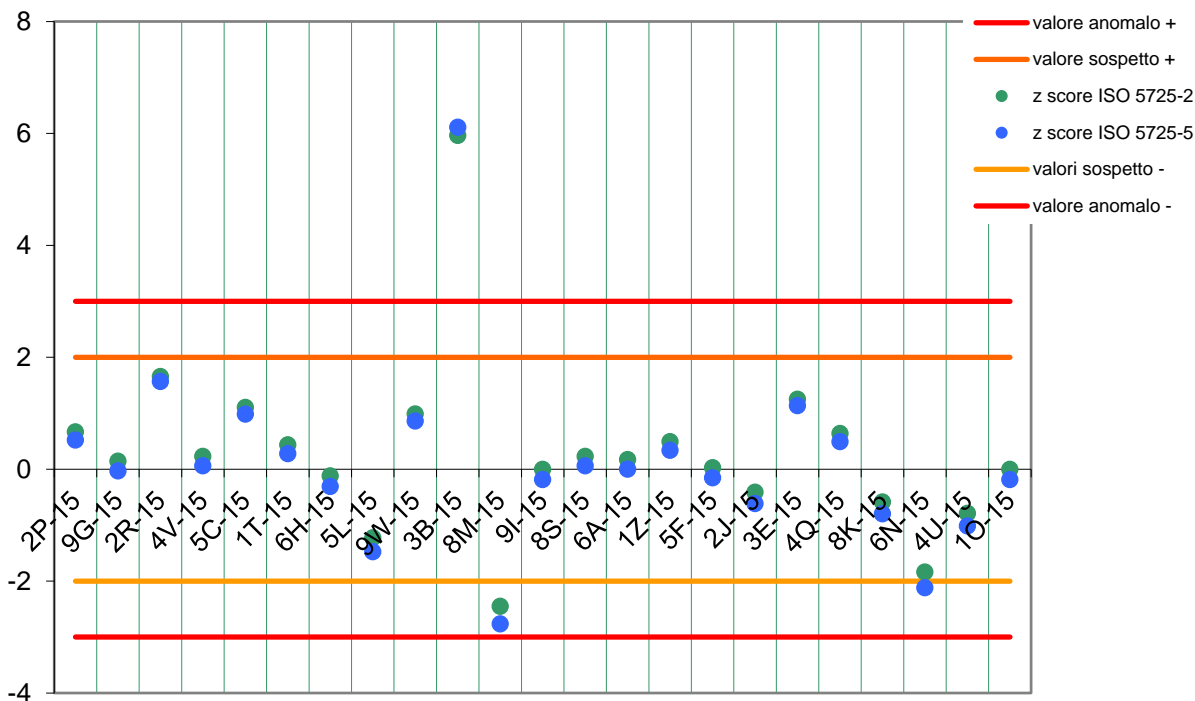
Segnale di intervento	0
Segnale di avvertimento	0



Innovazione e ricerca

Figura 9 – Grafico z-score laboratori partecipanti al circuito 2015 (20 m/s)

Grafico z-score 20 ms laboratori partecipanti



Segnale di intervento	1	Laboratorio 3B - 15	
Segnale di avvertimento	2	Laboratorio 8M - 15	Laboratorio 6N - 15

Gli indicatori utilizzati per evidenziare i due approcci (pallino azzurro per parte 5 e verde per parte 2) risultano piuttosto sovrapposti sebbene più lo z-score dei laboratori aumenti, lo scostamento tra l'approccio previsto dalle due parti della norma è molto evidente.

12. RAW DATA (DATI GREZZI)

Vengono proposti i dati grezzi che possono permettere al laboratorio di procedere autonomamente alla valutazione della propria performance. Sono forniti a corredo anche alcune statistiche: Media (M) – Deviazione Standard (Ds) e Coefficiente di Variazione percentuale (CV)



Innovazione e ricerca

Tabella 10 – Dati grezzi del circuito di correlazione 2015 (5 m/s)

<i>Correlazione 2015</i>		<i>Tube di Pitot: X 120</i>				
LABORATORIO		Fattore α_x			Parametri statistici	
		X ₁	X ₂	X ₃		
1	8M-15	0,822	0,820	0,812	m	0,818
					ds	0,005
					CV	0,647
2	6N-15	0,834	0,815	0,816	m	0,822
					ds	0,011
					CV	1,301
3	6H-15	0,823	0,826	0,820	m	0,823
					ds	0,003
					CV	0,365
4	3E-15	0,822	0,824	0,830	m	0,825
					ds	0,004
					CV	0,504
5	8K-15	0,826	0,827	0,826	m	0,826
					ds	0,001
					CV	0,070
6	9I-15	0,828	0,829	0,825	m	0,827
					ds	0,002
					CV	0,252
7	10-15	0,827	0,831	0,825	m	0,828
					ds	0,003
					CV	0,369
8	8S-15	0,836	0,829	0,828	m	0,831
					ds	0,004
					CV	0,525
9	2J-15	0,825	0,837	0,833	m	0,832
					ds	0,006
					CV	0,735
10	5F-15	0,832	0,834	0,832	m	0,833
					ds	0,001
					CV	0,139
11	6A-15	0,833	0,832	0,837	m	0,834
					ds	0,003
					CV	0,317
12	4Q-15	0,833	0,834	0,835	m	0,834
					ds	0,001
					CV	0,120
13	4V-15	0,836	0,836	0,836	m	0,836



Innovazione e ricerca

					ds	0,000
					CV	0,000
14	4U-15	0,835	0,839	0,834	m	0,836
					ds	0,003
					CV	0,316
15	9G-15	0,836	0,839	0,835	m	0,837
					ds	0,002
					CV	0,249
16	9W-15	0,839	0,836	0,841	m	0,839
					ds	0,003
					CV	0,300
17	1Z-15	0,840	0,840	0,842	m	0,841
					ds	0,001
					CV	0,137
18	2P-15	0,846	0,840	0,842	m	0,843
					ds	0,003
					CV	0,363
19	2R-15	0,837	0,842	0,855	m	0,845
					ds	0,009
					CV	1,100
20	1T-15	0,857	0,855	0,852	m	0,855
					ds	0,003
					CV	0,294
21	5C-15	0,882	0,862	0,828	m	0,857
					ds	0,027
					CV	3,184
22	5L-15	0,855	0,863	0,856	m	0,858
					ds	0,004
					CV	0,508
23	3B-15	0,936	0,883	0,876	m	0,898
					ds	0,033
					CV	3,652
24	3D-15	Dati non comunicati			m	
					ds	
					CV	



Innovazione e ricerca

Tabella 11 – Dati grezzi del circuito di correlazione 2015 (10 m/s)

Correlazione 2015		<i>Tube di Pitot: X 120</i>				
LABORATORIO		Fattore α_x			Parametri statistici	
		X₁	X₂	X₃		
1	8M-15	0,820	0,811	0,820	m	0,817
					ds	0,005
					CV	0,636
2	6N-15	0,823	0,815	0,821	m	0,820
					ds	0,004
					CV	0,508
3	5C-15	0,824	0,807	0,839	m	0,823
					ds	0,016
					CV	1,945
4	8S-15	0,823	0,821	0,826	m	0,823
					ds	0,003
					CV	0,306
5	10-15	0,824	0,824	0,826	m	0,825
					ds	0,001
					CV	0,140
6	4Q-15	0,828	0,824	0,824	m	0,825
					ds	0,002
					CV	0,280
7	9I-15	0,830	0,827	0,829	m	0,829
					ds	0,002
					CV	0,184
8	8K-15	0,831	0,830	0,832	m	0,831
					ds	0,001
					CV	0,120
9	3B-15	0,837	0,828	0,830	m	0,832
					ds	0,005
					CV	0,568
10	2P-15	0,829	0,832	0,835	m	0,832
					ds	0,003
					CV	0,361
11	5F-15	0,834	0,834	0,833	m	0,834
					ds	0,001
					CV	0,069
12	2J-15	0,837	0,833	0,833	m	0,834
					ds	0,002
					CV	0,277
13	6H-15	0,834	0,845	0,827	m	0,835
					ds	0,009



Innovazione e ricerca

					CV	1,086
14	4V-15	0,836	0,836	0,836	m	0,836
					ds	0,000
					CV	0,000
15	9G-15	0,836	0,835	0,839	m	0,837
					ds	0,002
					CV	0,249
16	2R-15	0,840	0,839	0,839	m	0,839
					ds	0,001
					CV	0,069
17	6A-15	0,838	0,840	0,841	m	0,840
					ds	0,002
					CV	0,182
18	5L-15	0,844	0,844	0,832	m	0,840
					ds	0,007
					CV	0,825
19	1Z-15	0,842	0,841	0,839	m	0,841
					ds	0,002
					CV	0,182
20	3E-15	0,843	0,844	0,841	m	0,843
					ds	0,002
					CV	0,181
21	9W-15	0,839	0,843	0,846	m	0,843
					ds	0,004
					CV	0,417
22	1T-15	0,843	0,843	0,844	m	0,843
					ds	0,001
					CV	0,068
23	4U-15	0,846	0,844	0,841	m	0,844
					ds	0,003
					CV	0,298
24	3D-15	Dati non comunicati			m	
					ds	
					CV	



Innovazione e ricerca

Tabella 12 – z-score finali del circuito di correlazione 2015 (20 m/s)

Correlazione 2015		<i> Tubo di Pitot: X 120</i>				
LABORATORIO		Fattore α_x			Parametri statistici	
		X₁	X₂	X₃		
1	8M-15	0,808	0,805	0,806	m	0,806
					ds	0,002
					CV	0,189
2	6N-15	0,813	0,813	0,814	m	0,813
					ds	0,001
					CV	0,071
3	5L-15	0,822	0,819	0,820	m	0,820
					ds	0,002
					CV	0,186
4	4U-15	0,824	0,825	0,827	m	0,825
					ds	0,002
					CV	0,185
5	8K-15	0,828	0,828	0,827	m	0,828
					ds	0,001
					CV	0,070
6	2J-15	0,827	0,832	0,830	m	0,830
					ds	0,003
					CV	0,303
7	6H-15	0,834	0,836	0,829	m	0,833
					ds	0,004
					CV	0,433
8	9I-15	0,835	0,833	0,835	m	0,834
					ds	0,001
					CV	0,138
9	10-15	0,834	0,836	0,833	m	0,834
					ds	0,002
					CV	0,183
10	5F-15	0,834	0,835	0,835	m	0,835
					ds	0,001
					CV	0,069
11	9G-15	0,834	0,835	0,839	m	0,836
					ds	0,003
					CV	0,316
12	6A-15	0,837	0,838	0,834	m	0,836
					ds	0,002
					CV	0,249
13	4V-15	0,837	0,837	0,837	m	0,837
					ds	0,000



Innovazione e ricerca

					CV	0,000
14	8S-15	0,836	0,836	0,839	m	0,837
					ds	0,002
					CV	0,207
15	1T-15	0,838	0,836	0,844	m	0,839
					ds	0,004
					CV	0,496
16	1Z-15	0,839	0,841	0,840	m	0,840
					ds	0,001
					CV	0,119
17	4Q-15	0,840	0,835	0,850	m	0,842
					ds	0,008
					CV	0,907
18	2P-15	0,843	0,841	0,842	m	0,842
					ds	0,001
					CV	0,119
19	9W-15	0,846	0,843	0,848	m	0,846
					ds	0,003
					CV	0,298
20	5C-15	0,846	0,851	0,844	m	0,847
					ds	0,004
					CV	0,426
21	3E-15	0,848	0,849	0,849	m	0,849
					ds	0,001
					CV	0,068
22	2R-15	0,850	0,856	0,854	m	0,853
					ds	0,003
					CV	0,358
23	3B-15	0,917	0,886	0,905	m	0,903
					ds	0,016
					CV	1,732
24	3D-15	Dati non comunicati			m	
					ds	
					CV	



Innovazione e ricerca

Tabella 13 – z-score finali del circuito di correlazione 2015 (5 m/s)

Codice Laboratorio	Risultato	z-score	Segnale (Avvertimento / Intervento)
8M-15	0,818	-1,44	-
6N-15	0,822	-1,15	-
6H-15	0,823	-1,04	-
3E-15	0,825	-0,85	-
8K-15	0,826	-0,77	-
9I-15	0,827	-0,69	-
1O-15	0,828	-0,66	-
8S-15	0,831	-0,40	-
2J-15	0,832	-0,34	-
5F-15	0,833	-0,26	-
6A-15	0,834	-0,15	-
4Q-15	0,834	-0,15	-
4V-15	0,836	0,01	-
4U-15	0,836	0,01	-
9G-15	0,837	0,06	-
9W-15	0,839	0,22	-
1Z-15	0,841	0,38	-
2P-15	0,843	0,54	-
2R-15	0,845	0,70	-
1T-15	0,855	1,51	-
5C-15	0,857	1,72	-
5L-15	0,858	1,78	-
3B-15	0,898	5,03	I

Tabella 14 – z-score finali del circuito di correlazione 2015 (10 m/s)

Codice Laboratorio	Risultato	z-score	Segnale (Avvertimento / Intervento)
8M-15	0,817	-1,87	-
6N-15	0,820	-1,57	-
5C-15	0,823	-1,15	-
8S-15	0,823	-1,15	-
4Q-15	0,825	-0,99	-
1O-15	0,825	-0,99	-
9I-15	0,829	-0,54	-
8K-15	0,831	-0,27	-
2P-15	0,832	-0,19	-



Innovazione e ricerca

3B-15	0,832	-0,19	-
5F-15	0,834	0,04	-
2J-15	0,834	0,04	-
6H-15	0,835	0,23	-
4V-15	0,836	0,30	-
9G-15	0,837	0,38	-
2R-15	0,839	0,69	-
6A-15	0,840	0,72	-
5L-15	0,840	0,76	-
1Z-15	0,841	0,84	-
3E-15	0,843	1,07	-
9W-15	0,843	1,07	-
1T-15	0,843	1,14	-
4U-15	0,844	1,18	-

Tabella 15 – z-score finali del circuito di correlazione 2015 (20 m/s)

Codice Laboratorio	Risultato	z-score	Segnale (Avvertimento / Intervento)
8M-15	0,806	-2,76	A
6N-15	0,813	-2,12	A
5L-15	0,820	-1,47	-
4U-15	0,825	-1,01	-
8K-15	0,828	-0,80	-
2J-15	0,830	-0,61	-
6H-15	0,833	-0,31	-
9I-15	0,834	-0,18	-
1O-15	0,834	-0,18	-
5F-15	0,835	-0,15	-
9G-15	0,836	-0,03	-
6A-15	0,836	0,00	-
4V-15	0,837	0,06	-
8S-15	0,837	0,06	-
1T-15	0,839	0,28	-
1Z-15	0,840	0,34	-
4Q-15	0,842	0,49	-
2P-15	0,842	0,52	-
9W-15	0,846	0,86	-
5C-15	0,847	0,98	-
3E-15	0,849	1,14	-
2R-15	0,853	1,57	-
3B-15	0,903	6,11	I



Innovazione e ricerca

13. CRITICITA' RISCONTRATE, CONCLUSIONI E PROSPETTIVE

Il Circuito ha visto in questa edizione un numero sostanzialmente analogo (leggermente inferiore) rispetto al ciclo precedente. E' da ravvisare in questa edizione un **miglioramento delle tempistiche di prove e di spedizione** conseguente della sonda al laboratorio calendarizzato come successivo.

Entrando nel "vivo" delle criticità i risultati generali hanno mostrato una **tendenza** crescente di valori anomali per velocità basse (5 m/s) ma soprattutto per alte velocità (20 m/s).

Questa tendenza può essere spiegata con una maggiore variabilità delle condizioni impiantistiche del condotto di ciascun laboratorio: più la velocità aumenta e più possono conseguentemente aumentare le variazioni dalla stabilità di flusso.

A supportare l'ipotesi di un "**effetto condotto**" vi è la correlazione su un campione di circa il 25% dei laboratori che hanno lavorato in condizioni con buona approssimazione identiche. Questa correlazione ha mostrato un sostanziale raggruppamento delle performance di questi laboratori in una "zona" bene definita del range degli z-score (tra -2 e 0).

I risultati hanno mostrato in modo piuttosto chiaro **un'assenza di correlazione con il fattore k del Pitot primario utilizzato da ciascun laboratorio partecipante.**

Non si è purtroppo potuto fare un approfondimento analogo sui micromanometri causa l'inserimento di dati non corretti (per la maggior parte) da parte degli operatori.

Sebbene la tendenza mostrava una non correlazione in analogia al fattore k del Pitot primario la **proposta** per il prossimo circuito sarà quella di chiedere ai laboratori **l'indicazione della marca e del modello del proprio misuratore di pressione ai fini di fornire una chiara correlazione.**

Questa proposta potrebbe essere **importante anche per capire, qualora ci sia, una possibile differenziazione tra i misuratori di pressione che forniscono un dato diretto e quelli che lo forniscono come media di una serie di valori processati dallo strumento stesso.**

Si rimane tuttavia convinti che l'effetto predominante sulla qualità del risultato sia dovuto principalmente alla **procedura messa in campo dal laboratorio per arrivare al dato.**

In questo senso avere la possibilità di confrontare 6 laboratori che hanno svolto le prove presso il sito SSC ha permesso di trovare alcuni aspetti non omogenei che meritano approfondimento.

Tra tutti si può citare la **trascrizione del dato** (a mano direttamente su foglio e poi mediazione via calcolatrice o attraverso PC portatile) o la stessa modalità di conduzione delle prove ovvero **l'interpretazione della procedura prevista dalla UNI 10169** (ad es. inserimento e rimozione del primario per il rilevamento di ogni singolo dato piuttosto che rimozione ad ogni serie dei 3 valori rilevati).

Sarà **proposto** ai laboratori partecipanti al circuito 2016 di comunicare preventivamente la propria procedura di conduzione della prova attraverso un primo screening di domande (check-list) con la



INNOVHUB
STAZIONI SPERIMENTALI
PER L'INDUSTRIA



STAZIONE SPERIMENTALE
PER I COMBUSTIBILI

Innovazione e ricerca

finalità di determinare le procedure (il più possibile uguali o molto simili) che hanno portato ai migliori indici di performance.

RINGRAZIAMENTI

Si ringraziano tutti i laboratori nel complesso ed in particolar modo chi mette a disposizione la propria esperienza fornendo spunti di approfondimento e migliorie al lavoro.

Si ringraziano i colleghi **Alberto Brusoni**, **Stefano Ariazzi** e **Fabio Pederzoli** per l'importante contributo ed assistenza nella conduzione delle prove.