

Spett. le

ISPRA - Servizio Interdipartimentale per  
l'indirizzo, il coordinamento e il controllo delle  
attività ispettive

[protocollo.ispra@ispra.legalmail.it](mailto:protocollo.ispra@ispra.legalmail.it)

ARPA Campania - Direzione Tecnica

Via Vicinale Santa Maria del Pianto

Centro Polifunzionale (Torre 1)

80143 Napoli

[direzionegenerale.arpac@pec.arpacampania.it](mailto:direzionegenerale.arpac@pec.arpacampania.it)

Dipartimento Provinciale di Caserta

[arpac.dipartimentocaserta@pec.arpacampania.it](mailto:arpac.dipartimentocaserta@pec.arpacampania.it)

e p.c. Ministero dell'Ambiente e della Tutela  
del Territorio e del Mare  
Direzione Generale per le Valutazioni  
Ambientali  
Via C. Colombo, 44  
00147 Roma  
[aia@pec.minambiente.it](mailto:aia@pec.minambiente.it)

Inviata via PEC

Ns. Rif.: **CAL-O-1872**

Genova, 21 marzo 2017

**Riferimento:** Decreto autorizzativo DVA-DEC-2011-0000451 del 05/08/2011 con avviso  
pubblicato in G.U. n. 195 del 23/08/2011 - centrale termoelettrica della  
Società Calenia Energia S.p.A. sita in Sparanise (CE)

**Oggetto:** Riscontro prima diffida prot. DVA 30082 del 13/12/2016 per inosservanza  
delle prescrizioni autorizzative. Nota MATTM prot. 1977 del 30/01/2017  
(acquisita con prot. ISPRA 4045 del 30/01/2017)

Con riferimento a quanto in oggetto ed alla prescrizione di cui al paragrafo 6.11 del piano di monitoraggio e controllo emesso in data 10/02/2017, si trasmette in allegato nota tecnica relativa all'algoritmo di calcolo utilizzato per determinare la portata fumi al camino.

Con osservanza

Calenia Energia S.p.A.

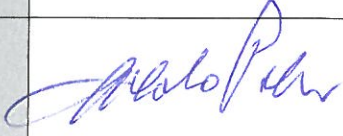
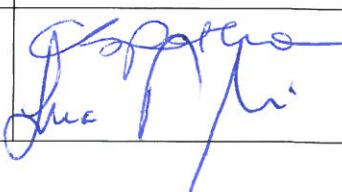
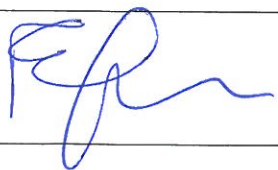
  
\_\_\_\_\_  
Ing. Fabio Giorgi  
Procuratore

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Marco Sacchi  
Procuratore

Allegati:

- Descrizione dell'algoritmo di calcolo utilizzato per determinare la portata dei fumi

**DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO DI CALCOLO  
UTILIZZATO PER DETERMINARE LA PORTATA DEI FUMI**

Stato	Rev.00		
Documento	Redatto	Verificato	Approvato
Data	20/03/2017	20/03/2017	20/03/2017
Nominativo	Ing. U. Paoli	Ing. C. Spatera Ing. L. Magnanelli	Ing. F. Giorgi
Firma			

## 0. Sommario

1. SCOPO .....	3
2. DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO DI CALCOLO .....	3
2.1 Equazioni di combustione .....	4
3. INDICAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'INCERTEZZA ASSOCIATE AL CALCOLO .....	10
3.1 Calcolo della portata fumi.....	10
3.2 Misura della composizione del gas naturale .....	11
3.3 Misura della portata gas naturale .....	11
3.4 Misura del contenuto di ossigeno nei fumi.....	11
3.5 Valutazione dell'errore globale .....	12

## 1. SCOPO

Scopo di questa specifica tecnica è descrivere il metodo con cui viene effettuato il calcolo di portata fumi in uscita dalla caldaia a recupero in continuo mediante bilancio di combustione ed indicare il contributo delle componenti associate nell'incertezza della misura.

## 2. DESCRIZIONE DELL'ALGORITMO DI CALCOLO

Di seguito è descritto in sintesi il calcolo che implementato nello SME (Sistema Monitoraggio Emissioni).

Saranno utilizzati in modo continuo i segnali di:

- portata gas [ $\text{Sm}^3/\text{h}$ ];
- percentuale volumetrica di  $\text{CH}_4$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{C}_2\text{H}_6$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{C}_3\text{H}_8$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{C}_5\text{H}_{12}$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{N}_2$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{CO}_2$  [% vol];
- percentuale volumetrica di  $\text{O}_2$  contenuto nei fumi [% vol].

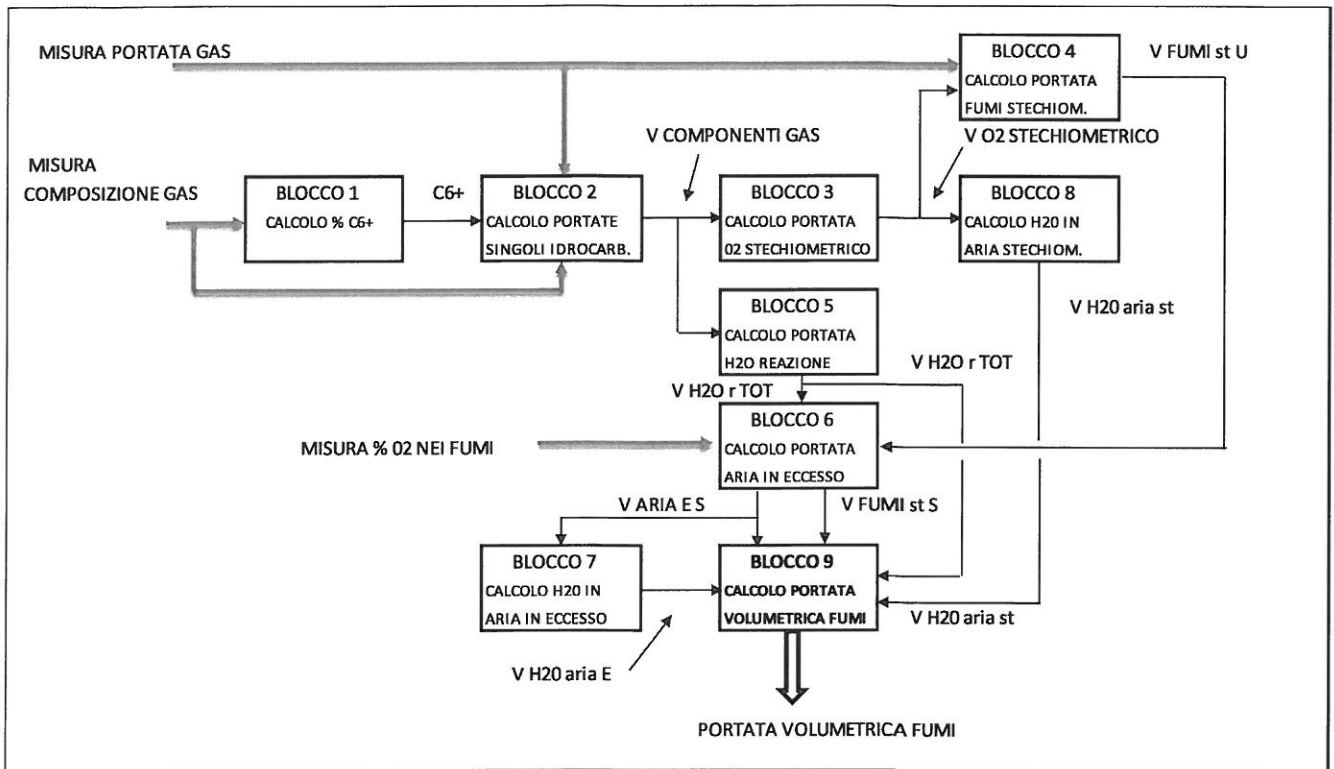
La percentuale volumetrica di  $\text{C}_6+$  [% vol] sarà calcolata come complementare a 100 delle percentuali precedenti. Dal bilancio stechiometrico di ciascun idrocarburo si calcolerà la portata volumetrica di  $\text{O}_2$  necessario alla combustione completa del gas naturale.

In funzione poi della percentuale di  $\text{O}_2$  sui fumi anidri allo scarico verrà calcolata la portata volumetrica d'aria in eccesso. Per aria umida si intende la seguente composizione volumetrica:

- $\text{O}_2$ : 20.74%;
- $\text{H}_2\text{O}$ : 1%;
- altro (per la quasi totalità  $\text{N}_2$ ): 78.26%.

La somma dell'aria stechiometrica, del gas naturale e dell'aria in eccesso è la portata volumetrica di fumi al camino.

Lo schema seguente illustra la filosofia con cui si effettua il calcolo:

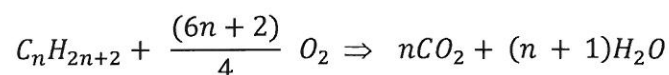


## Legenda

V <sub>gas</sub>	Sm <sup>3</sup> /h	Portata volumetrica gas naturale
% [specie chimica]	% vol	Percentuale volumetrica specie chimica
V [specie chimica]	Nm <sup>3</sup> /h	Portata volumetrica specie chimica
S		Secco (anidro)
U		Umido
st		Stechiometrico
E		Eccesso
r		Di reazione (riferito all'acqua prodotto della combustione dell'H <sub>2</sub> )
% O <sub>2</sub>	% vol	Percentuale ossigeno al camino

## 2.1 Equazioni di combustione

Considerando il fatto che i componenti del gas naturale che partecipano alle reazioni di combustione sono tutti alcani (C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub>), per essi è possibile scrivere la formula generale di completa ossidazione:

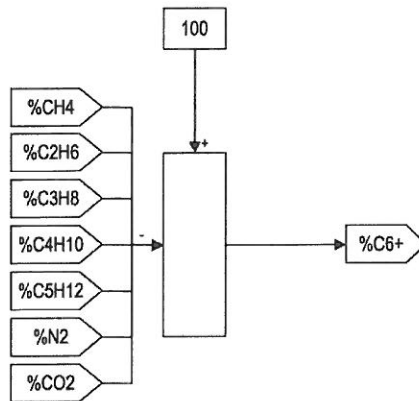


In base a tale formula è possibile determinare la quantità teorica di ossigeno necessario per la combustione di 1 mole di un singolo componente e la quantità di acqua e anidride carbonica prodotte. Tali dati sono riportati nella tabella seguente:

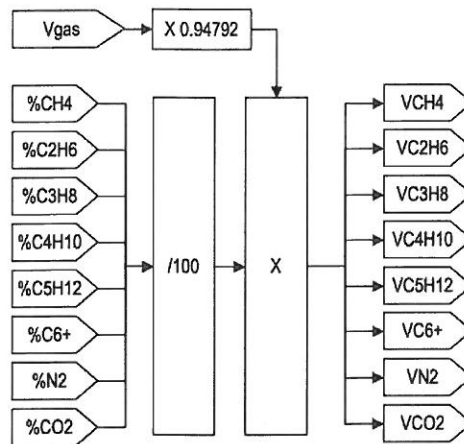
Componente	N° Riferimento <i>i</i>	Moli di O <sub>2</sub> necessarie per la combustione completa di una mole	Moli di CO <sub>2</sub> prodotte dalla combustione completa di una mole	Moli di H <sub>2</sub> O prodotte dalla combustione completa di una mole
Metano (CH <sub>4</sub> )	1	2	1	2
Etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )	2	3.5	2	3
Propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	3	5	3	4
N-butano (C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> )	4	6.5	4	5
Iso-butano:	5	6.5	4	5
N-pentano (C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> )	6	8	5	6
Iso-pentano:	7	8	5	6
Esano (C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> )	8	9.5	6	7
Azoto (N <sub>2</sub> )	9	0	0	0
Anidride carbonica (CO <sub>2</sub> )	10	0	0	0

I diagrammi a blocchi delle pagine seguenti descrivono il calcolo nel dettaglio



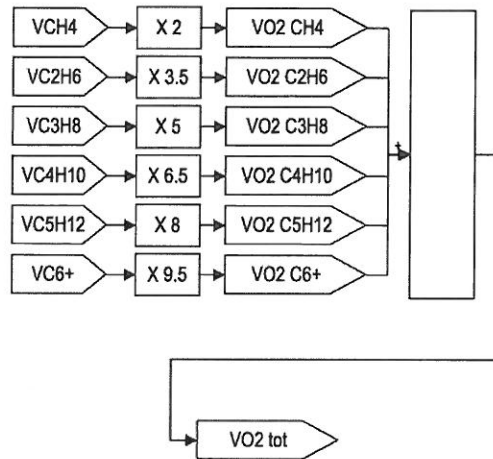


**BLOCCO 1: CALCOLO PERCENTUALE C6+**

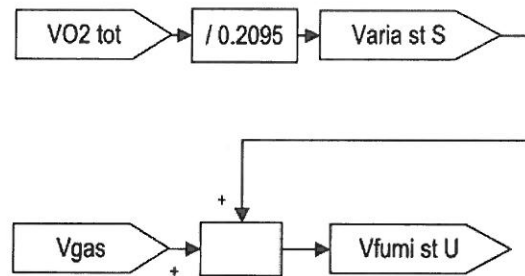


**BLOCCO 2: CALCOLO PORTATE SINGOLI IDROCARBURI**

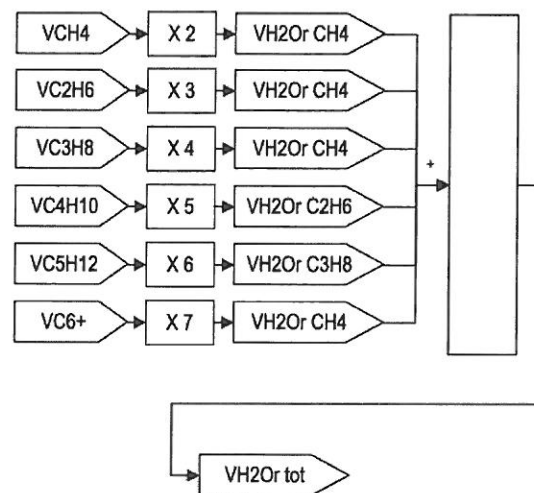




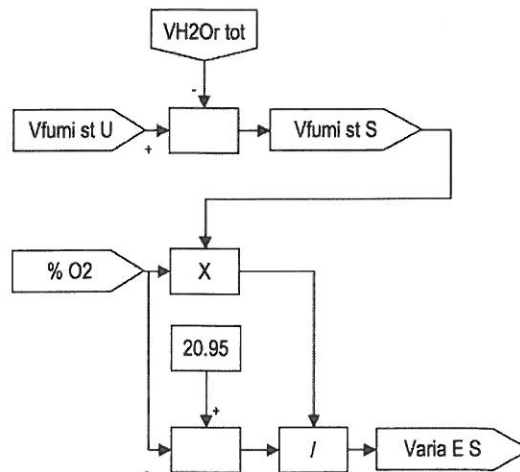
**BLOCCO 3: CALCOLO PORTATA O2 STECHIOMETRICO**



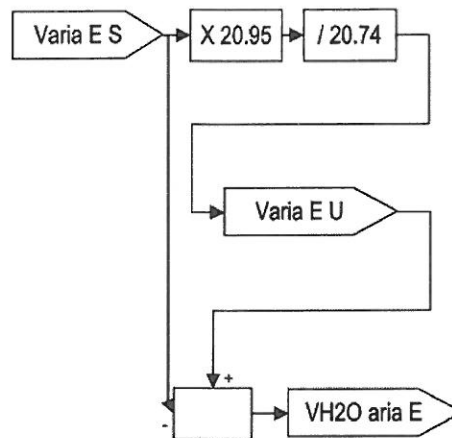
**BLOCCO 4: CALCOLO PORTATA FUMI STECHIOMETRICI**



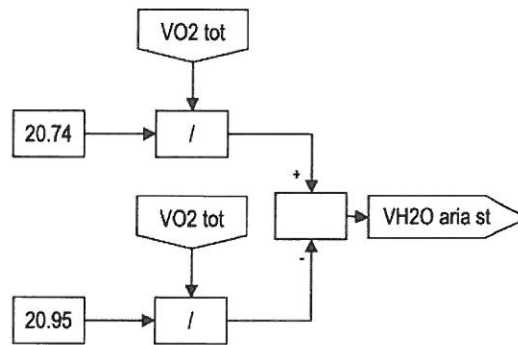
**BLOCCO 5: CALCOLO PORTATA ACQUA PRODOTTA DALLA REAZIONE**



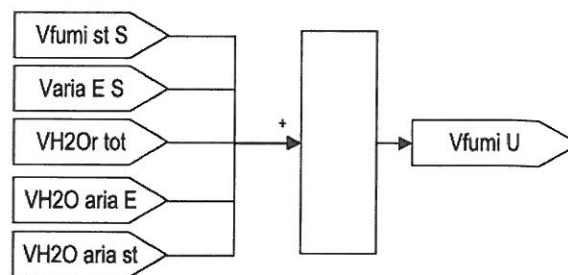
**BLOCCO 6: CALCOLO PORTATA ARIA IN ECCESSO**



**BLOCCO 7: CALCOLO ACQUA CONTENUTA NELL'ARIA IN ECCESSO**



**BLOCCO 8: CALCOLO DELL'ACQUA NELL'ARIA STECHIOMETRICA**



**BLOCCO 9: CALCOLO PORTATA VOLUMETRICA FUMI**

### 3. INDICAZIONE DELLE COMPONENTI DELL'INCERTEZZA ASSOCIATE AL CALCOLO

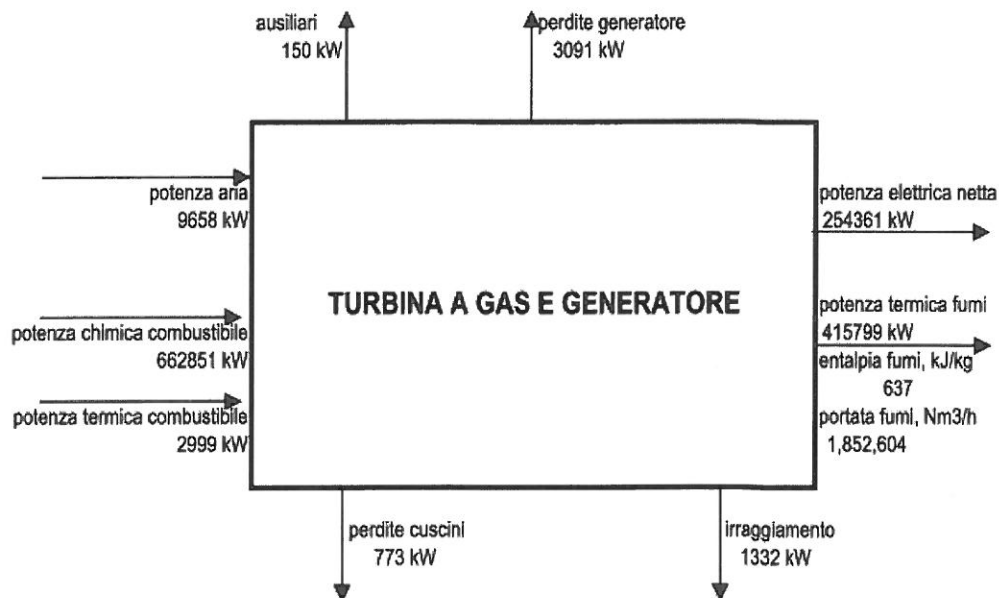
#### 3.1 Calcolo della portata fumi

Di seguito è riportato un altro esempio di applicazione del calcolo, basato sui bilanci "expected" forniti dalla Siemens per l'acquisto della turbina a gas V94.3A2.

BILANCIO TG V94.3A2 @100% load & 15°C		
Potenza TG, kW	254500	
Portata gas, Nm <sup>3</sup> /h	66273	
Densità gas, kg/Nm <sup>3</sup>	0.77	
%CH <sub>4</sub>	93	
%C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2	
%C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	1	
%C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.33	
%C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	0.33	
%C <sub>6</sub> +	0.34	
%N <sub>2</sub>	2.5	
%CO <sub>2</sub>	0.5	
%O <sub>2</sub> fumi secchi camino	13.87	
	DATI SIEMENS	CALCOLO
Portata fumi, Nm <sup>3</sup> /h	1.852.604	1.879.450

L'errore del calcolo, rispetto al bilancio energetico del turbogas risulta essere inferiore a **1,5 %**.

Lo schema seguente illustra il bilancio energetico della turbina a gas SIEMENS e generatore. Si vede che la portata fumi da bilancio è congruente con il risultato del calcolo del bilancio di combustione.



### 3.2 Misura della composizione del gas naturale

L'analisi del gas naturale, con conseguente determinazione della percentuale dei vari componenti il gas, viene eseguita in continuo tramite gascromatografo di precisione installato sulla tubazione di adduzione al turbogas; i segnali elettrici corrispondenti ai valori di composizione del gas naturale vengono eseguiti in continuo tramite DCS di centrale memorizzati dallo stesso per le successive elaborazioni che si rendono necessarie.

Il gascromatografo in oggetto è corredato inoltre di un set di bombole con composizione certificata che vengono utilizzate per la calibrazione in linea.

L'apparecchiatura installata, marca YAMATAKE Mod. HGC 303 corredata di convertitore di segnale Mod. HDM 303-1E, è stata fornita dalla ditta SOCRATE s.r.l. ed è stata sottoposta a collaudo funzionale in contraddittorio con risultati positivi. Da comparazioni delle analisi eseguite sul medesimo campione di gas naturale sia dal gascromatografo di Centrale che dalla Stazione Sperimentale dei Combustibili di S. Donato Milanese (Laboratorio ufficialmente riconosciuto), sono state confermate le ottime caratteristiche del gascromatografo installato, sia in termini di accuratezza della misura e sia in termini di ripetibilità e attendibilità dei risultati di analisi forniti; si evidenzia inoltre che l'apparecchiatura di analisi gas naturale installata da Axpo è conforme ai requisiti di cui al capitolo 11 Allegato 11B del "Codice di Rete" SNAM RETE GAS.

Il valore di incertezza che tipicamente viene considerato sui valori di analisi gas eseguiti con gascromatografo di precisione e calibrato con gas di riferimento è inferiore a **0,2 %**.

### 3.3 Misura della portata gas naturale

La portata di gas naturale che alimenta ciascuna turbina a gas è misurata mediante un gruppo di misura costituito da organo di strozzamento (orificio), trasmettitore di pressione differenziale, trasduttore di temperatura e pressione assoluta del gas; i segnali elettrici corrispondenti alle misure delle grandezze citate vengono acquisiti in continuo tramite DCS di Unità ed elaborati da algoritmo di calcolo dedicato.

La configurazione del sistema di misurazione delle portate gas naturale, tipico per ciascun impianto a ciclo combinato Axpo, consiste nella misura diretta della portata gas naturale, tramite orificio per ciascuna turbina a gas, mentre la portata totale dell'intero impianto viene misurata con una turbina, calibrata e di elevata precisione, che costituisce la misura portata totale SNAM per le fatturazioni dei consumi; l'incertezza della portata totale SNAM risulta inferiore a 0,2 %.

Tale configurazione consente di poter eseguire la verifica di attendibilità delle singole misure di portata gas naturale ai singoli turbogas, determinato in base a ISO 5167, risulta essere inferiore a **0,3 %**.

### 3.4 Misura del contenuto di ossigeno nei fumi

La misura della concentrazione dell'ossigeno nei fumi di combustione viene eseguita tramite analizzatore dedicato installato nel sistema SME (Sistema Monitoraggio Emissioni) di cui è dotata ciascuna turbina a gas sullo scarico all'atmosfera. Il campione di gas di combustione,

opportunamente prelevato tramite sonda riscaldata inserita nel camino, viene inviato al sistema di trattamento (filtrazione ed eliminazione eventuale condensa) e successivamente viene analizzato tramite strumento di precisione, di tipo paramagnetico calibrato mediante bombole di gas noto e certificato; il segnale elettrico in uscita dallo strumento viene acquisito in continuo dal sistema di acquisizione dati SME.

L'incertezza da considerare sul valore di ossigeno nei fumi, misurato con lo strumento installato, è inferiore a **1,0 %**.

### **3.5 Valutazione dell'errore globale**

In base a quanto sopra descritto, viene confermata la validità del metodo indicato e quindi l'opportunità di procedere alla determinazione della portata fumi al camino applicando il "metodo indiretto". Tale metodo presenta i seguenti vantaggi:

- Il valore della portata fumi calcolato è da ritenersi attendibile, ripetibile e caratterizzato da un livello di incertezza inferiore al **2,15%**, molto migliore di quanto ottenibile per mezzo della misura di portata fumi diretta, superiore al **5%**
- Le misure dei parametri necessari per la determinazione della portata fumi vengono eseguite mediante strumentazione di precisione già installata sull'impianto e collegata al sistema automatico di acquisizione dati esistente.
- È possibile eseguire eventuali periodiche verifiche di attendibilità delle grandezze rilevate mediante i corrispondenti parametri "fiscali" disponibili sull'impianto.

Si evidenzia inoltre che, anche nel contesto dei collaudi fiscali dei principali componenti gli impianti termoelettrici, le più importanti normative universalmente applicate (es, ASME PTC4.1 Boiler Steam Generators, ASME PTC4.4 Gas Turbine Heat Recovery Stema Generators, ASME PTC22 Gas Turbine) indicano l'opportunità di determinare le portate dei gas di combustione tramite metodo indiretto con riferimento alle caratteristiche del combustibile bruciato nel processo (analisi elementare) e dei fumi prodotti; è risaputo infatti che una grandezza fisica misurata con elevati valori d'incertezza, oltre ad essere tecnicamente inattendibile e non ripetibile nel tempo, risulta difficilmente gestibile specialmente in caso di contraddittorio.