



ISO 9001:15
ISO 14001:15
BS OHSAS 18001:07

Kiwa-Cermet n. 13353-A
Kiwa-Cermet n. 13353-E
Kiwa-Cermet n. 13353-I


RUGGERI SERVICE SPA

RIESAME

AUTORIZZAZIONE INTEGRATA AMBIENTALE

MANUALE SME

RELAZIONE ALGORITMO PER LE STIME E LE MISURAZIONI

COMMITTENTE	<i>RUGGERI SERVICE SPA</i>
REDATTA DA: 	Antonio ANNIBALE
	Giuseppina DE GIORGI
RUGGERI SERVICE SPA	Dr.ssa Ing. Antonella MIGGIANO
SOCIETA' CONSULENTE	ENVEA

ALLEGATO	AGGIORNAMENTO	DATA	DESCRIZIONE
T	01	21/03/2023	Riscontro alle Osservazioni ARPA-CRA Protocollo 0021752 - 32 - 30/03/2023 - CRA

Sommario

Indice delle figure	3
1. Relazione algoritmo per le stime e le misurazioni sostitutive.....	4
1.1 CO: Monossido di carbonio	4
1.2 COT: Carbonio Organico Totale	5
1.3 NOx: Ossidi di Azoto	7
1.4 SO2: Anidride solforosa.....	9
1.5 Polveri.....	11
2. Proposta di implementazione algoritmo per stima misure mancanti	12
3. Valori sostitutivi per parametri chimico fisici ed ausiliari	14
3.1 Temperatura fumi.....	14
3.2 Portata fumi	14
3.3 Percentuale di ossigeno nei fumi	15
4. Proposta di implementazione algoritmo per stima misure mancanti parametri ausiliari	15

Indice delle figure

Figura 1: andamento della concentrazione del CO in funzione della portata di gas naturale al bruciatore con impianto a regime (stato impianto SME=30)	4
Figura 2: cdf delle concentrazioni di CO con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	5
Figura 3: pdf delle concentrazioni di CO con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	5
Figura 4: andamento della concentrazione del COT in funzione della portata di gas naturale al bruciatore con impianto a regime (stato impianto SME=30)	6
Figura 5: cdf della concentrazione di COT con impianto a regime (stato di impianto SME =30)	6
Figura 6: pdf della concentrazione del COT con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	7
Figura 7: andamento delle concentrazioni di NOx in funzione della portata di gas ai bruciatori con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	8
Figura 8: cdf delle concentrazioni di NOx con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	8
Figura 9: pdf delle concentrazioni di NOx con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	9
Figura 10: cdf delle concentrazioni di SO2 con impianto a regime (stato di impianto SME=30)	10
Figura 11: cdf delle concentrazioni delle polveri in caso di impianto a regime (stato di impianto SME=30)	11
Figura 12: pdf delle concentrazioni delle polveri in caso di impianto a regime (stato di impianto SME=30)	12
Figura 13: correlazione fra temperatura dei fumi e temperatura in volta del forno fusorio	14
Figura 14: andamento della percentuale di ossigeno in funzione della portata del gas al bruciatore	15

1. Relazione algoritmo per le stime e le misurazioni sostitutive

Al fine di ottenere stime e misurazioni sostitutive in caso di indisponibilità di dati monitorati in continuo, ai sensi dei punti 2.4,2.5,2.6 e 5.5.1 dell'allegato VI alla Parte V del D.Lgs.152/2006, Ruggeri Service Spa ha condotto uno studio al fine di correlare le concentrazioni degli inquinanti a parametri di processo e stati di processo.

1.1 CO: Monossido di carbonio

Il monossido di azoto risulta un prodotto di combustione incompleta di composti organici. Essendo il processo del sito produttivo in esame, estremamente povero in carica di carbonio, la principale fonte può correlarsi alla combustione incompleta del gas naturale. Date queste considerazioni, lo studio ha cercato una correlazione tra il parametro emissivo in discussione, in particolare e la portata di gas naturale al bruciatore, esaminando lo stato di impianto in normale funzionamento (30 da manuale SME) e considerandone le medie orarie al fine di avere il dato sufficientemente discreto.

Le concentrazioni e portate di gas ai bruciatori considerate fanno riferimento ad un periodo che va dal 1/01/2023 al 1/04/2023, ritenendo questo range temporale rappresentativo del processo. Le concentrazioni superiori a 125 mg/Nm³ sono state scartate, essendo ritenute anomale e poco rappresentative di un andamento medio del processo.

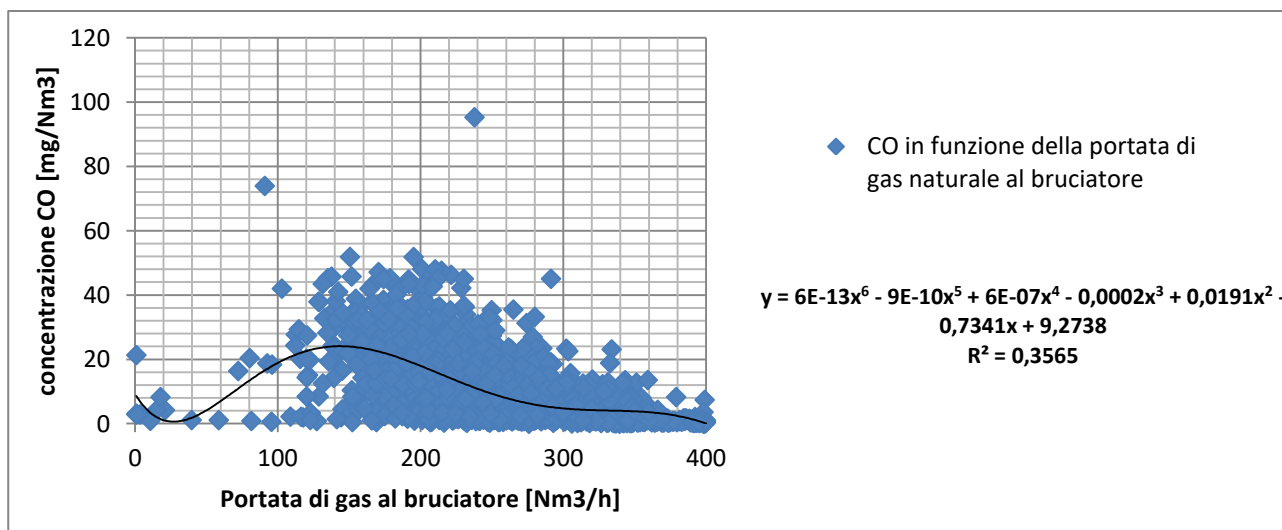


Figura 1: andamento della concentrazione del CO in funzione della portata di gas naturale al bruciatore con impianto a regime (stato impianto SME=30)

Per la casistica considerato un polinomio di VI grado approssima l'andamento del dato , con un R²=0,36.

Qualora tale approssimazione si ritenga inadeguata, la stima verrà eseguita mediante un algoritmo statistico.

Considerando la serie storica che va dal 01/01/2022 sino all'1/04/2023, la distribuzione delle concentrazioni presenta una pdf ed una cdf caratteristica.

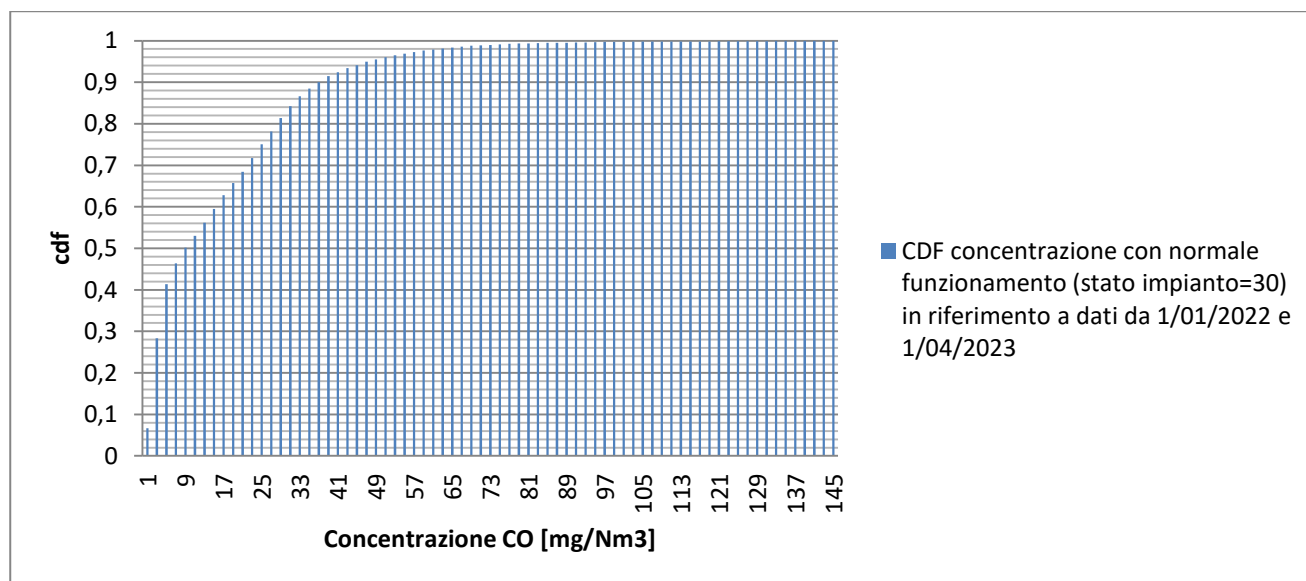


Figura 2: cdf delle concentrazioni di CO con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

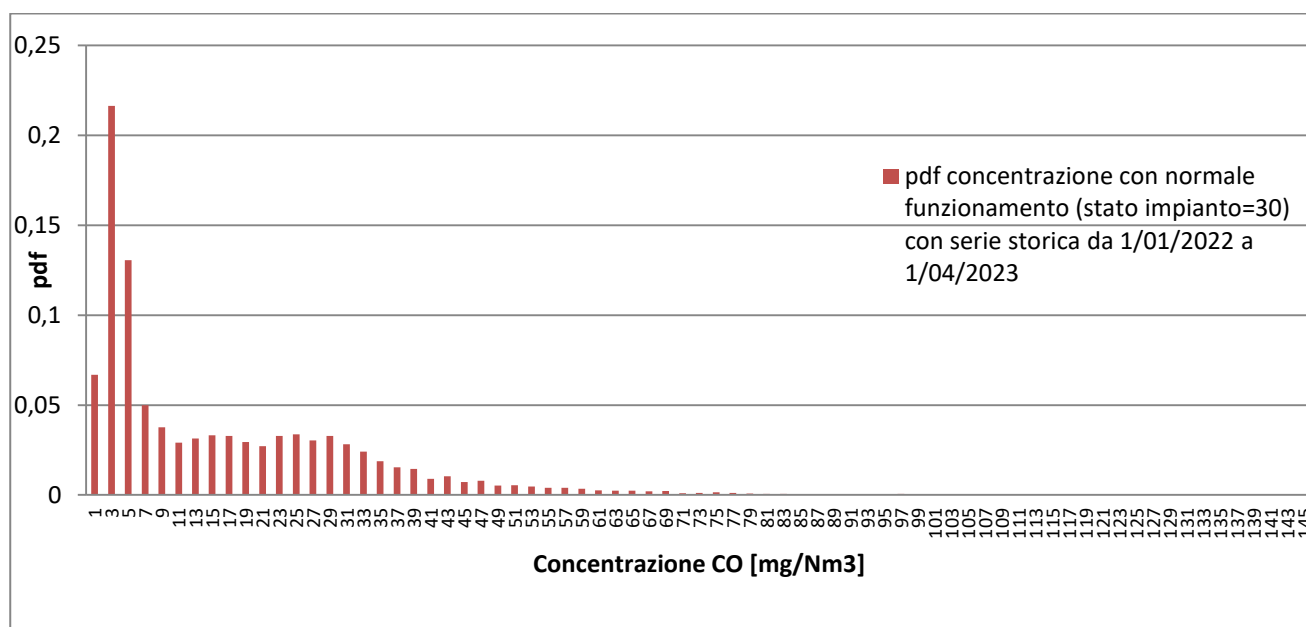


Figura 3: pdf delle concentrazioni di CO con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Per descrivere in modo accurato la stima, si assumerebbe in questo caso, in caso di indisponibilità, la media ponderata dei valori di concentrazione, considerando la specifica probabilità di occorrenza di un dato valore nella serie storica, con un bin nella costruzione dell'istogramma pari a 2 mg/Nm3, che identifica le classi fra il massimo ed il minimo dato storico, scorporato dei valori >145 mg/Nm3.

Attualmente il valore per la media ponderata è pari a 8,3 mg/Nm3, variabile con l'aggiornamento dello storico dei dati (a riguardo il dato di media ponderata verrà aggiornato di anno in anno).

1.2 COT: Carbonio Organico Totale

Il carbonio organico totale indica la quantità di carbonio totale presente nei fumi come carbonio organico e risulta essere un cruciale parametro emissivo in caso di combustione.

Da un'analisi preliminare dei dati, in normale funzionamento, la concentrazione si mal correla con la portata del gas ai bruciatori, nel periodo fra il 1/01/2023 ed il 1/04/2023.

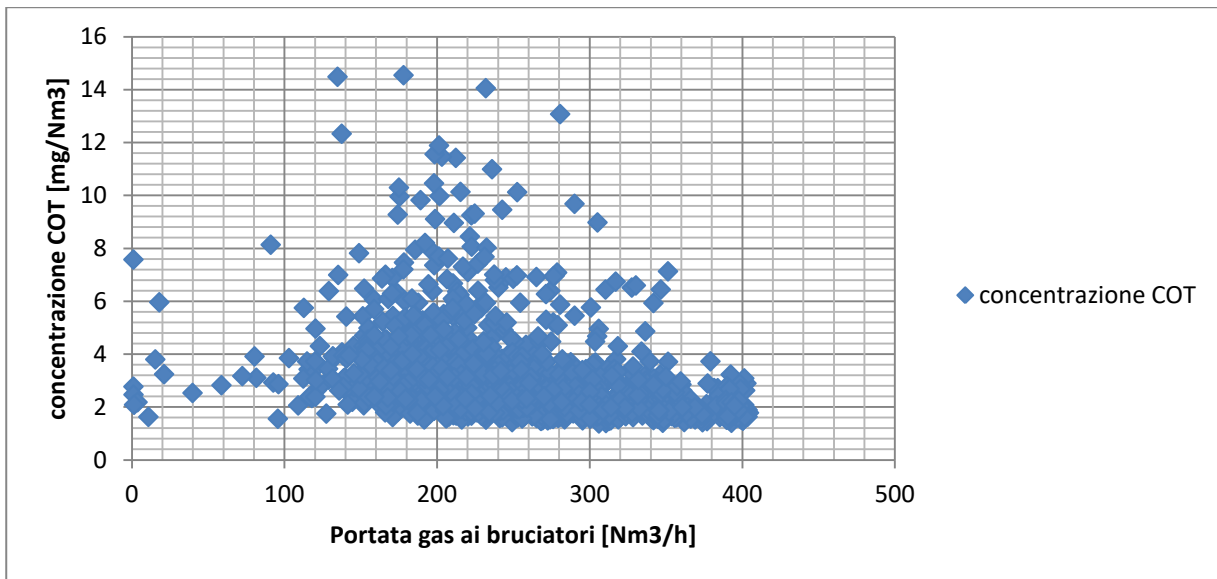


Figura 4: andamento della concentrazione del COT in funzione della portata di gas naturale al bruciatore con impianto a regime (stato impianto SME=30)

Con un fitting di un polinomio di sesto grado si ottiene infatti un R^2 pari a 0,13, dimostrando che la correlazione risulta molto debole.

In questo caso si è quindi considerata un'analisi statistica dei dati, condotta come nei precedenti casi, considerando una serie storica di medie orarie calcolate fra l'1/01/2022 e il 1/04/2023.

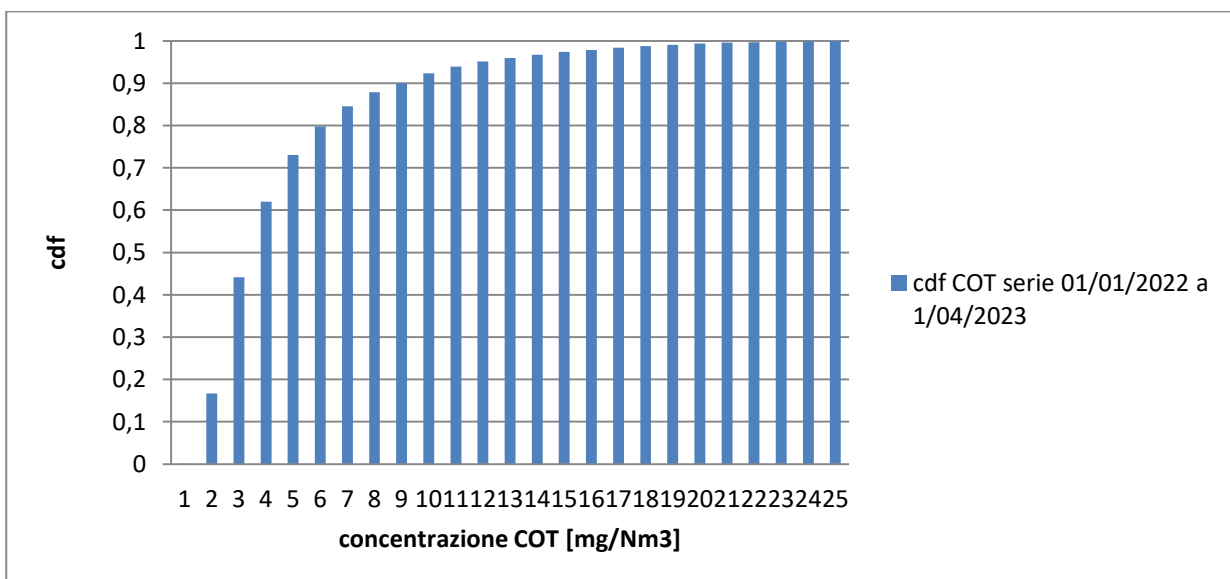


Figura 5: cdf della concentrazione di COT con impianto a regime (stato di impianto SME =30)

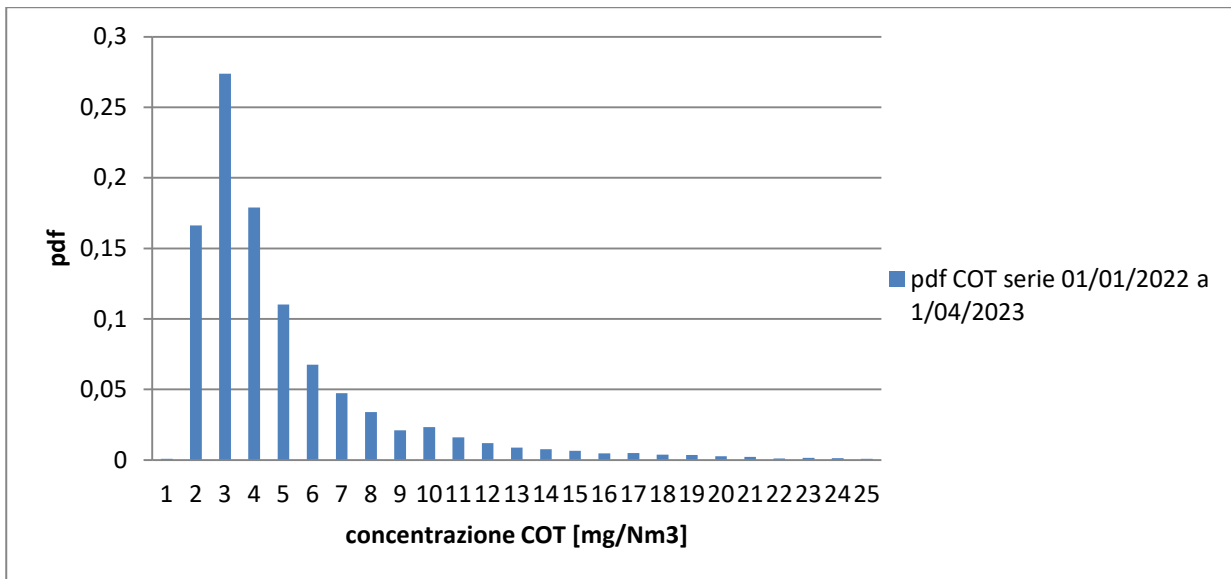


Figura 6: pdf della concentrazione del COT con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Come nel precedente caso la media ponderata ottenuta dal prodotto fra la probabilità di accadimento e la concentrazione risulta essere un parametro di stima adeguato alla serie di dati. In questo caso risulta pari a 4,5 mg/Nm3.

1.3 NOx: Ossidi di Azoto

Gli ossidi di azoto sono un altro inquinante di rilevante importanza, originate da processi di combustione.

Anche in questa circostanza si è considerato come parametro di impianto, al fine di determinare una correlazione, la portata di gas fra l'1/01/2023 e 1/04/2023.

Considerando lo storico dei valori di concentrazione, si sono esclusi i valori di NOx maggiori di 150 mg/Nm3, considerate anomalie mal descrittive di un comportamento ricorrente dell'emissione.

In caso di normale funzionamento (sto impianto SME=30) si è ricercata una correlazione dapprima con il fittaggio di un polinomio al dato disperso.

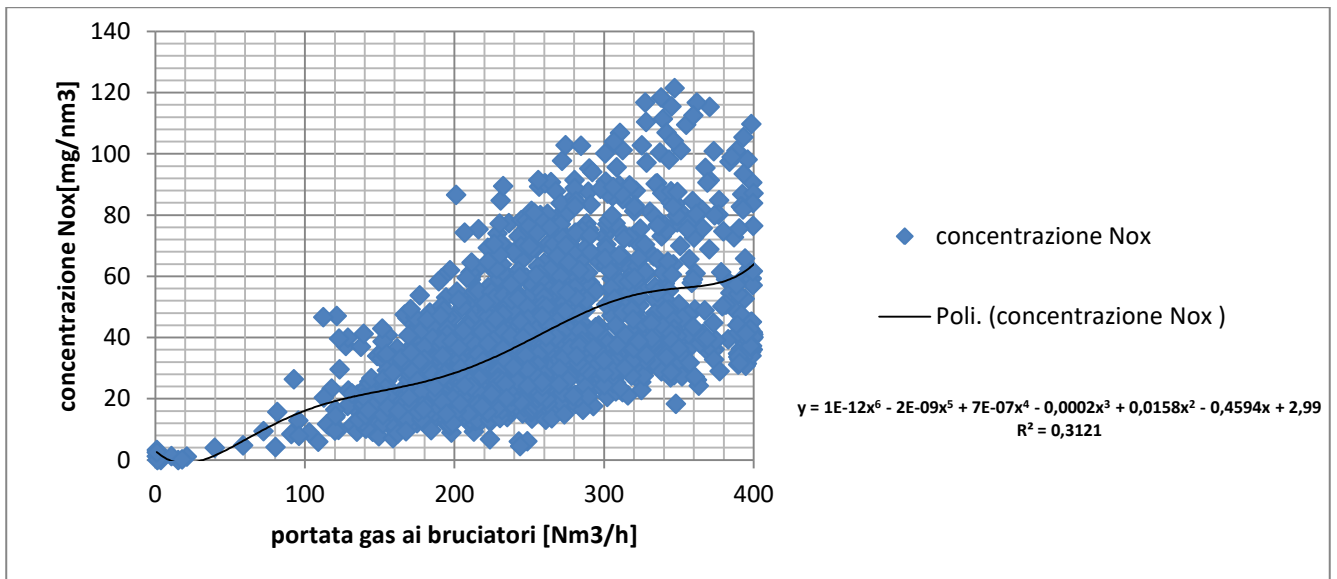


Figura 7: andamento delle concentrazioni di NOx in funzione della portata di gas ai bruciatori con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Come si evince dalla rappresentazione la correlazione è caratterizzata da un R2 pari a 0,31.

Anche in questo caso si discute circa eventualità di procedere con un approccio statistico alla lettura dei dati considerando un periodo maggiore che intercorre fra 1/01/2022 ed il 1/04/2023.

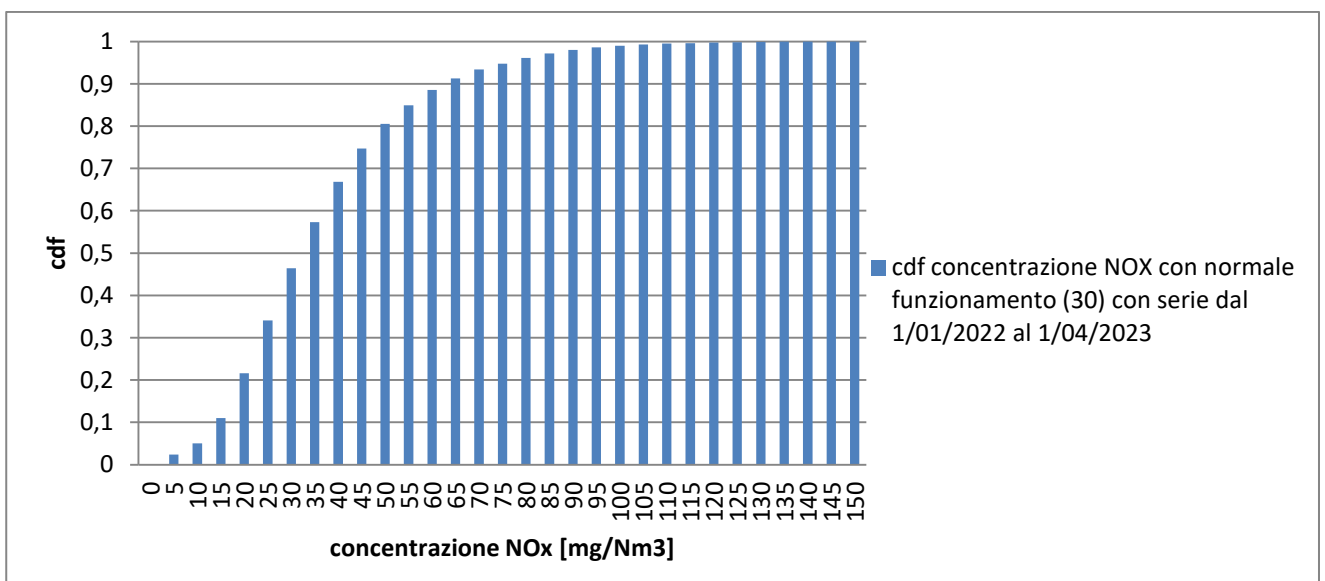


Figura 8: cdf delle concentrazioni di NOx con impianto a regime (stato impianto SME=30)

Il 98.6% dei casi rientra nel range che va fra 0 e 95 mg/Nm3.

Si è quindi passati alla costruzione di una probabilità density function (pdf) nello stesso periodo.

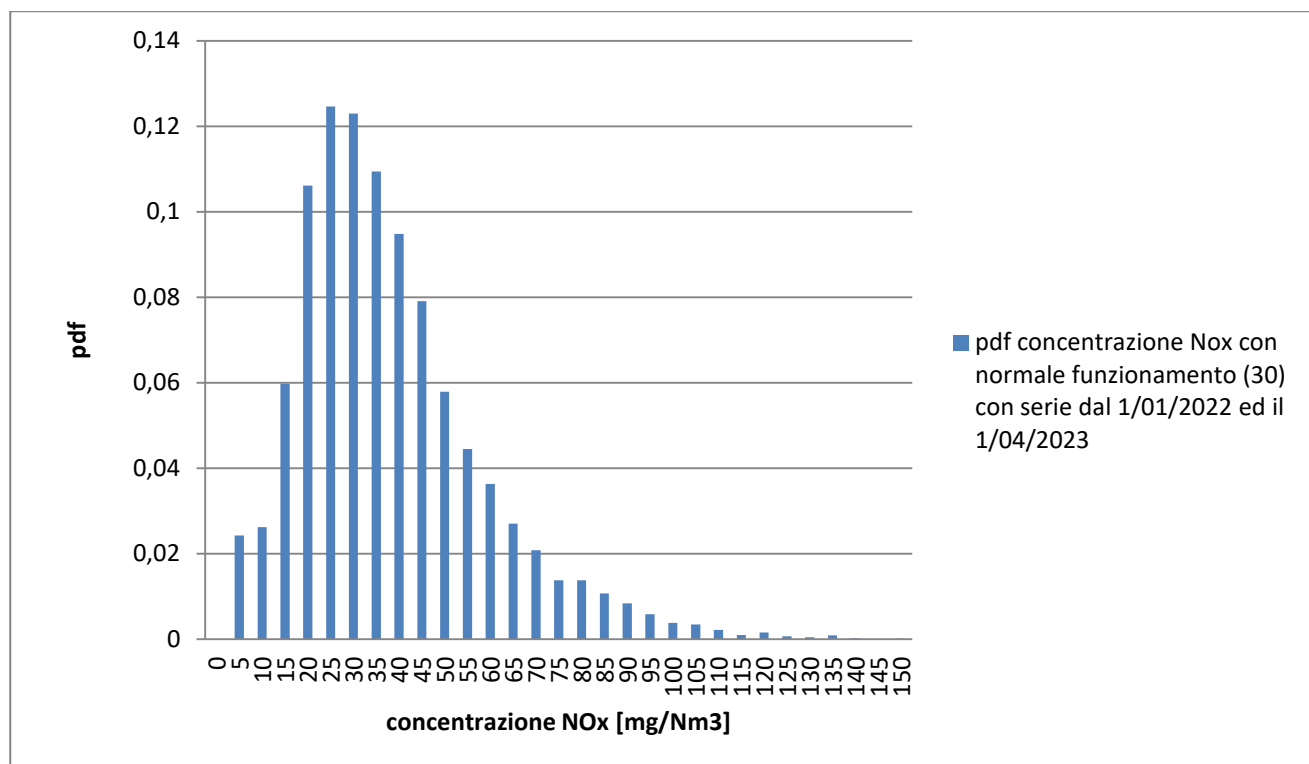


Figura 9: pdf delle concentrazioni di NOx con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Anche in questo si è considerata la media ponderata, pari a 35,5 mg/Nm³. In questo specifico caso la pdf è ben approssimata da una gaussiana, quindi l'utilizzo della media dell'anno precedente al fine di utilizzare una stima corretta potrebbe essere adeguatamente utilizzato.

1.4 SO₂: Anidride solforosa

L'anidride solforosa è legata principalmente alla combustione di carbone fossile e petrolio greggio per riscaldamento, produzione a livello industriale ed altri tipi di operazioni che prevedano tale processo, come prodotto di ossidazione dello zolfo.

Ruggeri Service SPA utilizza come gas combustibile il gas naturale, povero di impurità di zolfo, per questa ragione, una correlazione con la portata di gas risulta essere inadeguata alla finalità di stima di un dato sostitutivo in caso di indisponibilità. In questo caso si propone uno studio statistico dei valori ottenuti nel periodo fra il 1/01/2022 ed il 1/04/2023, ritenendo che lo studio statistico risulti in questo caso più idoneo alla valutazione.

I valori di concentrazione maggiori di 5 mg/Nm³ risultano essere lo 0,75%, per questa ragione sono stati esclusi, essendo considerati al fine dell'individuazione di una stima probabile outliers.

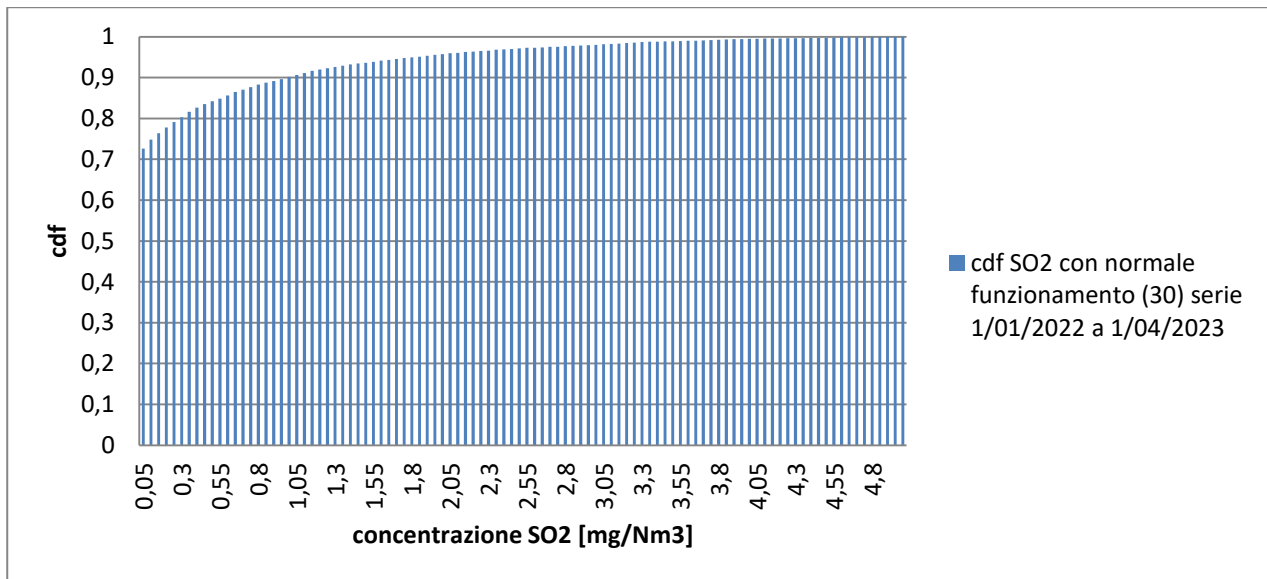


Figura 10: cdf delle concentrazioni di SO2 con impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Si può notare come i valori di concentrazione di SO2 minori di 0,2 mg/Nm3 rappresentino già il 78% di tutti i valori della serie, per questa ragione considerando la pdf si otterrà una media ponderata pari a 0,29 mg/Nm3 essendo i valori bassi estremamente più probabili.

In ottemperanza alla volontà di Ruggeri Service SPA di correlare il parametro emissivo a parametri di processo, si è realizzato uno studio aggiuntivo al fine di correlare l' SO2 alla più probabile sorgente.

Si consideri che Ruggeri Service Spa utilizza come materie prime rottami e materiale di riciclo pre-consumo, conforme al regolamento 333. E' prerogativa aziendale mantenere elevati standard qualitativi ed ambientali del prodotto finito, per questo un ulteriore selezione è operata mediante il nuovo impianto al fine di eliminare elementi estranei. Tenendo in considerazione quanto esposto, la materia prima risulta essere difficilmente contaminata da zolfo. Una dissertazione a parte è presentata in questo studio per il combustibile. Al forno fusorio si alimenta gas naturale, con la portata dello stesso ai bruciatori monitorata in continuo. Il gas naturale è povero di zolfo, tuttavia in accordo con la norma tecnica EN16726 è consentito avere una concentrazione massima di zolfo all'interno di questo combustibile pari a 30 mg/Sm3. Posto che l'intera quantità di zolfo venga ossidata ad SO2 e considerando il peso molecolare delle specie in gioco e le opportune conversioni si otterranno 56,9 mg SO2/Nm3 di gas. Moltiplicando dunque la media oraria della portata di gas ai bruciatori per i mg di SO2 in ogni Nm3 si otterrà la quantità di SO2 espressa in mg presente in tutta la portata di fumi al camino. Si supponga che lo Sme non sia in grado di restituire nemmeno i valori di portata dei fumi. Un'ipotesi conservativa è posta in tal caso, considerando una portata minima di fumi al camino pari a 80000 Nm3/h. Dividendo per questo valore si otterrà infine la concentrazione dell'SO2 al camino E1.

L'algoritmo implementerà dunque il seguente polinomio:

$$y = 56,9 * \frac{Q_{gasbruciatori}}{Q_{fumi}}$$

y = concentrazione SO₂ in mg/Nm³;

$Q_{\text{gasbruciatori}}$ = portata di gas ai bruciatori in Nm³;

Q_{fumi} = portata dei fumi che si ha in condizioni operative nell'impianto in Nm³ (in caso di indisponibilità della misura tale portata è posta pari a 80000 Nm³, al fine di porsi in condizioni cautelative).

1.5 Polveri

Anche nel caso delle polveri lo studio statistico risulta lo strumento più opportuno per approssciare la stima.

Per lo stato di normale funzionamento si è considerato un periodo fra l'1/01/2022 e l'1/04/2023.

Si è quindi ottenuta la cumulative density function considerando un bin pari a 0.01 mg/Nm³ ed un massimo rappresentativo pari a 2 mg/Nm³.

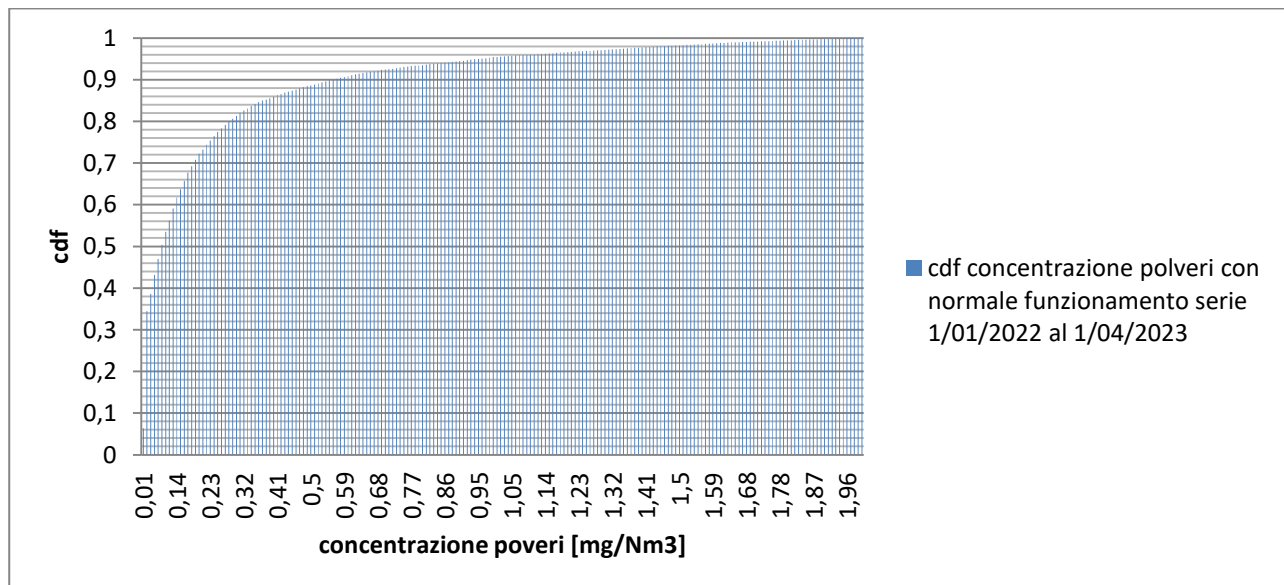


Figura 11: cdf delle concentrazioni delle polveri in caso di impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Si è ricostruita poi la pdf (probability density function).

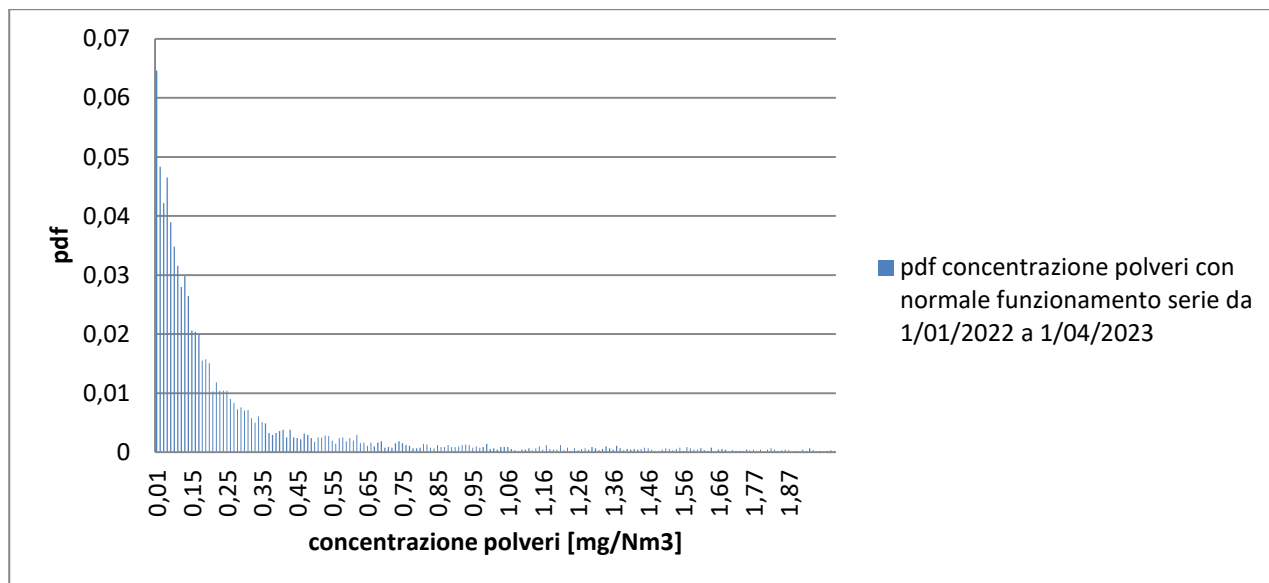


Figura 12: pdf delle concentrazioni delle polveri in caso di impianto a regime (stato di impianto SME=30)

Si è infine calcolata la media ponderata ottenendo un valore pari a 0,22 mg/Nm3.

2. Proposta di implementazione algoritmo per stima misure mancanti

NOx

- Stato impianto normale funzionamento (30 da stato impianto rilevato da SME, in accordo con nomenclatura del manuale di gestione rev.6)
 - Un polinomio di sesto grado con R2 pari a 0.31 fitta l'andamento della serie storica delle medie orarie delle concentrazioni in mg/Nm3 al variare del parametro di impianto della media oraria di portata gas ai bruciatori espressa in Nm3/h.

$$y = 1E-12x^6 - 2E-09x^5 + 7E-07x^4 - 0,0002x^3 + 0,0158x^2 - 0,4594x + 2,99$$

$$R^2 = 0,3121$$

- Alternativamente si può valutare l'implementazione di una stima basata sulla statistica, calcolando la media ponderata che evolve con la serie storica. Con il flag di stato impianto pari a 30, l'algoritmo conterà a che classe di concentrazione appartiene il dato valido acquisito, calcolando per ogni classe di concentrazione la probabilità di occorrenza nella serie storica. Acquisito questo dato la media ponderata verrà acquisita come stima facendo il prodotto fra la probabilità di occorrenza di ogni classe di concentrazione e il valore medio della classe. Ad esempio: avendo classi di concentrazione caratterizzate da un bin = 5 mg/Nm3 (Es. classi=[0-5; 5-10.; 10-15;...]) la media ponderata sarà calcolata considerando il prodotto fra il punto medio della classe e la probabilità di accadimento per quella classe(Es. classe[0-5], punto medio classe=2,5 , probabilità accadimento = n misure tot/n misure nella classe) e sommando i risultati ottenuti per ogni classe. A livello di algoritmo tale dato sarà considerato su base annuale.

CO

- Stato impianto normale funzionamento (30 da stato impianto rilevato da SME, in accordo con nomenclatura del manuale di gestione rev.6)
 - Un polinomio di sesto grado con R² pari a 0.36 fitta l'andamento della serie storica delle medie orarie delle concentrazioni in mg/Nm³ al variare del parametro di impianto della media oraria di portata gas ai bruciatori espressa in Nm³/h.

$$y = 6E-13x^6 - 9E-10x^5 + 6E-07x^4 - 0,0002x^3 + 0,0191x^2 - 0,7341x + 9,2738$$

$$R^2 = 0,3565$$

- Alternativamente si può valutare l'implementazione di una stima basata sulla statistica, calcolando la media ponderata che evolve con la serie storica, come discusso per il parametro Nox. In questo caso il bin per l'identificazione delle classi selezionato è pari a 1 mg/Nm³.

COT

- Stato impianto normale funzionamento (30 da stato impianto rilevato da SME, in accordo con nomenclatura del manuale di gestione rev.6)
 - In questo caso si considera la stima in accordo con l'analisi statistica dei dati utilizzando la media ponderata e bin per la definizione delle classi pari a 0,5 mg/Nm³.

SO₂

- Stato impianto normale funzionamento (30 da stato impianto rilevato da SME, in accordo con nomenclatura del manuale di gestione rev.6)
 - In questo caso si considera la stima come descritto nello specifico capitolo.

$$y = 56,9 * \frac{Q_{gasbruciatori}}{Q_{fumi}}$$

Polveri

- Stato impianto normale funzionamento (30 da stato impianto rilevato da SME, in accordo con nomenclatura del manuale di gestione rev.6)
 - In questo caso si considera la stima in accordo con l'analisi statistica dei dati utilizzando la media ponderata e bin pari a 0,01 mg/Nm³.

Tabella riepilogativa

Parametro emissivo	Stima della concentrazione [mg/Nm ³]
CO	8,3
COT	4,5
NOx	35,5
Polveri	0,29
SO ₂	0,22

3. Valori sostitutivi per parametri chimico fisici ed ausiliari

3.1 Temperatura fumi

La temperatura al camino dei fumi, risulta un importante parametro al fine di preservare l'ambiente circostante, immettendo in atmosfera fumi a temperature accettabile. A tal fine Ruggeri Service SPA propone al fine di garantire un valore sostitutivo in caso di malfunzionamento dello SME un algoritmo di stima che correla la temperatura dei fumi alla temperatura, in volta, del forno fusorio. La misura della temperatura in volta del forno fusorio è infatti disponibile in continuo.

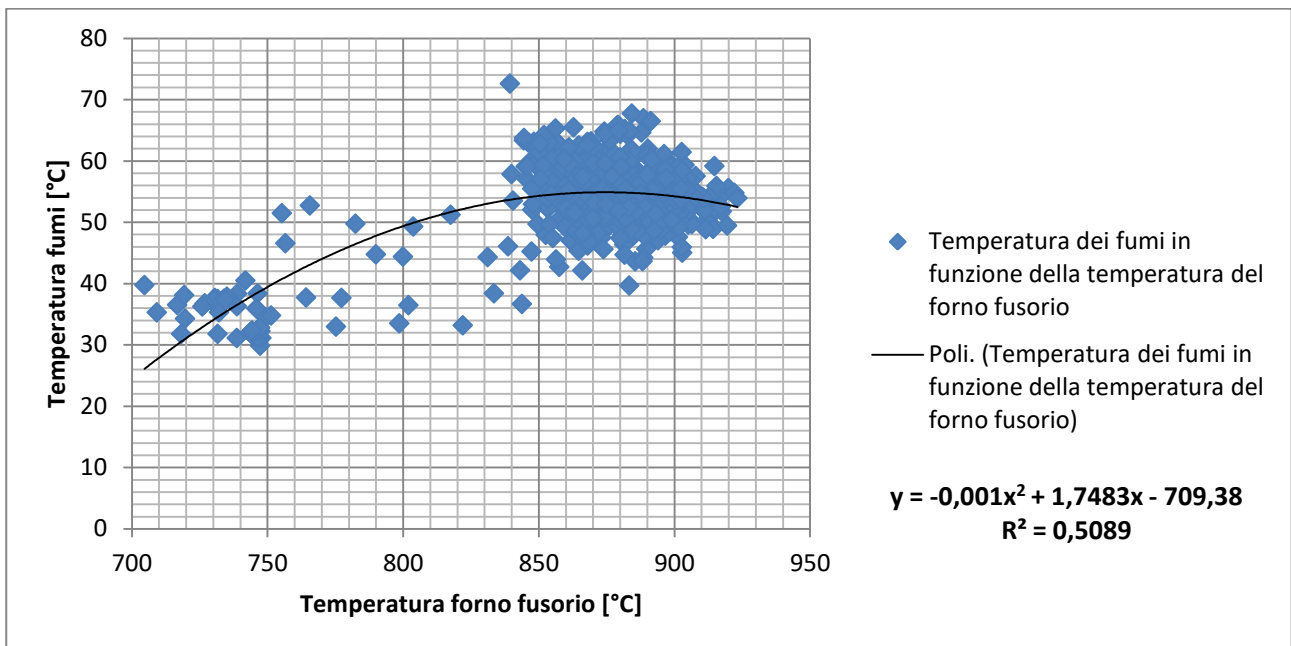


Figura 13: correlazione fra temperatura dei fumi e temperatura in volta del forno fusorio

3.2 Portata fumi

Il filtro presente presso Ruggeri Service SPA risulta avere un funzionamento fluidodinamicamente discontinuo. Durante la fase di carica del forno il ventilatore risulta girare ad una frequenza pari a 50 Hz con cappa di carica aperta. Diversamente, la frequenza a cui gira il ventilatore è pari a 25 Hz.

Considerando le premesse esplicitate, la portata dei fumi al camino, presso lo stabilimento, è univocamente correlato alla frequenza del ventilatore.

La portata dei fumi durante il normale funzionamento oscilla tra un valore massimo e minimo con la portata massima dei fumi di circa 160000 Nm³/h e la minima intorno agli 60000 Nm³/h, corrispondenti rispettivamente ad una frequenza di 50 Hz e 25 Hz.

La portata dei fumi può quindi essere ricostruita mediante una semplice relazione lineare con la frequenza del ventilatore.

$$y = 4000x - 40000$$

Con y = portata fumi in Nm³/h;

x = frequenza del ventilatore in Hz

La frequenza, attualmente consultabile mediante PLC, verrà acquisita in breve tempo presso lo stabilimento, al fine di garantire il monitoraggio in continuo del parametro di input.

3.3 Percentuale di ossigeno nei fumi

La percentuale di ossigeno nei fumi risulta essere correlata alla portata di gas al bruciatore. Questa correlazione risulta in effetti compatibile con il processo. Quanto si ha maggiore portata di gas al bruciatore infatti l'ossigeno presente nell'aria viene utilizzato come comburente, risultando un residuo di ossigeno nei fumi minore.

Considerando le medie orarie registrate presso l'impianto il range di variabilità del parametro ossigeno risulta essere fra il 19% ed il 21%.

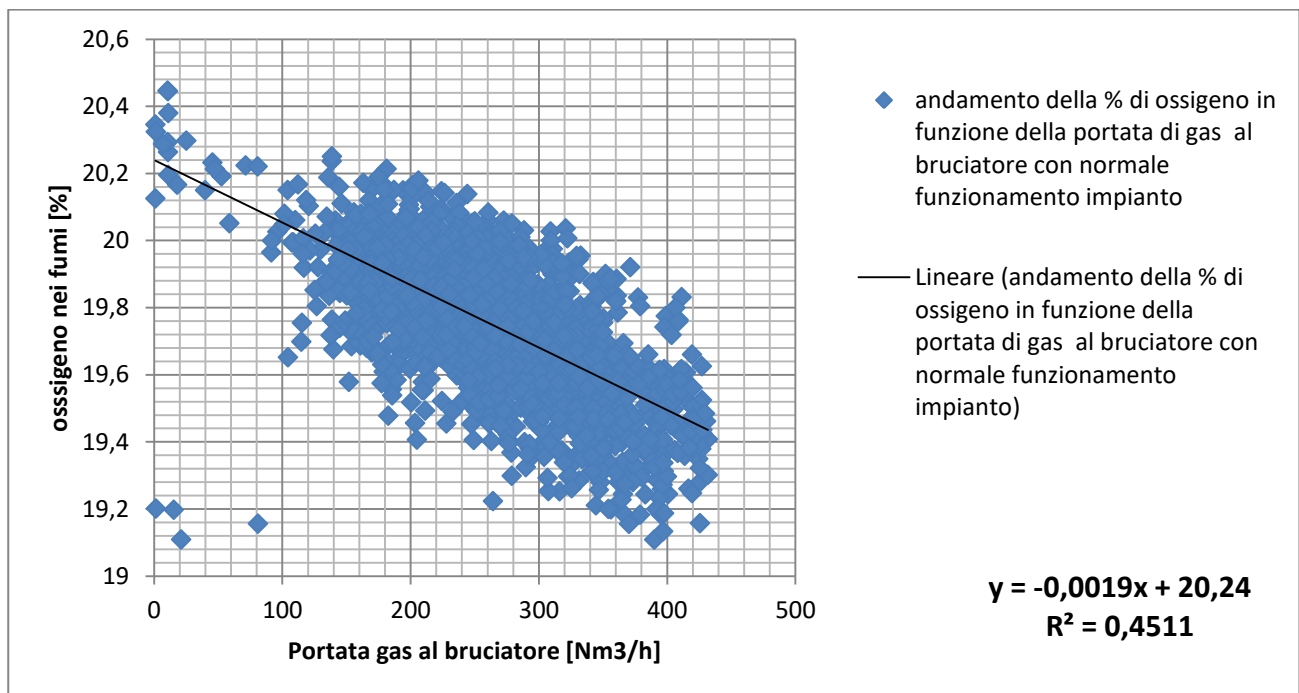


Figura 14: andamento della percentuale di ossigeno in funzione della portata del gas al bruciatore

4. Proposta di implementazione algoritmo per stima misure mancanti parametri ausiliari

✚ Temperatura fumi

- La misura in stato di normale funzionamento risulta correlata con la temperatura del forno fusorio, secondo un polinomio di secondo grado:

$$y = -0,001x^2 + 1,7483x - 709,38$$

$$R^2 = 0,5089$$

 **Portata fumi**

- La portata dei fumi in funzione della frequenza del ventilatore, da evidenze del dato storico risulta approssimata dalla seguente funzione, in relazione con la frequenza del ventilatore del filtro:

$$y = 4000x - 40000$$

 **Percentuale ossigeno nei fumi**

- La percentuale di ossigeno nei fumi si può correlare con la portata di gas ai bruciatori del forno fusorio, come descritto nella seguente relazione:

$$y = -0,0019x + 20,24$$

$$R^2 = 0,4511$$