Relazione elementi progettuali termodinamici e fluodinamici ed ambientali

Nuovo FORNO 1

Vetreria Etrusca – Altare (SV)

Sommario

1. Generalità 3
2. Forno 3
3. Camere di rigenerazione 4
4. Estrazione fumi e regolazione della pressione forno 5
5. Strutture forno e rigeneratori 5
6. Curve di funzionamento e consumi 6
7. Progettazione Low NOx 8

1. Generalità

Il presente documento è redatto da Stara Glass al fine di descrivere le caratteristiche principali rilevanti su aspetti di processo, di consumo energetico e di impatto ambientale del progetto del nuovo forno1 di tipo ***end-port*** *sito presso lo stabilimento di Altare (SV) di Vetreria Etrusca.*

2. Forno

Il forno è stato progettato per la produzione di vetro sodico-calcico di vario tipo in generale colorato, con un cavato massimo di 300 tpd.

Si tratta di un forno rigenerativo end-port con una superficie del bacino di fusione di 86 m2, con dimensioni in pianta di 12 x 7.2 m (rapporto lunghezza/larghezza 1.67). È previsto il posizionamento di un barrage a 3/4 della lunghezza del forno per agevolare i moti convettivi della massa vetrosa, mentre a valle è progettata una zona approfondita di affinamento in modo da favorire movimento della massa vetrosa "a pistone" al fine di aumentare il tempo minimo di residenza e garantire un buon livello di affinaggio anche ai cavati più elevati.

Allo stesso tempo il forno è provvisto di due sistemi boosting, uno in fusione ed uno in barriera, aventi lo scopo di migliorare la fusione e la qualità del vetro, oltre a ridurre il carico di apporto calore al vetro da parte della combustione.

Per consentire i livello qualitativi e produttivi del nuovo forno, sono stati utilizzati a riferimento i dimensionamenti analoghi al forno precedente; in particolare il flusso medio di calore dalla fiamma al bagno è di 71.4 Mcal/m2h e il tempo di stazionamento medio è di 24.8 h (con un tempo minimo di riferimento superiore alle 6 h)

Nei due dog-house, necessari per alimentare di materie prime un forno di queste dimensioni, saranno installate due infornatrici del tipo ad infornaggio "sigillato", per il miglior contenimento possibile nei confronti delle infiltrazioni di aria fredda e di perdite di fumi caldi in uscita dal forno.

La progettazione della camera di combustione, dei torrini e delle camere è stata realizzata per contenere al minimo la produzione di ossidi d'azoto. Le strutture di isolamento previste consentono di ridurre al minimo sostenibile le perdite di calore compatibilmente con le necessità di durata e resistenza alle usure delle strutture stesse.

3. Camere di rigenerazione

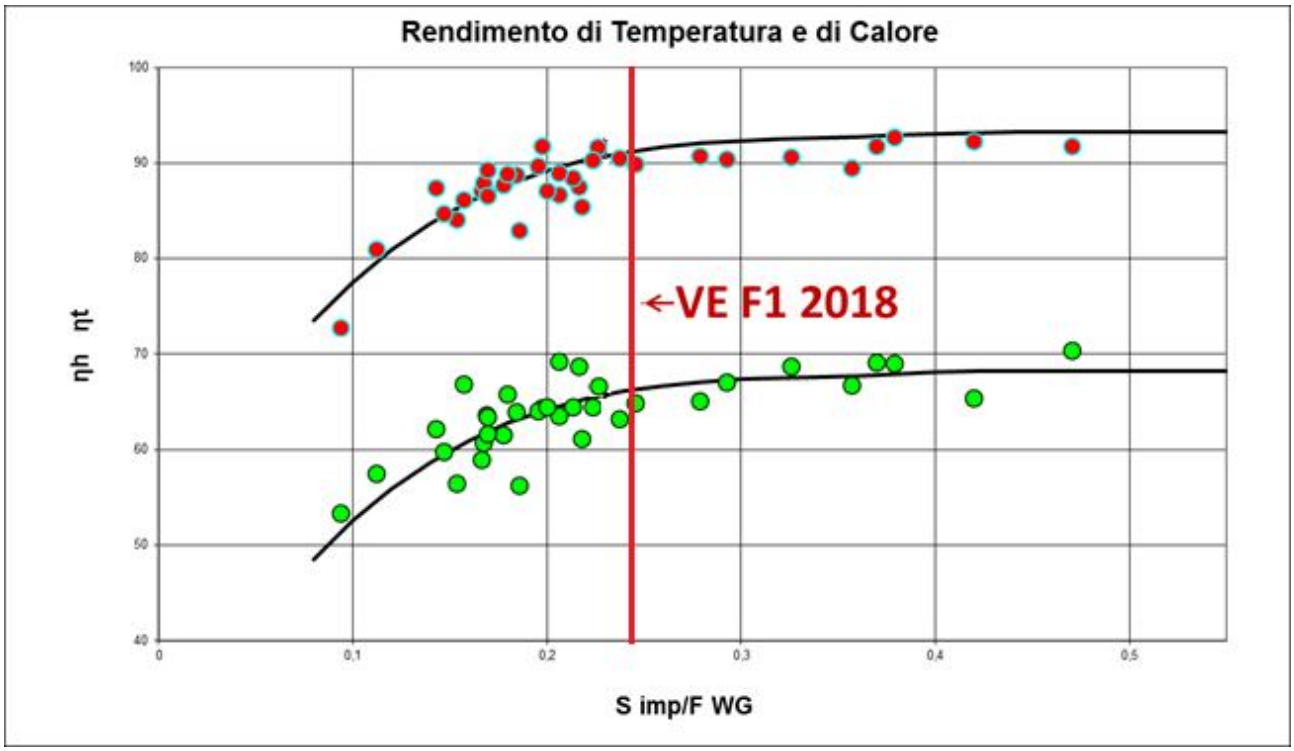
Le camere di rigenerazione, che costituiscono la struttura di recupero di calore dai fumi del forno, sono dimensionate sul massimo livello di cavato ipotizzabile (in funzione del quale sono previsti i massimi livelli di flusso di fumi esausti e aria di combustione) in modo da poter garantire il raggiungimento della temperatura di 1280°C minimo da parte dell'aria di combustione (nominale: 1300°C), in modo da contenere al minimo i consumi energetici e nello stesso tempo a garantire una temperatura di fiamma adatta a ottenere lo scambio termico necessario.

La dimensione interna delle camere è di 5170 x 4090 mm, per un'altezza d'impilaggio di 9625 mm con un riempimento in vasi così composto:

- 2 strati in Durital AZ58TS
- 18 strati in Anker DG1
- 35 strati in Rubinal EZ

La superficie di scambio generata (per ogni rigeneratore) è pari a 3486 m2.

Nel grafico seguente (riportante l'efficienza di recupero energetico di diversi forni della stessa tecnologia in funzione del carico dei fumi per unità di superficie di scambio) è posizionato il dimensionamento del nuovo forno 1 , nelle condizioni di massima produzione del forno (ove tale rapporto è minimo), evidenziando le condizioni di alte prestazioni di recupero.



4. Estrazione fumi e regolazione della pressione forno

La corretta regolazione del livello e stabilità della pressione del forno, consente di mantenere il controllo sui flussi di ingresso (infiltrazioni di aria) e di uscita (perdite di fumi), aventi impatto sia sulle prestazioni energetiche che ambientali-

La misura della pressione interna al forno è effettuata per mezzo di punti di prelievo posti in sovrastruttura in posizione adiacente al muro della gola e viene regolata da una valvola posta sul condotto di estrazione dei fumi a valle della confluenza tra i due bracci provenienti dal sistema rigenerativo.

5. Strutture forno e rigeneratori

Il dimensionamento delle strutture è conforme con i più elevati standard di qualità Stara Glass, e così la scelta dei materiali verificati attraverso le loro proprietà alle temperature di esercizio.

Si è scelto di mantenere i giunti aperti nell'isolamento della palizzata per garantire una superiore aspettativa di vita dell'impianto, e di coibentare nel modo più performante possibile la sovrastruttura, con particolare attenzione alla riduzione dei ponti termici (responsabili normalmente di elevate dissipazioni energetiche).

Si riporta nella seguente tabella il riassunto dei calcoli delle dispersioni termiche previste per l'impianto.

Cliente	V. Etrusca
Forno	1

Zona	Mcal/h	kW
Bacino	591	687
Ponti termici bacino	707	822
Totale bacino	*1298*	*1510*
Torrino aria	41	47
Ponti termici t.a.	15	17
Totale t.a.	*55*	*65*
Torrino fumi	64	75
Ponti termici t.f	18	21
totale t.f.	*82*	*96*
Camera aria	181	210
Ponti termici c.a.	29	34
totale c.a.	*210*	*244*
Camera fumi	306	356
Ponti termici c.f	35	41
totale c.f.	*342*	*397*
	Totale	*Totale*
	1987	*2311*

Zona	Struttura	Sp. [mm]	Sup. [m2]	q [kcal/m2h]	q [W/m2]	Q [kcal/h]	Q [W]	Ti [°C]	Te [°C]	Strati	Hc
Bacino	Suola	770	104,67	590	686	61744	71795	1400	20	6	4
Bacino	Suola deep	770	9,63	590	686	5678	6602	1400	20	6	4
Bacino	Palizzata libera	250	9,00	16261	18908	146283	170095	1500	20	1	##
Bacino	Palizzata bassa	535	27,18	1354	1574	36804	42795	1450	20	6	20
Bacino	Palizzata alta	495	9,51	1439	1674	13695	15924	1470	20	5	20
Bacino	Palizzata deep bassa	535	10,56	1354	1574	14297	16624	1450	20	6	20
Bacino	Palizzata deep alta	495	3,08	1439	1674	4433	5155	1470	20	5	20
Bacino	DH palizzata	435	19,69	3933	4573	77432	90036	1450	20	5	20
Bacino	Sovrastruttura laterale	605	41,60	863	1003	35883	41724	1550	20	7	20
Bacino	Sovrastruttura muro gola	605	23,97	863	1003	20675	24040	1550	20	7	20
Bacino	Sovrastruttura muro torrini	450	16,54	1725	2006	28529	33173	1550	20	6	20
Bacino	Zona bruciatori	565	1,32	2163	2515	2855	3319	1500	20	4	20
Bacino	Volta bacino	719	118,87	1201	1397	142813	166060	1560	20	5	20
Torrino aria	Torrino aria - suola lato camere	288	4,52	2608	3033	11798	13719	1250	20	7	20
Torrino aria	Torrino aria - suola lato forno	191	1,85	6339	7371	11756	13669	1250	20	5	20
Torrino aria	Torrino aria - pareti laterali	440	8,28	1225	1425	10147	11798	1250	20	6	20
Torrino aria	Torrino aria - volta	573	7,02	983	1143	6895	8017	1250	20	7	20
Torrino fumi	Torrino fumi - suola lato camere	495	4,52	4120	4790	18634	21668	1550	20	4	20
Torrino fumi	Torrino fumi - suola lato forno	250	1,85	9829	11429	18229	21196	1550	20	4	20
Torrino fumi	Torrino fumi - pareti laterali	385	8,28	2023	2353	16754	19481	1550	20	3	20
Torrino fumi	Torrino fumi - volta	460	7,02	1511	1757	10603	12328	1550	20	4	20
Camera aria	Camera aria - volta	640	30,75	870	1011	26746	31100	1250	20	5	20
Camera aria	Camera aria - muro torrini	625	22,46	1557	1810	34961	40651	1250	20	4	20
Camera aria	Camera aria - pareti alte	625	40,02	1557	1810	62296	72437	1250	20	4	20
Camera aria	Camera aria - pareti medie	655	61,54	542	630	33344	38772	900	20	5	20
Camera aria	Camera aria - pareti basse	655	85,51	259	301	22166	25774	400	20	4	20
Camera aria	Camera aria - sotto	655	6,16	187	218	1153	1340	300	20	4	20
Camera fumi	Camera fumi - volta	640	30,75	1345	1564	41352	48083	1550	20	5	20
Camera fumi	Camera fumi - muro torrini	625	22,46	2501	2908	56155	65296	1550	20	4	20
Camera fumi	Camera fumi - pareti alte	625	40,02	2501	2908	100063	116351	1550	20	4	20
Camera fumi	Camera fumi - pareti medie	655	61,54	921	1071	56696	65925	1200	20	5	20
Camera fumi	Camera fumi - pareti basse	655	85,51	571	664	48804	56748	700	20	4	20
Camera fumi	Camera fumi - sotto	655	6,16	478	556	2942	3420	600	20	4	20

TLE - Thermal Loss Express

© Copyright 2014 - 2017 Stara Glass. All rights reserved.

6. Curve di funzionamento e consumi

Nel seguente prospetto è riportato per esteso il bilancio termico preventivo del nuovo forno, nel quale sono evidenziati i dati di processo (in condizioni di massimo cavato) e sono calcolati i dati di flussi e consumi.

Azienda Forno	V. Etrusca F1
Dati principali	
Cavato [t/giorno]	300
Superficie bacino [m2]	86
Boosting [kW]	1200
Rottame %	60
Cavato specifico [t/m2giorno]	3,49
Temperatura aria preriscaldata [°C]	1300
Temperatura vetro nella gola [°C]	1400
Temperatura uscita fumi [°C]	1530
Eccesso O2 al torrino [%]	1,5
Temperatura ambiente [°C]	25
Umidità della miscela %	1,5
Combustibile: CH4=1; Olio=2; CH4-Oxy=3	1
Hi [kcal/Sm3]	8200

GFS - Glass Furnace Simulator
© Copyright 2014 - 2017 Stara Glass. All rights reserved.

Bilancio termico				
Calore entrante	kcal/kg	GJ/ton	Gcal/h	%
Combustibile	789	3,303	9,861	89,7
Energia elettrica	83	0,346	1,032	9,4
Aria	8	0,032	0,095	0,9
Calore entrante totale	**879**	**3,680**	**10,988**	**100,0**
Calore uscente				
Vetro	447	1,873	5,592	50,9
Reazioni chimiche	56	0,236	0,704	6,4
Evaporazione H2O	10	0,041	0,121	1,1
Fumi e leakage	202	0,845	2,522	23,0
Buchi	7	0,028	0,082	0,8
Dispersioni	157	0,658	1,966	17,9
Calore uscente totale	**879**	**3,680**	**10,988**	**100,0**
Combustibile [Sm3/h]	1202,6			
[Nm3/h]	1140,0			
Consumo specifico [kcal/kg]	871	± 3%		
Consumo specifico [GJ/ton]	3,65	± 3%		

Nella seguente tabella e nei relativi grafici vengono riportate le curve di consumo dell'impianto, con un utilizzo del boosting elettrico che viene utilizzato in dipendenza dal cavato in modo da contenere ai più elevati cavati il livello di calore specifico in ingresso dalla camera di combustione. In questi calcoli viene considerato un uso costante del 60% di rottame (percentuali maggiori di tale parametro corrisponderanno consumi inferiori).

L'apporto di boosting elettrico è gestito in modo flessibile, in funzione delle necessità. Un maggiore utilizzo di boosting permette un aumento del cavato a parità di livello qualitativo ma, a fronte di una riduzione del consumo specifico, induce un aumento dei costi di produzione.

Ai cavati più bassi dove l'afflusso di calore dal top della camera di combustione è sufficiente a garantire la qualità attesa si può prevedere un utilizzo nullo di Boosting elettrico.

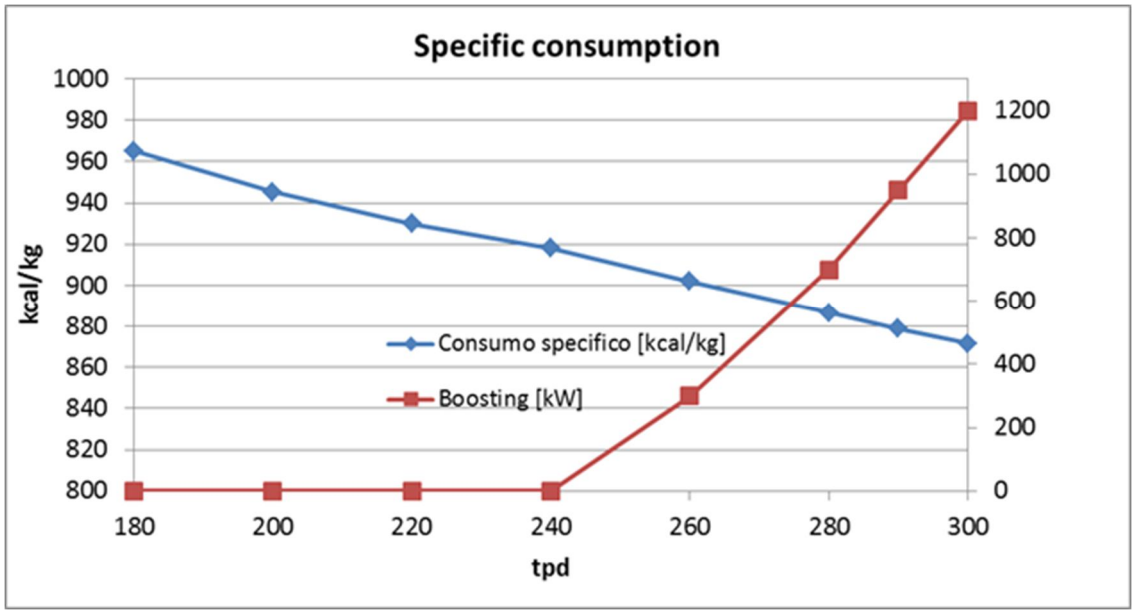
Nella seguente tabella sono riportati, al variare del cavato, i calcoli relativi a:

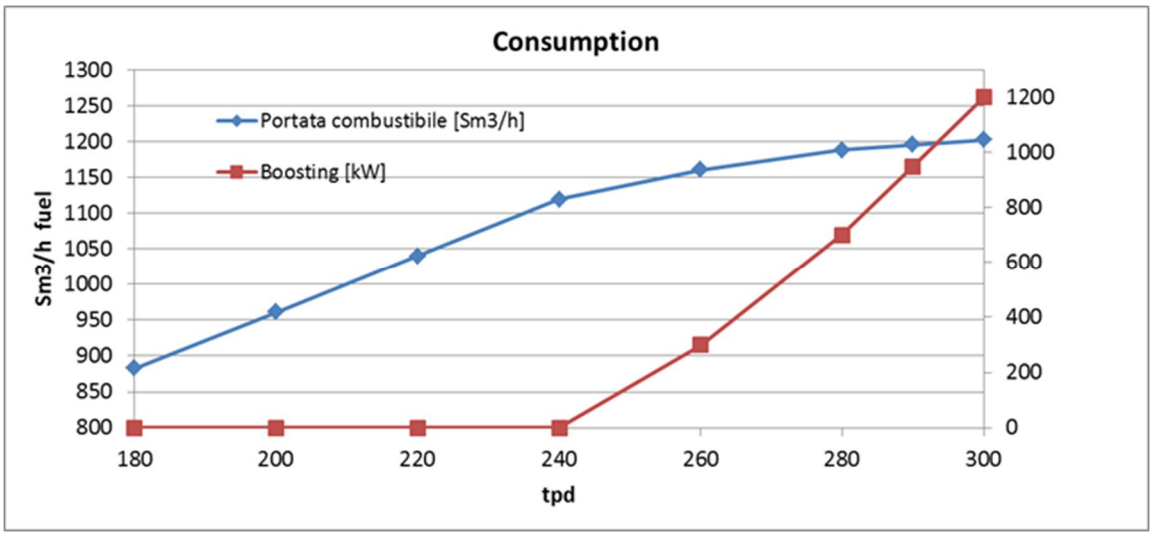
- Utilizzo boosting
- Consumo gas naturale
- Q utile specifico (calore da combustione al bagno vetro)
- Tempo di residenza (medio e minimo)
- Portata nominale aria comburente (per eccesso O2 secco al torrino del 1,5%)
- Portata fumi nominale (al top impilaggio con eccesso O2 secco del 1,7% e T approx 1450 °C)

GFS - Glass Furnace Simulator - © Copyright 2014 - 2017 Stara Glass. All rights reserved.

Cavato [t/giorno]	Boosting [kW]	Rottame %	Temperatura vetro nella gola [°C]	Temperatura aria preriscaldata [°C]	Umidità della miscela %	Consumo specifico [kcal/kg]	Portata combustibile [Sm3/h]	Q utile specifico [Mcal/m2h]	Tempo di residenza medio vetro [h]	Tempo di residenza minimo (stima) [h]	Aria [Sm3/h]	Fumi ingresso impilaggio - 1,7 %O2 [Sm3/h]
180	0	60	1400	1300	1,5	965	883	53,4	42	10,2	8934	10675
200	0	60	1400	1300	1,5	945	961	58,4	38	9,2	9754	11625
220	0	60	1400	1300	1,5	930	1040	63,4	35	8,3	10584	12586
240	0	60	1400	1300	1,5	918	1120	68,4	32	7,6	11425	13560
260	300	60	1400	1300	1,5	902	1160	70,3	29	7,0	11855	14082
280	700	60	1400	1300	1,5	887	1188	71,3	27	6,5	12149	14456
290	950	60	1400	1300	1,5	879	1195	71,3	26	6,3	12227	14567
300	1200	60	1400	1300	1,5	871	1203	71,4	25	6,1	12305	14679

Nei seguenti grafici sono riportati i valori di consumo energetico della tabella di cui sopra.





7. Progettazione Low NOx

L'alta produzione di NOx di una combustione diffusiva ad altissima temperatura (il forno lavora a Temperature superiori a 1550 °C con temperature di fiamma superiori ai 1750 °C) è un fenomeno inevitabile, che può essere contenuto con la messa in atto di diversi accorgimenti progettuali ed impiantistici.

Per il nuovo forno 1 di Etrusca, rispetto al forno attualmente in marcia, sono state previste le seguenti modifiche.

1) **Camera combustione**
   L'altezza della camera di combustione è stata aumentata di 200 mm, rispetto alla attuale, in modo da diminuire l'intensità energetica all'interno e, di conseguenza, la produzione di NOx.
   La densità di combustione volumetrica passa da 43.2 Mcal/m3h (forno attuale) a 39.5 Mcal/m3h (forno nuovo) con una riduzione di circa 8,6%, mentre la densità di combustione superficiale (per le strategie di dimensionamento del bacino) passa da 123.9 Mcal/m2h a 116.8 Mcal/m2h, con una riduzione di circa il 5.7%.
   Il calore utile specifico sviluppato è invece analogo a quello del precedente impianto poiché, essendo il principale indicatore della qualità del vetro, è stato mantenuto in fase progettuale.

2) **Geometria torrino**
   I torrini sono responsabili dell'afferimento dell'aria di combustione e della evacuazione dei fumi del forno, e quindi della fluidodinamica della combustione.
   Per il nuovo forno1 i torrini sono stati progettati con criteri low-NOx noti a Stara Glass e suggeriti dal produttore di bruciatori, con modifiche delle loro dimensioni e inclinazioni, per renderli atti a completare al meglio la post-combustione.
   I parametri geometrici significativi ed impattanti (sulle dimensioni e geometria di propagazione della fiamma) sono:
   - larghezza interna (nel caso specifico pari a 2200 mm)
   - distanza fra le pareti interne dei torrini (nel caso specifico pari a 1700 mm)
   - distanza fra le pareti esterne dei torrini e pareti laterali forno (nel caso specifico pari a 800 mm)
   - altezza minima di passaggio (nel caso specifico pari a 600 mm, per assicurare valori ideali delle velocità di aria di combustione (circa 10 m/s) e fumi in scarico (circa 14 m/s) nelle condizioni di progetto
   - inclinazione orizzontale torrini rispetto all'asse forno (nel caso specifico pari a 5°)
   - inclinazione verticale suola del torrino (nel caso specifico pari a 10°)
   - inclinazione verticale volta del torrino (nel caso specifico pari a 20°)

3) Parete bruciatori

Modifica dell'altezza della linea bruciatori rispetto al bagno di vetro , in relazione alle dimensioni e geometrie del torrino, per consentire la migliore miscelazione tra gas ed aria comburente.

Nel caso specifico tale misura è stata incrementata a 500 mm.

4) Tecnologia bruciatori

Adozione dei bruciatori low-NOx dual-impulse.

Con tale tecnologia la portata di gas combustibile può essere ripartita in due flussi distinti operanti a diverse velocità:

- Flusso centrale (geometria ugello circolare) ad alta velocità
- Flusso periferico (geometria ugello anulare) a bassa velocità

Con la gestione flessibile dei due flussi, si agisce sulla progressività di compenetrazione del flusso del gas nel flusso di aria comburente, configurando un effetto combustione a stadi.

5) Misurazione continua eccesso ossigeno nei fumi (sonda Lambda)

E' noto che il livello di ossidazione della fiamma ha rilevante influenza sulla produzione di ossidi di azoto (in particolare all'aumento della ossidazione si ha un incremento della emissione).

Per tale ragione, è fondamentale tenere controllato (ed al livello minimo possibile) in modo continuativo il livello di ossidazione della fiamma, che viene identificato con il tenore di ossigeno in eccesso presente nei fumi di combustione.

Per consentire il monitoraggio e controllo continuo della ossidazione della fiamma, sulla volta di entrambi i rigeneratori, è previsto l'inserimento di un misuratore (sonda Lambda) di eccesso di ossigeno nei fumi in uscita dal forno.

Tale misurazione continua consente di impostare il tenore di ossigeno al valore minimo possibile compatibile con le necessità di produzione e di evidenziare in tempo reale eventuali necessità di regolazione dei parametri della combustione.

Con le modifiche progettuali ed impiantistiche sopra identificate, con una attenta messa a punto e controllo del processo di combustione, il livello di emissione atteso di NOx è inferiore ai 700 mg/Nm3 (8% O2 secco).