

Processi di ottimizzazione nei cicli di recupero del rottame di vetro - il macinato di KPS GLASS

Alessio Bonetto, Piero Daminato

Introduzione

Nel 2011 il riciclo del vetro ha raggiunto la cifra di 2.052 Kton di materiale recuperato, con un incremento del 6% rispetto all'anno precedente. I settori del recupero sono vari, ovviamente il comparto più importante è quello dell'industria del vetro cavo che assorbe il 75% dei flussi del riciclato, seguono altri settori vetrari, il settore ceramico e quello edile (L'Italia del Riciclo 2012). Il più facile approvvigionamento di materiale riciclato, dovuto all'incremento delle raccolte differenziate, una maggior instabilità dei mercati della materie prime e soprattutto il risparmio energetico (nell'ordine del 20-30%) conseguente, hanno portato ad un aumento della richiesta dell'industria, pur con gli alti e bassi derivanti dalla crisi economica globale. Ciò ha portato di contro anche una richiesta più stringente in termini di caratteristiche qualitative sul materiale da parte dei comparti industriali. Questo ha reso necessaria un'implementazione dei cicli impiantistici di recupero. Ciò ha scaturito l'insorgenza, nei processi di produzione di vetro pronto forno, di un flusso secondario di granulometria inferiore ai 10mm, che viene il più delle volte volutamente rimosso, in quanto la tecnologia esistente non garantisce da questo l'eliminazione delle impurità, in particolare delle frazioni refrattarie, in quantità sufficienti da garantire il rispetto dei parametri richiesti dall'industria vetraria. Implementazioni tecnologiche nel settore delle selezionatrici ottiche hanno permesso di ridurre la pezzatura di tale flusso, ma non ovviamente di eliminarlo. La presenza di tale tipologia di flusso è diventata ancora più evidente a seguito dell'entrata in vigore del regolamento UE 1179/12, il così detto 'End of Waste' (EoW) del Vetro, che stabilisce i parametri minimi perché il rottame di vetro riciclato sia re-immessibile nell'industria vetraria e superan-

do così la norma italiana, per tale filiera, rappresentata dal D.M. 05-02-1998 e fissando vincoli precisi sulla qualità della varie classi granulometriche.

Unitamente a tale aspetto, l'incremento di elementi estranei, la maggior frammentazione del rottame di partenza, in particolare nei casi di metodiche "porta a porta", ha sia incrementato il fenomeno di cui sopra (L'Italia del Riciclo 2012), sia fatto riscontrare anche la presenza di impurità 'leggere' quali plastiche e altro, di pezzatura ridotta, in tali flussi (Bonetto, 2012). Poiché, da un punto di vista quantitativo, ormai tali flussi non sono più secondari e i costi di gestione nemmeno, l'esigenza di cicli a questi dedicati è diventata sempre più pressante.

In particolare, i settori di maggior reimpiego sono quelli edili, per l'utilizzo in sottofondi o opere in ingegneria stradale, secondo quanto stabilito dalle norme vigenti D.M. 05-02-1998, DLgs 152/06 e dalla circolare del Ministero dell'Ambiente n. 5205 del 15-07-2005. Tali legislazioni fissano regole stringenti e si rifanno anche a norme UNI (ad esempio la UNI EN 13242-2008) per il riutilizzo in tali settori di questi materiali. Nel campo dei cementi, esiste una ampia casistica di studio delle possibilità offerte da materiali derivanti dal ciclo di recupero del rottame di vetro, quali additivi o sostitutivi nei cicli di produzione delle materie cementizie, in particolare per verificarne le problematiche connesse all'interazione con l'acqua, alla resistenza agli sforzi e ai processi di maturazione/invecchiamento (International Conference "Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste", Kingston University, London (UK) - 2004 - Bignozzi et alii - 2004). Il reimpiego nel settore edile ha avuto un sensibile aumento dal 2008 in poi, in calo nel biennio 2011-12 per il ristagno economico del settore.

Si hanno poi esperienze di micronizzazione degli stessi a pezzature di 900 micron per il settore degli abrasivi oppure di reimpiego nel campo degli asfalti e cementi per la produzione di manufatti e manti stradali riflettenti, o nel campo dei calcestruzzi per la produzione di miscele fonoassorbenti e anche, in particolare nel Nord Europa, nel campo degli isolanti termici con la produzione di "schiuma di vetro" (L'Italia del Riciclo 2012).

Il presente articolo raccoglie l'esperienza maturata in **Eco-Ricicli Veritas srl**, azienda operante nel settore raccolte differenziate - recupero materiali, nell'ambito della gestione di questi flussi secondari derivanti dalla produzione di VPF (che ERV svolge tramite proprio impianto) ai fini di una ottimizzazione dei processi di recupero materia e implementazione delle performance di recupero materia dalle raccolte differenziate.

Il processo di produzione di vetro pronto forno (VPF) effettuato presso gli impianti di recupero rotame di vetro di ERV produce, come già detto, un flusso parallelo di materiale costituito da rottame di vetro fine (<10mm), e da inerti, refrattari, vetro scuro, vetro in generale, materiale plastico, derivante dai processi di vagliatura granulometrica e selezione ottica detto Inerte KPS (Keramish, Porzelain, Steine dal tedesco Ceramica, Porcellana, Lapidei).

Si riscontra, quindi, una certa eterogeneità granulometrica e merceologica, che rendono difficilmente trattabile il materiale tal quale in un ciclo di recupero. Perciò si è progettato e realizzato un adeguato processo di selezione/raffinazione/omogeneizzazione al fine di produrre dei flussi di materiale omogeneo e con caratteristiche costanti, permettendo così un'ottimizzazione vera nei cicli di recupero.



Figura 1. Inerte KPS

Ovviamente, essendo tale processo un trattamento squisitamente fisico, è necessaria un attento controllo delle caratteristiche chimiche dei flussi in input e soprattutto in output (test di cessione ai sensi dell'allegato n. 3, DM 05-02-1998 e s.m.i. - in particolare il DM 186/2006) per garantire che il materiale cessi di essere considerato nell'ambito della normativa sui rifiuti.

Nel presente studio si presentano i test condotti sui lotti conformi ai fini di valutarne le caratteristiche geomeccaniche e i possibili reimpieghi in tali ambiti.

Descrizione del ciclo impiantistico

Il processo, che si caratterizza per essere completamente a secco, diversamente dalla stragrande maggioranza dei processi di trattamento di materiali inerti e similari, per sommi capi, dopo varie modifiche e sperimentazioni, prevede che i materiali, divisi per partite omogenee, stoccati e caratterizzati separatamente (Figura 1), siano caricati nell'impianto ERV, dopo aver subito un processo di rimozione di eventuali frazioni metalliche ferro-magnetiche, successivamente sono sottoposti a vagliatura granulometrica: da qui da una parte del materiale compreso in un intervallo granulometrico definito, è avviato entro un comparto di selezione ottica, ove avviene il recupero di rottame di vetro cavo; questo è un rottame di vetro nuovamente gestibile entro i flussi di produzione VPF (Figura 2).

Il restante materiale scartato dal comparto ottico, unito alle frazioni granulometriche, entra in un comparto di macinazione, qui, l'eventuale materiale organico che si trovasse presente (plastiche, carta, stracci, legno ecc.) essendo più duttile della componente inerte, rimane sostanzialmente di pezzatura grossolana, mentre la restante parte, costituita da refrattari, laterizi, materiale lapideo e vetro, essendo fragile, si sbriciola sino alla granulometria desiderata; tale mix di materiale viene inviato ad un'ulteriore unità di separazione granulometrica. Qui si separano due granulometrie: la maggiore è quella costituita da materiale misto, organico plastico, identificato come rifiuto e avviato a cicli di recupero energetico; l'altra è di pezzatura inferiore rispetto al macinato



Figura 2. Rottame di vetro cavo recuperato

misto oggetto del presente studio. Tale materiale è stato denominato *MACINATO di KPS-GLASS* (Figura 3).

Metodi e materiali

Il materiale immesso in lavorazione è identificato con CER 19 12 09, prodotto da processi di selezione ottica nel ciclo di recupero del vetro cavo, denominato “Inerte KPS (KPS= Keramish, Porzelain, Steine)”, così come già descritto. Si è eseguita una serie di marce controllate nella linea impiantistica, dopo un lungo periodo di prove di precontrollo al fine di valutare le caratteristiche del materiale originato dal processo.



Figura 3. Macinato di KPS-GLASS

In queste marce si sono eseguiti:

- 6 campionature, su altrettanti lotti (caratterizzati ai sensi del D.M. 186/2006) secondo metodo PO059 - UNI 10802:2004, sull'inerte KPS immesso nella linea; i campioni così formati sono stati sottoposti ad analisi compositonale secondo metodo certificato;
- 3 campioni su rottame di vetro estratto, campionato da laboratorio incaricato con metodo MA1195 rev. 3 (di laboratorio), su cui si è eseguita analisi merceologica;
- 6 campionature sul materiale *MACINATO di KPS-GLASS* prodotto, sempre con metodo PO059 -

UNI 10802:2004, sottoposte ad analisi compositonale secondo metodo certificato, caratterizzazione ai sensi ai sensi del DM 186/2006;

- 2 campionature di *MACINATO di KPS-GLASS* ai fini della verifica delle caratteristiche di cui alla norma UNI EN 13242-2008;

- 1 campione di *MACINATO di KPS-GLASS* per caratterizzazione geotecnica, classificazione granulometrica, limiti di Atterberg, contenuto Sostanza Organica classificazione UNI 10006 e formazione di miscele di prova con terreni naturali per realizzazione di miscele stabilizzate a calce. In particolare, previa caratterizzazione geotecnica dei materiali, si sono composte due miscele:

- a) Miscela con 15% di KPS-Glass + 85% terreno naturale + 3% di CaO;
- b) Miscela con 15% di KPS-Glass + 85% terreno naturale + 2% di CaO + 1% di cemento.

Le miscele sono state sottoposte alle prove seguenti:

- Proctor Modificato, con costruzione curva di costipamento e determinazione peso di volume massimo (λ_{dmax}) e contenuto d'acqua ottimo (w_{opt});

- Indice di Portanza Immediato (IPI), su provino post Proctor e con 2 ore di maturazione all'aria, con contenuto d'acqua pari a w_{opt} e con valori del 3% e 6% superiori a w_{opt} ;

- Indice CBR, su provino post Proctor, dopo 7 giorni di maturazione all'aria e 4 giorni di maturazione in acqua di provino costipato con Proctor Modificato con contenuto d'acqua pari a w_{opt} e con valori del 3% e 6% superiori a w_{opt} ;

- Prova di compressione con espansione laterale libera con 28 giorni di maturazione di provino costipato con Proctor Modificato con contenuto d'acqua pari a w_{opt} ; questa prova è stata eseguita solo sulla miscela B.

Risultati e discussione dei dati

- In Tabella 1 si riportano i risultati relativi alla caratterizzazione merceologica dell'Inerte KPS, dai quali si può evincere l'eterogeneità compositonale dello stesso, che anche di tipo granulometrica, che fa sì che il materiale sia definibile come una ghiaia grossolana sabbiosa con ciottoli. Si osserva anche la significativa presenza di frazione vetrosa.

Tabella 1. Esiti analisi merceologiche su inerte KPS tal quale

n. campione	Vetro	Refrattari e Lapidei	Metalli	Altro (plastiche/organico)
1	29,43%	68,49%	0,09%	1,99%
2	22,74%	75,79%	0,86%	0,61%
3	18,25%	77,44%	0,01%	4,2%
4	24,01%	71,88%	0,12%	3,99%
5	23,11%	73,23%	0,77%	2,89%
6	19,98%	73,19%	0,03%	6,8%

Tabella 2. Esiti analisi merceologiche su rottame di vetro estratto

n. campione	Vetro	Frazione <10,0mm	Metalli	Altro (plastiche/organico)
1	82,50%	6,0%	0,2%	11,30%
2	84,20%	5,1%	0%	10,70%
3	86,80%	3,9%	0%	9,30%

- In Tabella 2 si presentano gli esiti delle analisi merceologiche sul rottame di vetro, reimmesso nel ciclo di produzione del VPF recuperato dall'INERTE KPS nel comparto di selezione ottica. Ovviamente il rottame presenta delle impurità, ma risulta comunque un materiale ampiamente trattabile, con significative performance di recupero entro i cicli industriali del VPF, consentendo una significativa ottimizzazione degli stessi. Il rottame in questione, classificato secondo i parametri COREVE (Allegato Tecnico Anci-COREVE 2010-2013), presenta un sostanziale assenza di contaminanti di tipo refrattario.
- La caratterizzazione chimica dei campioni di macinato di KPS-Glass prodotto è risultata conforme DM 186/2006.
- La Tabella 3 presenta i risultati conseguiti sue due campioni caratterizzati ai sensi della norma UNI EN 13242-2008, atta alla classificazione di materiali riciclati utilizzabili in opere di ingegneria civile legati e non legati; in tabella sono anche elencate

le prove previste dalla norma UNI in questione, da cui si evince la conformità alla stessa del materiale, ai sensi della circolare del Ministero dell'Ambiente n. 5205 del 15-07-2005; esso però non è utilizzabile tal quale negli aggregati riciclati (per la % di elementi vetrosi ancora presenti), ma solo come additivo/sostituivo in percentuali predefinite negli stessi, nonostante rispetti a pieno le norme tecniche previste. Tali evidenze impongono una riflessione sulle norme tecniche del settore, che ormai iniziano a risultare vetuste rispetto alle potenzialità tecnologiche oggi disponibili nel trattamento di materiale da aggregati riciclati.

• Prove su miscele:

- Dalla classificazione geotecnica del campione di MACINATO di KPS-Glass risulta che esso appartiene alla classe A1-B della norma UNI 1006:2002 con indice di gruppo IG=0. Il campione è risultato non plastico, a granulometria uniforme, per il 50% assimilabile a ghiaia fine e 50% a sabbia medio grossa. Il campione di terreno utilizzato per

Tabella 3. Caratterizzazione macinato di NPS-GLASS ai sensi nonrma UNI-EN 12242:2008

NORMA di Riferimento	UNI EN 13242:2008	
Campo di Applicazione	Aggregati di materiali non legati e legati con leganti idraulici da utilizzare per opere di ingegneria civile e costruzione di strade	
Nome commerciale	MACINATO di KPS-GLASS	
n. lotto:	1	2
Determinazione secondo norma	frazione unica	frazione unica
Granulometria (d/D)	0/4	0/4
(Categoria)	G_F85	G_F85
Massa Volumica (Mg/m ³)	2,45	2,45
Forma dei granuli		
Indice di appiattimento (FI)	NPD	NPD
Indice di forma (SI)	NPD	NPD
Contenuto di fini (Categoria)	f₇	f₃
Qualità di fini (%)	6,22	2,19%
Equivalente in sabbia (SE)	80	92
Blu di Metilene (MB)	NPD	NPD
Percentuale di particelle frantumate	NPD	NPD
Resistenza alla frammentazione	NPD	NPD
Resistenza all'usura	NPD	NPD
Stabilità di volume	NPD	NPD
Assorbimento d'acqua (%WA)	0,14	0,47
Classificazione aggregati grossi:	Rc₀₀ Rcug₇₀ Rb₁₀₋ Ra₁₋ Rg 85 X₉ FL₂	Rc 00 Rcug 90 Rb 10- Ra 1- Rg 90 X 1- FL 5-
Solfati idrosolubili di aggregati riciclati	SS_{0,2}	SS_{0,2}
Solfati solubili in acido	AS_{0,2}	AS_{0,2}
Zolfo totale (%S)	S₁	S₁
Componenti che alterano vel. di presa	humus assente	humus assente
Rilascio di sostanze pericolose	conforme D.M.186/06	conforme D.M. 186/06
Contaminanti leggeri	NPD	NPD
Durabilità al gelo/disgelo	NPD	NPD
Durabilità alla reattività alcali/silice	NPD	NPD
GRANULOMETRIA	0/4 - GF 85	0/4 - GF 85

le miscele risulta afferente alla classe A6 della norma UNI 1006:2002, con indice di gruppo Ig=5, ossia un limo argilloso marrone con elementi di ghiaia e sabbia, con indice di plasticità pari al 13%.

- La Prova di costipamento AASHTO MODIFICATO ha dato un λ_{dmax} pari a 19,33KN/m³ e w_{opt} del 9,8%.

- Prove IPI e CBR sono state eseguite, su ambo le miscele, con contenuti d'acqua pari al 10% (w_{opt}), al 13% e 16%; nella fase di maturazione in acqua si sono verificati i rigonfiamenti dei provini e confrontati i valori con quelli prescritti nel Capitolato Speciale d'Appalto della Regione Veneto; la Tabella 4 riporta i valori riscontrati. Visto il Capitolato della Regione Veneto che prevede per i rilevati di altezza inferiore ai 2,0m CBR>60% e rigonfiamento <1%, i risultati paiono promettenti anche per contenuti d'acqua elevati.

- Le Prove di compressione ELL sono state

eseguite al fine di valutare l'apporto che un'aggiunta del 15% (in conformità a quanto previsto dalla circolare ministeriale) di MACINATO di KPS-GLASS può dare, in termini di miglioramento nella resistenza allo sforzo di compressione, a una miscela di terreno naturale. La Tabella 5 raccoglie gli esiti del raffronto: come si può osservare, l'apporto di KPS-GLASS migliora sensibilmente le caratteristiche di resistenza della miscela.

Conclusioni

Ai fini di ottimizzare i cicli di recupero del rottame di vetro cavo, in particolare per poter trattare anche il materiale di scarto dei cicli di produzione del vetro pronto forno, ERV ha predisposto processo tecnologico a ciò finalizzato, processo essenzialmente di tipo meccanico e ottico.

Tabella 4. Rigonfiamenti riscontrati in fase di maturazione in acqua dei provini di miscela

Miscela	w	IPI	CBR	Rigonfiamento
<i>2% calce e 1% cemento</i>	10%	165%	214%	0,08%
	13%	83%	158%	0,05%
	16%	14%	40%	0,05%
<i>3% di calce</i>	10%	166%	221%	0,02%
	13%	83%	180%	0,02%
		20%	48%	0,05%

Tabella 5. Valutazione resistenza alla compressione

Miscela	Resistenza alla compressione
<i>Terreno naturale + 2% calce e 1% cemento</i>	947,5 KPa
<i>Terreno naturale + 15% Macinato KPS-GLASS + 2% calce e 1% cemento</i>	1370,0 KPa

- Il materiale di partenza è un rifiuto CER 19 12 09 - Minerali e Rocce, definito Inerte KPS, costituito da una miscela eterogenea sia granulometrica che composizionalmente con elevata presenza di frazione vetrosa, unita a materiale refrattario-lapideo e con una percentuale residuale di materiale organico vario; senza alcun trattamento, il materiale in sé sarebbe destinato a smaltimento in discarica.
- Il processo consente di recuperare una frazione di rottame vetroso, re-immissibile nei cicli di produzione del VPF; ciò permette di ridurre la matrice vetrosa del materiale di partenza, aumentando quella lapidea.
- Il processo produce un macinato, denominato macinato di KPS-GLASS, granulometricamente assimilabile a una ghiaia fine in matrice sabbiosa media-grossolana, che risulta conforme a:
 - Norma UNI EN 13242-2008 atta alla classificazione di materiali riciclati legati e non legati utilizzabili in opere di ingegneria civile.
 - Utilizzato in miscele con terreno, stabilizzata a calce e cemento secondo il Capitolato Speciale d'Appalto della Regione Veneto per la realizzazione di rilevati stradali, genera un sensibile miglioramento nei parametri di resistenza alla compressione e negli indici CBR e Rigonfiamento, anche con contenuti d'acqua del 3 e 6% superiori a w_{opt} .
- Il prodotto così ottenuto rivela perciò ampie possibilità di reimpegno, ottimizzando i processi di recupero del rottame di vetro cavo, anche in cicli diversi da quello strettamente vetrario, con un evidente risparmio al ricorso di materie prime vergini.
- Risulta, altresì, evidente che tale prodotto offre svariate possibilità di reimpegno tecnico, attualmente non previste dalla normativa vigente; questo perché buona parte della stessa è stata promulgata oltre 10 anni fa, ed è ovvio che in questo lasso di tempo le tecnologie per il recupero dei materiali siano notevolmente migliorate, così come le pratiche ingegneristiche, e ciò pone la necessità di una loro profonda revisione.

Ringraziamenti

Si ringrazia: il CDA di Eco-Ricicli Veritas srl per aver acconsentito alla divulgazione di questo studio; Geodata sas per il fondamentale supporto nell'esecuzione e elaborazione delle prove geotecniche; Lecher Ricerche&Analisi srl per il prezioso supporto nelle fasi di caratterizzazione chimica e merceologica; l'Ing. Paolo Tonini per il supporto in fase di campionamento; l'Ing. Loris DUS per il supporto tecnico; i dottori Nicola Favaro e Gabriele Falcone, della Stazione Sperimentale del Vetro, per la disponibilità e il supporto documentale.

Bibliografia

- AA. VV "L'Italia del Riciclo - 2012" 2012
- A. Bonetto, "Strumenti di miglioramento delle raccolte di multimateriale pesante", RS Rifiuti Solidi vol. XXVI n. 3 maggio-giugno 2012
- J. Camilleri, F.E. Montesin, M. Jasmout, "The use of waste glass and pulverized fuel ash in concrete construction" in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 82-90 (atti di: International conference "Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste", Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]
- M. C. Bignozzi, E. Franzoni, F. Sandrolini, "Scarti vetrosi da raccolta differenziata. Un possibile riciclo nei conglomerati cementizi autocompattanti", Rivista della Stazione Sperimentale del Vetro, 2004, 3, pp. 15-19 [articolo]
- M. C. Bignozzi, F. Sandrolini, "Wastes by glass separated collection: a feasible use in cement mortar and concrete", in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 117-124 (atti di: International conference "Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste", Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]
- C. Morrison, "Reuse of CRT Glass as aggregate in concrete" in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 90-98 (atti di: International conference "Sustainable Waste Management and Recycling:

Glass Waste”, Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]

- H. Zhu, E. Byars, “*Post Consumer glass in concrete: alkali silica reaction and case studies*” in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 99-108 (atti di: International conference “Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste”, Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]
- A. Karamberi, M. Kerinis, A. Moutsatou, “*Innovative reuse of glass cullet in concrete*” in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 133-140 (atti di: International conference “Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste”, Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]
- I. Girbes, MJ. Lopez-Tendero, C. Suesta, I. Beleña, “*Recycled Glass Cullet as partial Portland cement replacement*” in: Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste, London, Thomas Telford, 2004, pp. 140-148 (atti di: International conference “Sustainable Waste Management and Recycling: Glass Waste”, Kingston University, London (UK), 14-15 September 2004) [atti di convegno-relazione]
- Osservatorio Regionale Veneto Appalti “*Capitolato Speciale d'Appalto della Regione Veneto*”, 2005.

Autori

Alessio Bonetto

Eco-Ricicli Veritas srl

via della Geologia, 30176 Malcontenta - Venezia

Piero Daminato

Geodata sas

viale Benelux 1/c, 35020 Ponte san Nicolò (Pd)

Glass Furnaces & Environment XXVIII Convegno A.T.I.V.

Parma, 15 novembre 2013



GLASS FURNACES & ENVIRONMENT

**Centro Congressi
Santa Elisabetta
Campus Universitario**

Parma, 15 Novembre 2013



ativ@ativ-online.it
www.ativ-online.it

Si intitola "Glass Furnaces & Environment" il XXVIII Convegno A.T.I.V. svoltosi lo scorso 15 novembre presso il Centro Congressi Santa Elisabetta, organizzato dall'Associazione Tecnici Italiani del Vetro in collaborazione con il Dipartimento di Chimica dell'Università degli Studi di Parma.

L'iniziativa s'inseriva nel quadro delle attività istituzionali dell'Associazione che promuove la formazione, la specializzazione e l'aggiornamento tecnico scientifico dei tecnici vetrari. Circa 90 congressisti, provenienti da 10 diverse nazioni, hanno partecipato con interesse all'evento. Il Congresso dell'A.T.I.V. è stato caratterizzato dalla significativa presenza di autorevoli esperti dell'industria vetraria e delle principali Aziende e delle Università che operano direttamente o indirettamente con essa. Il successo di questa edizione non è dovuto solo al numero di iscritti ma, soprattutto, al livello degli argomenti trattati, tutti centrati sulle problematiche attuali del settore e, in particolare, sui problemi primari del controllo e della riduzione del consumo specifico di energia e dell'impatto ambientale.

In apertura, la *dottoressa Scalet del Ministero Italiano dello Sviluppo Economico*, esperta di problematiche ambientali ed energetiche, curatrice della seconda edizione del GLS BREF 2012 - riferimento essenziale che definisce i limiti massimi di emissione delle sostanze inquinanti e suggerisce le migliori tecnologie oggi disponibili per ridurli - ha presentato un interessante confronto

fra le proposte e le conclusioni del GLS BREF 2012 e quelle pubblicate nel GLS BREF del 2001. Ha chiarito che le nuove tecnologie, sia per le misure primarie che per quelle secondarie, potranno consentire in futuro di ridurre i limiti delle varie emissioni e contenere così in modo veramente significativo l'impatto ambientale dell'industria vetraria.

La relazione del **dottor Battaglia della Stazione Sperimentale del Vetro** ha spiegato in modo esauriente i criteri che devono essere adottati per controllare, in continuo, le concentrazioni dei vari inquinanti nei fumi emessi dalle ciminiere dei forni per vetro. La relazione ha chiarito l'importanza di tenere sotto controllo continuo le emissioni di Polveri, NOx, SOx ecc. e ha definito le modalità e le specifiche relative al posizionamento della sonda per il prelievo dei fumi e i criteri da seguire per ottenere misure affidabili e corrette. Non c'è dubbio che il tenere sotto

controllo continuo la qualità dei fumi emessi a valle delle misure secondarie consentirà di valutare l'influenza delle condizioni di esercizio dei forni e quindi di migliorare ulteriormente il livello qualitativo e quantitativo delle emissioni.

L'ing. Alexander Sorg ha aggiornato l'uditore sui risultati ottenuti con l'applicazione della soluzione più recente del suo sistema di preriscaldamento della miscela e del rottame. L'esito di studi recenti (2011) sullo scambio termico fumi/miscela ottenuto in laboratorio è stato confermato in prove di preriscaldamento su impianto pilota, e più recentemente è stato realizzato con soddisfazione su scala industriale. La formazione di polvere nella camera di combustione del forno è stata evitata utilizzando le nuove macchine informatiche a coclea, mentre il controllo dello spolverio - che, com'è noto, creerebbe un flusso di sostanze leggere e chimicamente attive verso i sistemi primari di ricupero del

calore dai fumi - è stato realizzato modificando la geometria della zona di carico della miscela nel forno. Ciò ha consentito di verificare i materiali fini presenti sulla superficie delle isole in spostamento e pertanto di ridurre sostanzialmente lo spolverio. Questo nuovo sistema consente quindi di ridurre il consumo specifico di energia del 15-16% e di raggiungere, attualmente, una temperatura della miscela preriscaldata dell'ordine di 300°C.

L'ing. Heidrich della RHI GLASS GmBH ha presentato un'interessante rassegna dei materiali refrattari da impiegare nelle varie zone del forno, esaminandone pregi e difetti e proponendo soluzioni migliorative rispetto a quelle che, nella maggior parte dei casi, vengono attualmente realizzate. La Silice (Cristobalite) per la costruzione delle volte dei forni, che resiste a 1600°C è però soggetta all'attacco chimico generato dall'ossido di Sodio, presente nei fumi allo stato vapore che condensa,



Bianca Maria Scalet, Environmental Expert at Italian Ministry of Economic Development,
Angelo Montenero, University of Parma

sotto forma di idrossido di Sodio (NaOH). Questa reazione è tanto più intensa quanto maggiore è la pressione parziale degli alcali nell'atmosfera della camera di combustione del forno e quanto più elevato è il tenore di CaO nella Silice impiegata. Nel primo periodo di produzione, la reazione chimica sottrae il CaO dalla SiO₂ e ciò permette di ridurre la penetrazione di alcali nello spessore dei mattoni, rendendoli conseguentemente capaci di sopportare più elevate temperature e di consentire quindi prestazioni superiori in termini di cavato e di consumo energetico.

Com'è noto, per la costruzione delle sovrastrutture della camera di combustione del forno viene impiegato un materiale elettrofuso (AZS) che contiene il 32% di biossido di zirconio (ZrO₂). Gli addetti alla progettazione e alla conduzioni dei forni sanno che l'elettrofuso contiene quantità significative di fase vetrosa che, ad alte temperature e specialmente all'inizio della campagna - quando, per la prima volta, viene raggiunta la temperatura di regime - viene espulsa per effetto di un fenomeno chiamato esudorazione. Nel corso di questa inevitabile fase vengono messi in gioco cristalli di ZrO₂ che finiscono nel vetro generando difetti critici nei manufatti. Il problema viene ovviamente esaltato dall'aumento della temperatura e dallo stato di ossidazione del refrattario. Ne deriva infatti che l'elettrofuso ridotto, che ha un costo di produzione inferiore, mostra una maggiore tendenza al rilascio della fase vetrosa. Un materiale alternativo all'AZS da utilizzare nelle sovrastrutture del

forno è un AZS legato con mullite zirconio, che non contiene fase vetrosa e non è quindi soggetto al fenomeno del rilascio. Le prime applicazioni industriali sono state molto soddisfacenti, in quanto non hanno evidenziato corrosioni significative dopo due anni di esercizio.

La relazione del **dottor Sebastian Bourdonnais della Saint Gobain SEPR** riguardava un interessante esame dell'evoluzione della geometria degli impilaggi cruciformi, mirata a migliorare l'efficienza del ricupero del calore contenuto nei fumi nelle camere di rigenerazione. La definizione di un modello matematico capace di tenere conto di tutti parametri che influenzano l'efficienza dello scambio termico dei diversi tipi di cruciformi ha permesso di quantificare i vantaggi derivanti dall'implicazione del tipo 8. La successiva validazione del modello effettuata su un forno industriale ha confermato che l'efficienza energetica del più recente tipo di cruciformi (tipo 8) è sensibilmente più elevata di quella del tipo standard (74,8% contro 69%).

L'**ing. Alessandro Monteforte dell'Area Impianti SpA** ha ri-proposto il ricupero dell'energia termica presente nei fumi trasformandola in energia elettrica. Egli infatti ritiene ancora valida questa tecnologia, sia perché consente di fruire degli incentivi governativi e sia perché reputa, a ragione, che il prezzo dell'energia elettrica tenderà ad aumentare in futuro. Spiega inoltre che l'efficienza di sistemi molto collaudati, come i cicli Rankin-

ne, non possa oggi prescindere da un adeguato impianto di depurazione dei fumi che riduca a livelli accettabili le polveri inerti e le sostanze acide presenti nei fumi che trasportano il calore residuo della combustione. Egli non sottovaluta il fatto che le variazioni, anche modeste - che si verificano normalmente - della temperatura dei fumi uscenti dai sistemi primari di preriscaldamento dell'aria di combustione dei forni per vetro, riducano in modo significativo l'energia elettrica netta prodotta e ritiene perciò che l'opzione ORC - che trasferisce il calore per mezzo di un olio termico che assorbe le suddette variazioni di temperatura dei fumi - dia maggiori garanzie rispetto allo scambio termico diretto. La relazione sviluppa poi varie soluzioni per affrontare il problema e chiude affermando che è possibile un recupero energetico dell'ordine del 20-22%.

La relazione tenuta da **Andries Habraken della Celsian Glass & Solar B.V. Eindhoven (Paesi Bassi)** ha trattato i risultati di uno studio sul bilancio termico dei forni, condotto in collaborazione con la **dottoressa Miriam del Hoyo Arroyo, Universidad de Castilla-La Mancha Ciudad Real, Spagna**. Il relatore ha illustrato le caratteristiche del modello matematico flessibile che definisce velocemente il bilancio energetico del forno per la produzione del vetro (EBM) e ha spiegato i vantaggi del nuovo modello rispetto al precedente (CFD) che richiedeva lunghi tempi di simulazione, non consentendo di prendere in esame il

bilancio completo (riferito cioè all'insieme di tutti i moduli del sistema) e doveva perciò essere applicato ai vari moduli, presi separatamente l'uno dall'altro. Ogni bilancio veniva poi assemblato con gli altri con le difficoltà connesse all'interpretazione dei molti transitori e con il dover tenere in conto i diversi meccanismi di scambio termico coinvolti nei diversi moduli dell'impianto (preriscaldamento dell'aria di combustione, della miscela in alimentazione ecc.). Utilizzando invece un modello macroscopico, è stato possibile ottenere uno strumento per definire i bilanci termici globali dei forni industriali per qualsiasi tipo di vetro (EBM) che valuta i nuovi equilibri di scambio termico causati dai vari sistemi che, oggi, vengono applicati (camere di rigenerazione e/o recuperatori metallici, preriscaldamento della miscela ecc.). Questa soluzione, quindi, considera nell'insieme i vari sistemi che vengono oggi adottati per migliorare l'efficienza energetica, tiene conto delle variazioni dei meccanismi di scambio termico, riduce a livelli molto bassi gli errori e, soprattutto, definisce valutazioni complete ed esatte con tempi di risoluzione dell'ordine di grandezza di un minuto. Il modello utilizza un ricco "data base" che contiene modelli per il calcolo delle composizioni delle miscele e del calore di razione per i diversi tipi di vetro, delle caratteristiche chimico fisiche dei vetri, oltre alle proprietà dei vari materiali refrattari ed isolanti utilizzabili per la costruzione dei forni. Il nuovo modello (EBM) è stato validato in diverse applicazioni industria-

li e consente oggi di valutare correttamente tutte le perdite di energia dovute alle cause più diverse (eccessi o difetti di aria di combustione, umidità della miscela, infiltrazioni di aria fredda parassita, perdite di fumi caldi ecc.). La relazione presenta infine una serie di esempi che dimostrano come il nuovo modello può determinare l'effetto sull'efficienza energetica del sistema al variare dei suddetti parametri.

L'ing. Simone Tiozzo della Stazione Sperimentale del Vetro ha presentato il modello matematico per la definizione dei bilanci termici dei forni adottato dalla Stazione Sperimentale del Vetro, che viene continuamente aggiornato dagli esperti dell'Istituto. Il bilancio tiene conto della geometria del forno, dei materiali refrattari ed isolanti impiegati, della presenza o meno di boosting elettrico e della sua ubicazione, del tipo di combustibile e del suo potere calorifico, della composizione della miscela vetrificabile in uso e della percentuale di rottame rispetto al vetro cavato dal forno, delle proprietà fisiche del vetro ottenuto ecc. Altri importanti parametri vengono poi rilevati direttamente in situ, quali le quantità di aria fredda infiltrata e le perdite di fumi caldi, l'analisi chimica dei gas che lasciano la camera di combustione del forno e di quelli che, a valle del sistema di preriscaldamento dell'aria di combustione e della miscela e rottame, vengono scaricati in atmosfera ecc. Successivamente, tutte queste informazioni vengono elaborate, impiegando appropriati modelli fisici, chimici e fluodinamici, per ottenere il

bilancio termico dettagliato che quantifica tutte le principali perdite energetiche e le cause che le hanno originate. Questo strumento è molto importante sia nella fase di progettazione del forno e della scelta dei materiali refrattari ed isolanti, sia nei vari momenti della vita del sistema per valutare le perdite di energia termica e i criteri da seguire per minimizzarli.

La **Glass Service Inc. della Repubblica Ceca** è molto nota in tutto il mondo perché, per prima, ha proposto l'uso dei modelli matematici per simulare l'andamento dell'elaborazione del vetro nei forni esistenti e per indicare alla vetreria le variazioni delle modalità operative necessarie per migliorarlo. Essa, più recentemente, ne ha sviluppati di nuovi, capaci di ottimizzare la geometria e i dettagli costruttivi ed operativi di un nuovo forno per prevederne le prestazioni (cavato specifico, qualità del vetro, bilancio energetico ecc), particolarmente utili nel caso della ricostruzione dei forni a fine campagna. Attualmente, dopo aver considerato che l'aumento del prezzo dell'energia termica da combustibili fossili e i problemi diretti e indiretti generati dai fumi ricchi in CO₂ e contenenti sostanze sempre meno tollerate nelle emissioni giustificano la tendenza crescente, in tutto il mondo, a valutare la possibilità di ricorrere parzialmente o totalmente all'impiego dell'energia elettrica, ha studiato modelli matematici al fine di inserire l'energia elettrica in forni di alta potenzialità (vetro cavo e piano) e non solo.

Secondo l'*ing. Erik Muijsenberg*, i clienti di tutto il mondo si domandano già dove sia più opportuno introdurre l'energia elettrica, se abbia senso o no utilizzare elettrodi di molibdeno di alta qualità, se sia meglio immettere l'energia elettrica dalle pareti laterali del bacino oppure nella suola in prossimità del punto caldo e, in ultima analisi, se sia meglio fornire energia elettrica nella zona di fusione o in quella di affinaggio. Egli ha presentato una serie di schemi e di filmati virtuali elaborati con un modello matematico, basato sui principi fisici e della fluidodinamica, che innescano i movimenti della massa in elaborazione in modo diverso secondo come e dove viene alimentata la corrente elettrica. In pratica, la documentazione presentata ha dimostrato con chiarezza che la posizione degli elettrodi (in parete o nella suola) e la connessione degli elettrodi influenzano in modo significativo le correnti convettive e le temperature della suola del forno.

L'*ing. Facca, direttore tecnico del Gruppo Sangalli*, ha presentato i risultati, molto interessanti, ottenuti in una serie di ricuperi energetici e nella gestione razionale dell'energia recuperata. Il Gruppo Sangalli è infatti un esempio che dovrà essere seguito dall'industria vetraria e non solo, al fine di ottimizzare l'efficienza energetica di una complessa struttura produttiva, per mezzo di parecchie iniziative diverse fra loro, ognuna delle quali contribuisce per la sua parte, e che, nel loro insieme, determinano un grande ed encomiabile



risultato sia ambientale sia economico. Il ricupero dell'energia termica ed elettrica con impianti ad elevato rendimento, l'impiego di forni ad elevata efficienza, il ricorso alla modellistica matematica per valutare le varie possibilità di ricupero, la produzione di energia da fonti rinnovabili (solare ed eolico) sono attentamente seguite nel tempo e, quando necessario, aggiornate. Il Gruppo ha istituito una Società di Ingegneria (*Sangalli Technologies ESCO*) totalmente dedicata all'analisi, allo studio e alla realizzazione degli interventi previsti dal programma, che è attiva anche per risolvere le problematiche di altre Aziende del settore e non solo.

Il Gruppo Sangalli fin dal 2007 gestisce impianti ad elevata intensità energetica e ha dato all'efficienza un'importanza rilevante, impegnando un gruppo di tecnici nella definizione delle riduzione possibili per mezzo dell'impiego intelligente di tutte le nuove tecnologie emergenti nel mercato. Va detto che l'attività condotta negli ultimi due o tre anni ha avuto successo in termini sia di riduzione dei consumi di energia, sia di tempi di rientro dei capitali immobilizzati.

Il *dottor Mola della Stara* ha presentato un interessante aggiornamento del forno ibrido (Centauro) che, com'è noto, è basato sul principio di effettuare in due fasi il trasferimento del calore dai fumi uscenti dalla camera di combustione del forno all'aria di combustione. La prima avviene in camere di rigenerazione dimensionate in maniera da abbassare la temperatura dei fumi dal 1400 a 950°C, mentre la seconda completa il ricupero del calore mediante scambiatori indiretti continui metallici e/o ceramici.

I vantaggi di questa soluzione, già collaudata più volte su scala industriale, sono dovuti al fatto che entrambi i sistemi operano a temperature ottimali e consentono perciò recuperi termici maggiori rispetto a quelli possibili utilizzando uno solo dei due impianti e al minore investimento, perché le camere di rigenerazione necessarie impiegano la metà circa del materiale refrattario necessario per realizzare un forno standard a camere posteriori di pari capacità produttiva.

Va detto che il forno ibrido Centauro si presta, a differenza dei forni standard a camere posteriori, per applicare la tecnologia di abbattimento degli NOx in as-

senza di catalizzatore (SNCR), in quanto la temperatura dei fumi a monte dello scambiatore metallico (900-1000°C) è ideale per sfruttare la reazione di ossidazione degli NOx con l'Ammoniaca (NH_3) con formazione di H_2O ed N_2 .

Va chiarito che nei forni standard la temperatura che consente di condurre la suddetta reazione in assenza del catalizzatore si ha a metà dell'impilaggio e ciò impone di effettuare la stessa reazione a temperatura molto più bassa in presenza di costosi catalizzatori. I primi esperimenti effettuati, nelle condizioni sopra indicate, hanno dato risultati molto incoraggianti con livelli di abbattimento degli NOx dell'ordine del 70-80% con perdite di ammonica molto limitate.

Un secondo studio, altrettanto interessante, mirato anch'esso ad abbattere il tenore di NOx nei fumi, applicabile anche ai forni a camere posteriori standard, consiste nel riciclare una parte dei fumi al forno come diluente dell'aria di combustione.

La diluizione dell' O_2 del comburente al di sotto del 21% provoca, da un canto, un allungamento della fiamma e ne abbassa la temperatura stabilizzandone il livello e sfavorendo così la formazione degli Nox; dall'altro,

incrementa ovviamente il tenore in CO_2 e in H_2O dei fumi, migliorando così lo scambio termico tra fumi e l'impilaggio.

L'ultimo intervento è stato tenuto dall'*ing. Grègoire Quéré della Società Eurotherm Invensys* sul controllo dell'alimentazione di sistemi boosting tramite unità intelligenti a tristori per risparmiare sui costi energetici. Nella sua presentazione spiega i diversi metodi di controllo alimentazione con semi-conduttori (tristori) e ha dato ulteriori informazioni su come i possibili effetti collaterali negativi, come potenza reattiva, picco di domanda di potenza e distorsione armonica possono essere risolti attraverso intelligenti metodi di controllo.

In questa circostanza, A.T.I.V. ha richiamato l'attenzione di tecnici del vetro e dei materiali per il vetro di molti Paesi d'Europa e d'oltre Oceano che hanno trattato temi fondamentali come il risparmio energetico e la riduzione dell'impatto ambientale sempre più essenziali, in particolare, per l'industria del vetro. Questa conferenza ha inoltre dimostrato che esiste spazio di miglioramento sia ottimizzando le vecchie tecnologie con l'aiuto

di nuovi e più razionali strumenti di analisi, sia affrontando le varie possibilità con sistematica attenzione e razionali priorità, sia abbandonando i vecchi schemi e attuando sostanziali modifiche che offrono senza dubbio maggiori opportunità di miglioramento.

Il prossimo Convegno A.T.I.V. si terrà in concomitanza con il 12° Convegno dell'European Society of Glass, che si svolgerà a Parma dal 21 al 24 settembre 2014 (www.esg2014.it).

Piero Ercole
Consulente e Past President
A.T.I.V.
ativ@ativ-online.it

