

Linee guida per l'individuazione e l'utilizzazione delle
migliori tecniche disponibili
ex art. 3, comma 2 del decreto legislativo 372/99

Linee guida relative ad impianti esistenti per le
attività rientranti nelle categorie IPPC:

3.3 Impianti per la fabbricazione del vetro compresi quelli destinati alla produzione di fibre di vetro con capacità di fusione superiore a 20 tonnellate/giorno.

3.4 Impianti destinati alla fusione di sostanze minerali inclusa la produzione di fibre minerali, con capacità di fusione superiore a 20 tonnellate/giorno.

Premessa

Il presente documento si compone di due parti distinte relative ai seguenti settori industriali:

- Industria del vetro
- Produzione delle fritte

Nel documento di riferimento europeo BREF, la produzione delle fritte vetrose è stata aggregata all'industria del vetro, sulla base di una serie di elementi comuni (materie prime, alcuni tipi di forno, ecc.). Tuttavia, le numerose e sostanziali diversità presenti tra i due settori e la difficoltà di raggruppare in una sola relazione tecnica le caratteristiche di ciascuno di essi hanno indotto alla presentazione separata della relazione tecnica relativa all'industria del vetro, propriamente detta, e della produzione delle fritte.

I N D I C E

INDUSTRIA DEL VETRO

A. SCOPI ED OBIETTIVI	Pag. 339
B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE PER IL SETTORE.....	» 341
NORMATIVE AMBIENTALI RILEVANTI PER L'INDUSTRIA DEL VETRO	» 344
C. RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA SPECIFICITÀ DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE.....	» 346
C.1 Dati sulla produzione.....	» 346
C.2 Distribuzione territoriale degli impianti	» 348
C.3 Impatto ambientale dell'industria del vetro	» 348
D. DESCRIZIONE DEI PROCESSI E DELLE TECNICHE DI PRODUZIONE.....	» 350
D.1 Processo di produzione del vetro industriale	» 350
D.1.1 Preparazione della miscela vetrificabile	» 351
D.1.2 Processo di fusione e formatura del vetro	» 351
D.2 Processo di produzione del vetro piano	» 352
D.3 Processo di produzione del vetro cavo	» 352
D.4 Processo di produzione del vetro borosilicato (contenitori e tubo)	» 354
D.5 Processo di produzione del vetro borosilicato (lana e filato)	» 354
D.5.1 Processo di produzione della lana di vetro per isolamento.....	» 355
D.5.2 Processo di produzione del filamento continuo di vetro	» 355
D.6 Processo di produzione del vetro al piombo	» 355
D.7 Processo di produzione del vetro artistico lavorato a mano.....	» 356
D.8 Uso di prodotti chimici ausiliari ed altri processi secondari	» 357
D.8.1 Trattamenti superficiali eseguiti a caldo	» 357
D.8.2 Trattamenti superficiali eseguiti a freddo	» 358
D.8.3 Trattamenti di apprettatura delle lane e filati di vetro	» 358
D.8.4 Altri processi secondari	» 358
E. DESCRIZIONE DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE BAT.....	» 359
E.1 Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore	» 359
E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore	» 359
E.3 Aspetti ambientali: consumi e livelli di emissione attuali.....	» 362
E.3.1 Consumi energetici	» 362
E.3.2 Consumi di acqua	» 363
E.3.3 Consumo di risorse naturali.....	» 365
E.4 Aspetti ambientali - Emissioni	» 365

<i>E.4.1 Emissioni in atmosfera</i>	Pag.	365
<i>E.4.2 Scarichi idrici</i>	»	368
<i>E.4.3 Emissioni sonore</i>	»	368
<i>E.4.4 Valori di emissione in atmosfera</i>	»	369
<i>E.4.5 Emissioni derivanti da processi secondari</i>	»	370
<i>E.4.5.1 Trattamenti superficiali del vetro eseguiti a caldo</i>	»	370
<i>E.4.5.2 Trattamenti superficiali del vetro eseguiti a freddo</i>	»	371
<i>E.4.5.3 Lavorazione secondaria del cristallo al piombo</i>	»	371
<i>E.4.5.4 Lavorazioni di apprettatura della lana di vetro</i>	»	372
<i>E.4.5.5 Lavorazioni di apprettatura del filamento continuo di vetro</i>	»	372
<i>E.5 Rifiuti solidi e contaminazione del suolo</i>	»	372
<i>E.6 Aspetti ambientali: analisi dei rischi</i>	»	373
<i>E.7 Migliori tecniche e tecnologie</i>	»	373
<i>E.7.1 Polveri totali</i>	»	374
<i>E.7.1.1 Movimentazione e stoccaggio delle materie prime</i>	»	374
<i>E.7.1.2 Interventi primari</i>	»	374
<i>E.7.1.3 Interventi secondari</i>	»	376
<i>E.7.2 Ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	379
<i>E.7.2.1 Interventi primari</i>	»	379
<i>E.7.2.2 Interventi secondari</i>	»	384
<i>E.7.3 Inquinanti gassosi (SO_x, HCl, HF, CO)</i>	»	387
<i>E.7.3.1 Interventi primari</i>	»	387
<i>E.7.3.2 Interventi secondari</i>	»	388
<i>E.7.4 Inquinamenti derivanti dalle lavorazioni secondarie del vetro</i>	»	389
<i>E.7.4.1 Trattamenti a caldo ed a freddo del vetro cavo e piano</i>	»	390
<i>E.7.4.2 Lavorazione secondaria del vetro al piombo</i>	»	390
<i>E.7.4.3 Lavorazione di apprettatura della lana e del filamento continuo di vetro</i>	»	390
F. APPROFONDIMENTO DELLE BAT E DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE	»	391
<i>F.1 BAT per la riduzione delle polveri totali</i>	»	391
<i>F.2 BAT per la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	392
<i>F.3 BAT per la riduzione delle emissioni di SO_x ed altri inquinanti gassosi (HCl, HF)</i>	»	395
<i>F.4 Altri interventi di riduzione delle emissioni</i>	»	396
G. EVENTUALI TECNICHE E TECNOLOGIE ALTERNATIVE	»	397
H. DEFINIZIONE DELLA LISTA DI MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO	»	397
<i>H.1 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di polveri</i>	»	397
<i>H.1.1 Applicazioni esistenti</i>	»	398
<i>H.2 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	398
<i>H.2.1 Applicazioni esistenti</i>	»	400

<i>H.3 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di SO_x ed altri inquinanti gassosi (HCl, HF)</i>	Pag.	400
<i>H.3.1 Applicazioni esistenti</i>	»	401
I. ANALISI DELL'APPLICABILITÀ DELLE BAT INDIVIDUATE AGLI IMPIANTI ESISTENTI E TEMPI DI ATTUAZIONE	»	401
<i>I.1 Polveri totali</i>	»	401
<i>I.2 Ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	402
<i>I.3 Ossidi di zolfo (SO_x), cloruri e fluoruri gassosi (HCl, HF)</i>	»	403
<i>I.4 Applicazione delle BAT agli impianti esistenti</i>	»	403
J. FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI	»	405
<i>J.1 Polveri totali</i>	»	405
<i>J.2 Ossidi di zolfo (SO_x), cloruri e fluoruri gassosi (HCl, HF)</i>	»	405
<i>J.3 Ossidi di azoto (NO_x)</i>	»	406
K. DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE ED UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI	»	407
<i>K.1 Tabelle riassuntive delle migliori tecniche individuate per ciascun settore</i>	»	409
<i>K.2 Tabelle riassuntive delle prestazioni attese dall'applicazione delle migliori tecniche individuate per ciascun settore</i>	»	412
<i>K.2.1 Vetro cavo</i>	»	412
<i>K.2.2 Vetro piano</i>	»	413
<i>K.2.3 Vetro borosi licato (tubo e cavo)</i>	»	414
<i>K.2.4 Vetro borosilicato (lana e filato)</i>	»	414
<i>K.2.5 Vetro al piombo</i>	»	415
<i>K.2.6 Vetro artistico</i>	»	415
L. PIANO DI MONITORAGGIO	»	416
<i>L.1 Controllo dei parametri critici del sistema di trattamento fumi</i>	»	416
<i>L.2 Controllo periodico delle emissioni mediante misure discontinue</i>	»	417
<i>L.2.1 Metodi consigliati per la misura delle emissioni solide e gassose</i>	»	417
<i>L.3 Misura in continuo degli inquinanti principali</i>	»	418
<i>L.3.1 Metodi per la misura in continuo delle emissioni solide e gassose</i>	»	418
<i>L.4 Bilancio di massa</i>	»	418
M. GLOSSARIO	»	420
<i>M.1 Definizioni</i>	»	420
INDUSTRIA DELLE PRODUZIONE DELLE FRITTE	»	421
A. SCOPI E OBIETTIVI	»	421
B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE DEL SETTORE	»	422
C. RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA SPECIFICITÀ DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE	»	424
<i>C.1 Dati sulla produzione</i>	»	424
<i>C.2 Indicazioni della distribuzione territoriale degli impianti</i>	»	425
<i>C.3 Numero del personale impiegato</i>	»	425

<i>C.4 Dati macroeconomici</i>	Pag.	425
<i>C.5 Impatto ambientale del settore</i>	»	425
D. DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI PRODUZIONE, DEGLI EVENTUALI SOTTOPROCESSI E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI	»	429
E. DESCRIZIONI DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER LA INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF	»	432
<i>E.1 Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore</i>	»	432
<i>E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore</i>	»	432
<i>E.3 Aspetti ambientali: consumi (energetici, idrici, di materie prime)</i>	»	434
F. APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEI BREF COMUNITARI E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE.....	»	435
<i>F1. BAT per la riduzione delle polveri totali</i>	»	435
<i>F2. BAT per la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto (Nox)</i>	»	436
<i>F3. BAT per la riduzione delle emissioni di fluoruri (espressi come HF)</i>	»	436
<i>G. Identificazione di eventuali tecniche alternative e definizione, ove possibile, del range di prestazione di tali tecniche</i>	»	437
H. DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA), DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA	»	437
I. ANALISI DELL'APPLICABILITÀ AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENCALE NEL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE	»	438
J. FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENCALE ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI.....	»	439
L. PIANO DI MONITORAGGIO.....	»	440
<i>L1. Controllo dei parametri critici del sistema di trattamento</i>	»	440

INDUSTRIA DEL VETRO

A. SCOPI ED OBIETTIVI

L'industria vetraria italiana rappresenta un'aliquota importante della produzione europea, con circa il 17 % del vetro prodotto sul totale derivante dai 15 Paesi dell'Unione Europea.

Dal punto di vista ambientale essa si colloca sicuramente tra i Paesi che hanno maggiormente investito nell'applicazione di tecnologie per il trattamento dei fumi ma soprattutto nell'innovazione del processo di produzione, allo scopo di ridurre i consumi energetici ed evitare la formazione di sostanze inquinanti.

In alcuni settori, l'industria vetraria italiana applica tecnologie d'avanguardia per l'abbattimento delle emissioni in atmosfera e per il trattamento delle acque con prestazioni superiori ai livelli raggiungibili dalla BAT di settore individuate nel documento di riferimento europeo BREF.

Il settore presenta le seguenti caratteristiche peculiari:

- Il consumo specifico medio di energia per tonnellata di vetro prodotto, riferito all'anno 2000, risulta essere il più basso rispetto a tutti gli altri Paesi dell'Unione Europea.
- Tutti i forni per la produzione di vetro borosilicato hanno adottato sistemi di trattamento dei fumi, in alcuni casi particolarmente efficienti ed innovativi (filato di vetro).
- I settori del vetro cavo e piano, nella maggior parte degli impianti, hanno già provveduto ad installare i sistemi di filtrazione.
- Circa il 70 % dell'energia utilizzata per il ciclo produttivo deriva dal gas naturale e l'olio combustibile impiegato è a basso tenore di zolfo (< 1 % di zolfo), a differenza di altri Paesi europei che impiegano grandi quantità di olio con tenori di zolfo anche maggiori al 2 %.
- Il settore del vetro cavo per uso domestico (vetro da tavola, profumeria, ecc.) ha adottato tecnologie di produzione all'avanguardia (unico Paese in Europa), come la fusione elettrica associata alla filtrazione o al lavaggio dei fumi, eliminando al tempo stesso l'uso di sostanze affinantanti particolarmente efficienti ma ad elevato impatto ambientale (anidride arseniosa).
- Il settore del cristallo al piombo ha già adottato da tempo sistemi all'avanguardia per il trattamento delle acque derivanti dalle lavorazioni secondarie del vetro.

Alla luce della situazione attuale del settore dal punto di vista ambientale, l'applicazione della direttiva IPPC 96/61/CE all'industria del vetro ha come obiettivo il raggiungimento di livelli di emissioni più bassi rispetto a quanto attualmente richiesto dalla normativa di riferimento nazionale. L'applicazione delle migliori tecniche disponibili (BAT) al settore richiederà comunque una valutazione attenta del rapporto costi/benefici delle

BAT individuate, selezionando quelle più adatte alla tipologia produttiva presente sul territorio nazionale e valutando le ricadute sulla competitività dei diversi settori che compongono l'industria vetraria rispetto agli altri Paesi dell'Unione Europea che, in molti casi, non hanno ancora realizzato alcun sistema di controllo e di riduzione delle emissioni e possono inoltre beneficiare di un costo dell'energia più favorevole.

Lo scopo principale del presente documento è quello di definire le linee guida per l'applicazione della direttiva IPPC 96/61/CE, tenendo conto delle specifiche caratteristiche delle aziende italiane.

Gli obiettivi che l'industria vetraria si prefigge sono quelli di ridurre al minimo le emissioni inquinanti, selezionando tra le migliori tecnologie disponibili quelle che meglio si adattano alle proprie caratteristiche sia dal punto di vista tecnico che economico, privilegiando le soluzioni che comportano un miglioramento globale dell'impatto ambientale, secondo l'approccio integrato che sta alla base della direttiva IPPC 96/61/CE, minimizzando la produzione di rifiuti, utilizzando in modo efficiente l'energia e riducendo i rischi associati all'uso delle tecnologie.

B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE DI SETTORE

Premessa

Gli impatti prevalenti dell'industria del vetro sull'ambiente sono costituiti principalmente dalle emissioni in atmosfera, seguite dal consumo di acqua, dalla produzione di rifiuti solidi e dalle emissioni di rumore.

In base a tali impatti, l'industria del vetro è sottoposta, dal punto di vista normativo, all'applicazione di alcune rilevanti normative ambientali di settore, che riguardano, rispettivamente, la tutela dell'aria e dell'acqua e la disciplina dei rifiuti.

La normativa ambientale di riferimento può essere suddivisa nelle seguenti categorie:

- Tutela qualità delle acque
- Emissioni in atmosfera
- Residui
- IPPC

e può essere così riassunta:

TUTELA QUALITÀ DELLE ACQUE	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Decreto legislativo n. 152 Dell'11 maggio 1999 (G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000 - Supplemento Ordinario n. 172)	"Testo aggiornato del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258"
Decreto legislativo n. 258 Del 18 agosto 2000 (G.U. n. 218 del 18 settembre 2000 - Supplemento ordinario n. 153)	"Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128"
Decreto 12 giugno 2003, n. 185	Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue

EMISSIONI IN ATMOSFERA	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Decreto del Presidente della Repubblica n. 203 del 24 maggio 1988.	"Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183."
Decreto Ministeriale del 12 luglio 1990.	"Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione"
Decreto Legislativo n. 334 del 17 agosto 1999 G.U. n. 228 del 28 settembre 1999 – Supplemento Ordinario n. 177	"Attuazione della direttiva CEE 96/82 denominata Seveso II in materia di controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose"
Decreto Ministeriale del 4 ottobre 1999.	"Proroga dei termini di adeguamento dei valori di emissione delle polveri al 31 dicembre 2002"
Decreto Ministeriale n. 60 del 2 aprile 2002	"Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio"
Decreto del Ministero dell'Ambiente 1° ottobre 2002, n. 261	Direttive tecniche per la valutazione della qualità dell'aria ambiente - elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del Dlgs 351/1999

RUMORE	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Legge 477/95	Legge quadro sull'inquinamento acustico
Dpcm 14/11/1997	Limiti massimi di emissioni acustiche
Dpcm 1/3/1991	Limiti massimi di accettabilità
DM 11/12/1996	Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo continuo

RIFIUTI	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Decreto legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997 G.U. n. 38 del 15 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n. 33	"Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio"
Decreto legislativo n. del 5 febbraio 1998 G.U. n. 88 del 16 aprile 1998 – Supplemento Ordinario n. 72	"Individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero"
Dpcm 24 dicembre 2002	Approvazione del nuovo modello unico di dichiarazione ambientale per l'anno 2003 - Testo vigente
Decisione 2002/909/CE	Approvazione norme italiane sul recupero agevolato dei rifiuti pericolosi - DM 161/2002
Decisione 2000/532/CE	Nuovo CER - Catalogo Europeo dei Rifiuti - Testo vigente
Decisione 2001/573/CE	Modifica elenco rifiuti contenuto nella decisione 2000/532/CE

IPPC	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Direttiva 96/61/CEE (Modificata dalle direttive 2003/35/CE e 2003/87/CE e recepita dal D.Lgs 59/05)	
Decreto legislativo n. 59 del 18 febbraio 2005 G.U. n. 93 del 22 aprile 2005	Attuazione integrale della Direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento
Decreto Min. 19 novembre 2002	IPPC - Istituzione della commissione di esperti
Decreto Min. 26 aprile 2002 modifiche al Dm 23 novembre 2001	Comunicazione 'IPPC' - Differimento di termini
Decreto Min. 23 novembre 2001 'IPPC'	Dati, formato e modalità comunicazione

Normative ambientali rilevanti per l'industria del vetro

La produzione del vetro avviene mediante un ciclo di fusione ad alta temperatura caratterizzato da emissioni solide e gassose che fuoriescono dal forno con i gas di combustione.

Le principali sostanze emesse sono: polveri, ossidi di azoto, ossidi di zolfo e anidride carbonica. I limiti tollerati nell'emissione delle sostanze citate sono stati regolamentati dal DPR 203/88 recante "Attuazione delle direttive CEE nn. 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della Legge 16 aprile 1987, n. 183" e dal DM 12 luglio 1990 che contiene le "Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione".

Date le peculiarità del settore ed in virtù di uno specifico accordo di programma in materia ambientale sottoscritto nel giugno del 1999 tra il Ministero dell'Ambiente ed Assovetro quale Associazione di rappresentanza dell'industria del vetro, il Ministro dell'Ambiente, di concerto con il Ministro della Sanità e dell'Industria, ha accordato all'industria del vetro, con decreto del 4 ottobre 1999 (G.U. n. 264 del 10 novembre 1999), una proroga dei termini di adeguamento dei valori limite di emissione delle polveri. Con tale provvedimento i termini previsti nell'articolo 5 del citato DM 12 luglio 1990 per l'adeguamento delle emissioni di polveri totali degli impianti di produzione di vetro cavo e piano esistenti al 1° luglio 1988 sono stati differiti al 31 dicembre 2002.

Gli impianti per la fabbricazione del vetro, compresi quelli destinati alla produzione di fibre minerali, con una capacità di fusione di oltre 20 tonnellate al giorno, rientrano nel campo di applicazione della Direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento, che ha trovato attuazione nel nostro ordinamento con il D. Lgs. n. 59 del 18 febbraio 2005.

Il Decreto del Ministero dell'Ambiente 23 novembre 2001 che istituisce il registro Nazionale delle Emissioni e delle loro Sorgenti (INES), pubblicato sul Supplemento Ordinario della Gazzetta Ufficiale n. 29 del 13 febbraio 2002, impone alle aziende dell'industria del vetro che rientrano nell'ambito di applicazione della Direttiva 96/61 IPPC di trasmettere alle competenti autorità (Ministero dell'ambiente e APAT) i dati caratteristici relativi alle emissioni in aria, acqua e suolo, al fine di costituire sia l'Inventario Nazionale dell'INES, sia il Registro EPER (European Pollutant Emission Register).

Per quanto riguarda il consumo dell'acqua, peraltro non rilevante per il settore, la normativa di riferimento è rappresentata dal Decreto Legislativo dell'11 maggio 1999, n. 152 (S.O. n. 101/L alla Gazzetta Ufficiale 29 maggio 1999, n. 124; ripubblicato con correzioni sul Supplemento ordinario n. 146/L alla Gazzetta Ufficiale 30 luglio 1999, n. 177), recante "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della Direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della Direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole".

Relativamente alla produzione dei rifiuti, la normativa di riferimento applicabile all'industria del vetro è costituita dal Decreto Legislativo 5 febbraio 1997, n. 22 ("Decreto Ronchi") e successive modificazioni ed integrazioni, che ha dato attuazione in Italia a tre diverse direttive sui rifiuti, la n. 91/156 sui rifiuti, la n. 91/689 sui rifiuti pericolosi e la n. 94/62 sugli imballaggi ed i rifiuti di imballaggio.

L'industria del vetro fa riferimento, altresì, ai contenuti del DM 5 febbraio 1998, pubblicato nel Supplemento ordinario n. 72 della Gazzetta Ufficiale n. 88 del 16 aprile 1998, relativo all'individuazione dei rifiuti non pericolosi sottoposti alle procedure semplificate di recupero ai sensi degli artt. 31 e 33 del D. Lgs. 22/1997. Il provvedimento consente alle aziende del settore di adottare le procedure semplificate previste dalla legge per il recupero di determinate categorie di rifiuti non pericolosi. A tale proposito va evidenziato come di norma il vetro scartato nel corso del processo produttivo venga re-impiegato direttamente nel sito di produzione oppure, in casi particolari, riutilizzato da altri settori dell'industria del vetro.

Tutta l'industria del vetro è interessata all'applicazione della Legge quadro 26 ottobre 1995, n. 447 sull'inquinamento acustico che detta i principi fondamentali in materia di tutela dell'ambiente esterno e dell'ambiente abitativo dall'inquinamento acustico.

Solo alcuni comparti dell'industria del vetro, invece, sono interessati, sia pure marginalmente, all'applicazione del Decreto Legislativo n. 334 del 17 agosto 1999, pubblicato sul Supplemento Ordinario n. 177/L della Gazzetta Ufficiale n. 228 del 28 settembre 1999, che recepisce la Direttiva comunitaria 96/82/CE denominata "Seveso II" sul controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose.

Con la ratifica del Protocollo di Kyoto, avvenuta con Legge 1° marzo 2002 n. 120, mediante la quale l'Italia ha assunto l'obbligo di abbattere, al 2010, le emissioni di anidride carbonica del 6,5%, anche l'industria del vetro è stata coinvolta nel processo di riduzione nazionale delle emissioni di gas serra.

La "Deliberazione 19 dicembre 2002 del Comitato interministeriale per la Programmazione Economica (CIPE) recante la revisione delle linee guida per le politiche e misure nazionali di riduzione delle emissioni di gas serra, ai sensi della citata legge n. 120/2002", pubblicata nella Gazzetta Ufficiale n. 68 del 22 marzo 2003, ha dato completa attuazione ai contenuti della citata Legge 120.

La Delibera, nell'indicare il piano di azione nazionale per la riduzione dei livelli di emissione dei gas serra e l'aumento del loro assorbimento, al fine di raggiungere gli obiettivi di riduzione delle emissioni al minor costo, non specifica gli obblighi di riduzione per i singoli settori industriali.

In base a tale impostazione, anche l'industria del vetro pur essendo coinvolta nel piano nazionale di riduzione delle emissioni di gas serra, non conosce ancora con esattezza il proprio obiettivo di riduzione.

C. RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLE SPECIFICITÀ DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE

L'applicazione della Direttiva 96/61/CE IPPC all'industria del vetro è indirizzata alle installazioni aventi una capacità produttiva superiore alle 20 tonnellate/giorno, comprendendo tutte le attività di tipo industriale ed escludendo la produzione di vetro artistico lavorato a mano.

C.1 *Dati sulla produzione*

Il documento di riferimento per l'industria del vetro BREF ha individuato otto settori che, in base alla rispettiva tipologia produttiva, compongono l'industria del vetro:

- 1) Vetro cavo (bottiglie e contenitori per bevande ed alimenti);
- 2) Vetro piano (materiali per l'edilizia e l'automobile);
- 3) Filamento continuo di vetro (fibra di rinforzo per materiali compositi);
- 4) Vetro per uso domestico (articoli da tavola e da arredamento);
- 5) Vetri speciali (vetro borosilicato per uso farmaceutico, illuminazione, schermi televisivi, cristallo al piombo);
- 6) Lana di vetro e di roccia (fibra per isolamento termico e acustico);
- 7) Fibre ceramiche (materiale per isolamento termico ad alta temperatura);
- 8) Fritte vetrose (materiale di rivestimento per ceramiche, piastrelle e per decorazioni su superfici vetrose).

Nel comparto del vetro cavo, tuttavia, possono essere collocate sia le aziende produttrici di vetro cavo meccanico per contenitori, sia le imprese che producono vetri e cristalli per uso domestico. Le imprese produttrici di lane e filati di vetro possono essere aggregate nel medesimo comparto.

Alcuni dei settori produttivi identificati nel BREF non sono presenti in Italia, in particolare quelli delle fibre ceramiche e della lana di roccia, così come quelli che producono alcune tipologie di vetro speciale.

Il settore delle fritte vetrose, infine, pur essendo stato inserito nel BREF Vetro, non può considerarsi un comparto dell'industria vetraria perché viene normalmente associato all'industria ceramica, sebbene i relativi impianti produttivi presentino caratteristiche simili a quelle degli impianti di fabbricazione del vetro.

In Italia, i settori dell'industria del vetro che rientrano nel campo di applicazione della "Direttiva IPPC" si identificano nelle seguenti tipologie produttive:

- **Vetro sodico-calcico**

Rappresenta circa il 95% della produzione italiana. Viene utilizzato per produrre il vetro cavo (contenitori per l'imballaggio ed articoli da tavola), vetro piano (lastre per edilizia e per auto), vetri tecnici (articoli da illuminazione, fari, vetro-mattone, ecc.);

- **Vetro borosilicato**

Rappresenta circa il 4% della produzione nazionale, di cui l'1% corrisponde al vetro per uso farmaceutico (contenitori e tubo) ed il 3% circa è costituito dalla produzione di filato e fibra di vetro.

- **Vetro al piombo**

Il vetro al piombo o "cristallo", prodotto industrialmente mediante un ciclo continuo, rappresenta una percentuale della produzione nazionale di vetro inferiore all'1%. Il cristallo, utilizzato prevalentemente per la produzione di articoli da tavola ed oggettistica, è caratterizzato da un contenuto minimo di ossido di piombo del 24%, fino a valori superiori al 30%.

Tabella 1 - Quantità annuali di vetro prodotto (vendibile) per settore nell'anno 2002
(Dati ISTAT)

Raggruppamento Merceologico	Quantità annuali di vetro prodotte (tonn.) nell'anno 2002	N. dipendenti (operai e impiegati)
Vetro cavo	3.504.660	8.558
Vetro piano	841.073	3.752
Tubo e vetri tecnici	298.000	1.900
Filamento continuo e lana di vetro	145.000	900
Cristallo al piombo ed altri Vetri	103.000	4.650
Totali	4.868,031	19.746

Tabella 2 - Aziende vetrarie soggette alla Direttiva 96/61/IPPC

Raggruppamento merceologico	Numero Aziende	Stabilimenti o impianti
Vetro cavo	19	38
Vetro piano	5	7
Tubo e vetri tecnici	3	4
Fibra e Filamento continuo di vetro	3	4
Cristallo al piombo	1	1
Totali	31	54

C.2 Distribuzione territoriale degli impianti

Tabella 3 - Distribuzione territoriale delle aziende vetrarie

Regioni	Aziende	Stabilimenti o impianti
Piemonte	2	2
Lombardia	6	8
Veneto	9	10
Trentino Alto-Adige	2	2
Friuli Venezia Giulia	3	3
Liguria	4	5
Emilia Romagna	4	4
Toscana	6	6
Umbria	2	2
Lazio	1	1
Abruzzo	3	3
Campania	3	3
Puglia	4	4
Sicilia	1	1
Totali		54

C.3 Impatto ambientale dell'industria del vetro

L'industria del vetro é caratterizzata da elevati consumi energetici, dovuti principalmente al processo di fusione che può assorbire da un minimo del 50 % a circa l'80 % dei consumi totali. Ciò comporta che le emissioni preponderanti del settore siano rappresentate dall'anidride carbonica, con fattori di emissione compresi tra 500 e 1400 kg CO₂/t. vetro, in funzione della tipologia di vetro prodotto.

Le emissioni in atmosfera rappresentano la principale fonte di inquinamento generata dal settore.

Solo per alcune tipologie di prodotto gli scarichi idrici rappresentano un elemento importante nel bilancio ambientale del ciclo produttivo (lana e filato di vetro, vetro al piombo).

Le emissioni atmosferiche sono composte principalmente dai seguenti inquinanti:

- Ossidi di azoto 50 – 80 % del totale (esclusa anidride carbonica)
- Ossidi di zolfo 20 – 40 % del totale (esclusa anidride carbonica)
- Polveri totali 4 - 6 % del totale (esclusa anidride carbonica)
- Cloruri gassosi circa 1 % del totale (esclusa anidride carbonica)
- Fluoruri gassosi circa 0.2 % del totale (esclusa anidride carbonica)

Le polveri emesse sono principalmente composte da sostanze chimicamente inerti (solfati di sodio e potassio); in funzione del tipo di vetro prodotto possono contenere anche piccole quantità di metalli pesanti. L'eventuale presenza di silice libera cristallina è limitata alle operazioni di movimentazione e stoccaggio delle materie prime (sabbia, miscela vetrificabile); la silice presente nelle emissioni dal forno di fusione rappresenta quantità molto modeste (< 1 % delle polveri totali) ed è quasi totalmente in forma amorfa a causa delle trasformazioni chimico-fisiche della miscela vetrificabile nel corso della fusione ad alta temperatura.

Una stima delle emissioni globali del settore per l'anno 2000 è presentata nella seguente tabella:

Inquinante	Tonnellate/anno
CO ₂ (compresa energia elettrica)	3,600,000
NO _x	15,860
SO _x	9,757
Polveri	1,394
HCl	216
HF	47

Nella seguente tabella sono indicate le tipologie di inquinanti atmosferici relative a ciascun settore:

Tabella relativa alle emissioni caratteristiche del ciclo produttivo

Settore/Attività	Inquinanti atmosferici
Vetro cavo	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL, metalli
T Trattamenti a caldo del vetro	Polveri, stagno organico ed inorganico, HCL, SO _x
Vetro piano	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL, metalli (solo nel caso di vetro colorato)
T Trattamento a caldo del vetro	SO _x
Filamento continuo di vetro	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL
T Trattamenti del prodotto	Polveri, formaldeide, ammoniaca, composti organici volatili (in funzione del tipo di prodotto utilizzato)
Vetro per uso domestico	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL, metalli
Vetri speciali	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL, metalli
T Trattamenti del prodotto	Polveri, HF (produzione di vetro al piombo)
Lana di vetro	
Movimentazione di materie prime	Polveri
Processo di fusione	Polveri, NO _x , SO _x , HF, HCL, metalli
T Trattamenti del prodotto	Polveri, VOC, fenoli, ammoniaca, formaldeide

D. DESCRIZIONE DEI PROCESSI E DELLE TECNICHE DI PRODUZIONE

Il presente capitolo descrive le tecniche di produzione dei vetri industriali prodotti in Italia. Altre tipologie di vetri riportate dal documento di riferimento BREF ma non presenti sul territorio nazionale e non vengono quindi considerate.

D.1 Processo di produzione del vetro industriale

Il ciclo di produzione del vetro industriale si compone delle seguenti fasi:

1. Approvvigionamento delle materie prime, scarico e loro stoccaggio, preparazione della miscela vetrificabile;
2. Fusione della miscela vetrificabile in forni fusori adeguati al tipo di vetro prodotto. Il processo di fusione avviene a temperature comprese fra 1400 e 1600 °C.
3. Formatura dei prodotti in vetro, in precisi intervalli di temperatura;
4. Ricottura dei manufatti di vetro che richiedono la rimozione delle tensioni presenti, per evitare rotture spontanee anche molto tempo dopo la formatura. Questa fase non è presente nel ciclo di produzione del tubo, della lana e del filato di vetro;
5. Controllo della qualità del prodotto ed imballaggio;
6. Immagazzinamento.

Le materie prime necessarie per produrre vetro sono: i vetrificanti, i fondenti, gli stabilizzanti, gli affinantanti, i decoloranti, i coloranti e gli opacizzanti che vengono utilizzati per vetri opachi.

Il **vetrificante** è la materia prima che costituisce la struttura base del vetro.

I **fondenti** hanno la funzione di facilitare il passaggio del vetrificante allo stato liquido durante la fusione.

Gli **stabilizzanti** oltre a consentire la lavorabilità del vetro ed il conferimento delle proprietà fisiche volute, riducono la possibilità di alterazioni della superficie del vetro.

Gli **affinantanti** hanno lo scopo di favorire l'eliminazione dei gas prodotti dalla decomposizione delle materie prime (prevalentemente CO₂) e contribuiscono al processo di omogeneizzazione del vetro fuso.

I **coloranti** hanno la funzione di impartire la colorazione desiderata al vetro. Allo scopo si utilizzano ossidi metallici o fritte vetrose contenenti i coloranti metallici che possono essere aggiunti alla miscela vetrificabile oppure alimentati ai canali di distribuzione del vetro fuso alle macchine di formatura degli articoli.

I **decoloranti** hanno la funzione di neutralizzare la colorazione derivante da eventuali impurezze contenute nelle materie prime (Fe, Cr). Allo scopo si utilizzano composti di metalli che "coprono" il colore indesiderato attraverso una colorazione complementare oppure per mezzo di una reazione chimica che modifica l'effetto colorante delle impurezze coloranti.

Il **rottame di vetro** è di fatto una materia prima vera e propria che viene utilizzata in quantità molto variabile, dal 20 al 90 % della miscela vetrificabile.

Il suo impiego facilita la fusione, riduce il consumo specifico di energia e permette di ridurre le emissioni generate dai forni per vetro.

Prodotti chimici ausiliari possono essere utilizzati per trattamenti specifici dei prodotti in vetro, per migliorare le caratteristiche di resistenza meccanica e/o chimica del vetro, oppure per conferire al manufatto in vetro proprietà particolari. I trattamenti possono essere eseguiti a caldo (trattamento con tetracloruro di stagno, metilbutilcloruro di

stagno, solforazione, ecc.), a freddo (acido oleico, polietilene) o mediante processi di polimerizzazione (apprettatura con resine termoindurenti).

D.1.1 Preparazione della miscela vetrificabile

Le materie prime arrivano allo stabilimento sfuse, con mezzi di trasporto chiusi, oppure imballate in "big bags" o sacchi. Esse vengono normalmente trasferite agli appositi silos di stoccaggio mediante trasporto pneumatico; solo il rottame di vetro ed eventualmente la sabbia vengono stoccati diversamente. Esse vengono prelevate automaticamente, pesate, mescolate ed inviate, mediante nastri trasportatori, o tubazioni per il trasporto pneumatico, alle tramogge di caricamento dei forni per la fusione del vetro.

Alle materie prime vengono aggiunte quantità variabili di rottame di vetro opportunamente frantumato.

Alla miscela vetrificabile così ottenuta viene, generalmente, aggiunta acqua in modo da mantenere un'umidità di circa il 3 %, allo scopo di limitare lo spolverio durante la sua movimentazione.

D.1.2 Processo di fusione e formatura del vetro

La miscela viene alimentata al forno dove viene sottoposta al processo di fusione ad alta temperatura, tra 1400 °C e 1600 °C.

Durante la fusione, nella massa vetrosa si generano inclusioni gassose dovute alla decomposizione delle materie prime, principalmente i carbonati di sodio, calcio e magnesio che danno origine a CO₂, la cui solubilità nel vetro è limitata. Le bolle che ne derivano vengono successivamente eliminate nella fase di affinaggio e la velocità di eliminazione/omogeneizzazione viene favorita dall'aggiunta di sostanze affinanti, principalmente i solfati di sodio e calcio. Tali sostanze, decomponendosi a loro volta, danno origine a gas maggiormente solubili nella massa vetrosa ed a bolle di più grosse dimensioni, caratterizzate da una più elevata velocità di risalita, con conseguente effetto di facilitare l'eliminazione delle bolle più piccole presenti nella massa vetrosa. La fase di affinaggio viene favorita dall'aumento della temperatura del bagno di vetro.

Una successiva fase di condizionamento del vetro è necessaria per raffreddare ed omogeneizzare termicamente la massa fino ad ottenere una viscosità adeguata alla sua lavorazione e trasformazione nel prodotto finale.

La fusione del vetro industriale viene effettuata in forni a bacino con ciclo di produzione continuo. Normalmente, i combustibili impiegati sono il gas naturale e l'olio a basso tenore di zolfo (BTZ); quantità variabili di energia elettrica sono frequentemente impiegate in aggiunta al combustibile fossile.

Per particolari tipi di vetro, in genere per forni di piccola e media capacità, la fusione può essere effettuata in forni riscaldati totalmente con energia elettrica.

Allo scopo di aumentare l'efficienza termica del processo di fusione l'aria comburente viene preriscaldata a spese del calore dei fumi di combustione. I sistemi di preriscaldamento possono essere di tipo recuperativo, ovvero con recupero di calore mediante scambiatori metallici o ceramici (forni Unit Melter) o di tipo rigenerativo, dotati di camere in materiale refrattario per il recupero di calore (rigeneratori). I forni a rigenerazione sono di due tipi: forni con fiamma ad U e camere di rigenerazione posteriori (End Port), forni a fiamma trasversale e camere di rigenerazione laterali (Side Port).

Nel caso di preriscaldamento con recuperatori di calore metallici la temperatura dell'aria può raggiungere circa 800 °C.

Con il sistema a rigenerazione il processo di recupero termico é discontinuo, il forno infatti, é dotato di due camere che lavorano alternativamente, in una prima fase ricevendo i fumi caldi e scaricandoli a circa 400-450 °C ed in una seconda fase ricevendo l'aria di combustione fredda e preriscaldandola fino ad una temperatura di circa 1350 °C.

Nel caso di utilizzo di ossigeno puro in sostituzione dell'aria comburente (ossicombustione), la fase di preriscaldamento non viene effettuata.

D.2 Processo di produzione del vetro piano

Le materie prime principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate
Fondenti	carbonato di sodio
Stabilizzanti	silico-alluminati di sodio e/o potassio, carbonato di calcio, dolomite
Affinanti	solfato di sodio, solfato di calcio e, per particolari produzioni, nitrato di sodio, carbone, (loppe di altoforno)

Rottame di vetro proveniente dagli scarti di produzione.

I forni di fusione utilizzati nel settore del vetro piano sono, in genere, di grandi dimensioni (300-400 m²), hanno capacità produttive fino a 600-700 t/giorno ed una vita di 10-12 anni.

Per la produzione di vetro laminato e stampato vengono utilizzati forni più piccoli, da 150-200 t/giorno.

I forni, in generale, sono dotati di camere di rigenerazione laterali. I bruciatori in questo caso, in numero adeguato alla superficie del forno, producono fiamme trasversali allo stesso (Forni Side Port).

Il combustibile impiegato può essere il metano o l'olio. La temperatura massima nella zona di fusione à di circa 1600 °C. Lungo l'asse del forno la temperatura viene successivamente abbassata fino a circa 1100 °C per raggiungere una viscosità del vetro che ne permetta la colata. Con il processo Float, il vetro viene quindi versato su un bagno di stagno fuso, sul quale galleggia, e viene tirato verso la zona di ricottura.

Nel caso della produzione di laminato, il vetro opportunamente raffreddato viene fatto passare tra due rulli che ne determinano lo spessore e ne imprime l'eventuale decorazione.

Il forno di ricottura viene normalmente alimentato a metano oppure con energia elettrica. La fase di ricottura prevede che il vetro venga portato alla temperatura di 550 °C e raffreddato lentamente in condizioni controllate allo scopo di eliminare le tensioni introdotte nella massa vetrosa durante il processo di formatura. In questa fase il vetro mantiene la sua forma e non subisce alcuna modifica della composizione chimica. All'uscita del forno di ricottura, il vetro viene ispezionato, tagliato automaticamente in lastre ed inviato al magazzino.

D.3 Processo di produzione del vetro cavo

Le materie prime principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate
Fondenti	carbonato di sodio e piccole quantità di carbonato di potassio
Stabilizzanti	allumina, silico-alluminati di sodio e/o potassio, carbonato di calcio, dolomite, carbonato di bario
Affinanti	solfato di sodio, solfato di calcio, nitrato di sodio o nitrato di potassio, carbone, loppe di altoforno

Rottame di vetro, proveniente dalla raccolta differenziata e dagli scarti di produzione.

Alcune delle materie prime indicate vengono impiegate solo per la produzione di vetri per uso domestico e vetri tecnici. Il vetro sodico-calcico per la produzione di contenitori impiega normalmente le seguenti materie prime: sabbia, sodio carbonato, calcio carbonato, dolomite, solfato di sodio, loppa, carbone.

I forni di fusione utilizzati nel settore del vetro cavo sono di dimensioni variabili da 10 a 150 m²; hanno capacità produttive comprese tra 20 e più di 500 t/giorno ed una vita media di 8-10 anni, trascorsi i quali si procede alla manutenzione/ricostruzione della struttura in materiale refrattario.

I tipi di forno utilizzati nella produzione di vetro cavo sono:

- 1) Side Port, 2) End Port, 3) Unit Melter, 4) Elettrico

I primi due sono del tipo a rigenerazione e si differenziano per la posizione dei bruciatori che possono essere montati sulla parete laterale (Side Port) o sulla parete posteriore (End Port). Il forno di tipo Unit Melter è caratterizzato dal recupero di calore mediante scambiatori metallici del tipo a fascio tubiero che operano a ciclo continuo.

Il forno con riscaldamento totalmente elettrico viene utilizzato per piccole capacità produttive e per particolari tipi di vetro (contenitori in vetro opale, vetro da tavola ecc.).

Il vetro fuso nei diversi tipi di forno viene lasciato defluire verso i canali di alimentazione alle macchine formatrici. In questa fase il vetro si omogeneizza termicamente e si raffredda fino a raggiungere la temperatura necessaria per il processo di formatura.

I processi di formatura dei contenitori sono: il pressato diretto, il soffiato-soffiato ed il pressato soffiato. Nel primo caso la lavorazione avviene solo mediante pressatura del vetro in un apposito stampo, questo processo può essere utilizzato solo per articoli a "bocca larga". Il processo "pressato-soffiato" consiste in una fase iniziale mediante pressatura e successivamente la forma desiderata viene completata mediante soffiatura con aria compressa. Il processo "soffiato-soffiato" utilizza sia per la fase iniziale che per la finitura dell'articolo in vetro la soffiatura mediante aria compressa. La scelta del tipo di processo è strettamente legata all'articolo da produrre; il pressato viene utilizzato per la produzione di articoli per la casa (vassoi, coppe, ecc.); il pressato-soffiato è normalmente utilizzato per la produzione di vasellame ma anche per bottiglie; il soffiato-soffiato viene utilizzato per la produzione di contenitori standard e con forme complesse, essendo il processo più versatile tra quelli disponibili.

I contenitori uscenti dalla macchina formatrice vengono inviati al forno di ricottura. Il forno di ricottura viene normalmente alimentato a metano oppure con energia elettrica. Anche nel caso del vetro cavo, la fase di ricottura prevede che il vetro venga portato alla temperatura di 550 °C e raffreddato lentamente in condizioni controllate allo scopo di eliminare le tensioni introdotte nella massa vetrosa durante il processo di formatura. In questa fase il vetro mantiene la sua forma e non subisce alcuna modifica

della composizione chimica. All'uscita del forno di ricottura il vetro viene sottoposto ad ispezione automatica e successivamente inviato all'imballaggio ed al magazzino.

D.4 Processo di produzione del vetro borosilicato (contenitori e tubo)

Le materie prime impiegate principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate, sabbie feldspatiche, prodotti borici;
Fondenti	carbonato di sodio e piccole quantità di carbonato di potassio
Stabilizzanti	allumina, silico-alluminati di sodio e/o potassio, carbonato di calcio, carbonato di bario;
Affinanti	nitrato di sodio ed in piccola quantità composti del fluoro e del cloro (limitatamente alla produzione di tubo).

Rottame di vetro proveniente dagli scarti di produzione

I forni per la produzione di vetro borosilicato hanno capacità variabile da 10 a 40 t/giorno ed hanno una vita media di circa 8 (10) anni.

Nel caso della produzione di tubo di vetro borosilicato, durante la campagna di un forno è necessario eseguire frequenti interventi di manutenzione a freddo sulla struttura di refrattario (in media ogni 18 mesi).

I forni possono essere di tipo elettrico a volta fredda, oppure a combustione con gas metano, del tipo a recupero di calore (Unit Melter), oppure a rigenerazione (Side Port).

Anche nei forni convenzionali a gas metano, una parte dell'energia necessaria per la fusione viene fornita dal "Boosting elettrico".

La temperatura massima del bacino di fusione raggiunge i 1500 °C nel caso del forno elettrico e 1620-1630 °C nei forni a combustione.

Dal bacino di fusione il vetro passa in un canale di condizionamento dove viene raffreddato alla temperatura opportuna per lo stampaggio dei contenitori, oppure per essere colato su un mandrino rotante che da origine al tubo di vetro.

Dal mandrino il tubo viene tirato lungo una pista dove avviene il raffreddamento.

Il prodotto così ottenuto viene successivamente tagliato in pezzi le cui estremità vengono rifinite a fuoco, per poi essere ispezionati ed imballati.

D.5 Processi di produzione di vetro borosilicato (lana e filato).

Le materie prime principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate, sabbie feldspatiche, prodotti borici;
Fondenti	carbonato di sodio;
Stabilizzanti	caolino, carbonato di calcio, dolomite;
Affinanti	solfato di sodio, o nitrato di sodio ed, in alcuni casi, composti del fluoro.

Rottame di vetro proveniente dagli scarti di produzione e, nel caso della produzione di lana di vetro è possibile anche l'uso di rottame esterno.

D.5.1 Processo di produzione della lana di vetro per isolamento

I forni utilizzati per la produzione di lana possono essere del tipo elettrico, oppure con combustione a metano, del tipo a recupero di calore (Unit Melter).

La temperatura massima del bacino di fusione raggiunge i 1400 °C nel caso del forno elettrico e 1450 °C nei forni a metano.

La temperatura dell'aria di combustione, riscaldata per mezzo di scambiatori metallici, (del tipo a singolo stadio), raggiunge, in genere, 400-500 °C.

Dal bacino di fusione il vetro passa nei canali di condizionamento termico all'estremità dei quali viene colato, attraverso uno o più orifici, su una o più filiere rotanti o statiche; la forza centrifuga (nel caso delle filiere rotanti) e un fluido surriscaldato e ad alta pressione (nel caso delle filiere statiche) spingono il vetro fuso a fuoriuscire attraverso i fori della filiera generando così la fibra.

I fili che si formano vengono convogliati per mezzo di getti di gas di combustione nel caso delle filiere rotanti ed dal fluido stesso nel caso delle filiere statiche; essi vengono successivamente spruzzati con un collante a base di resine fenoliche, ureiche, melamminiche ecc. Le fibre vengono successivamente depositate per aspirazione su un tappeto metallico in movimento dove si forma un feltro continuo.

Il feltro viene successivamente fatto passare in un forno dove avviene la presa del collante, per effetto della policondensazione delle resine. Il prodotto così ottenuto passa quindi, previa ispezione, alla linea di finitura, al taglio ed infine all'imballaggio.

D.5.2 Processo di produzione del filamento continuo di vetro

I forni impiegati per la produzione di filamento continuo di vetro sono alimentati a metano; generalmente sono del tipo a recupero di calore (Unit Melter).

La temperatura massima del bacino di fusione è di circa 1500 °C; la temperatura dell'aria prima dei bruciatori raggiunge i 700-800 °C.

Dal bacino di fusione il vetro, attraverso i canali di condizionamento termico, viene inviato ad una serie di filiere in platino.

Per il processo di produzione del filamento continuo di vetro, i filamenti che fuoriescono dalla filiera, dopo essere stati sottoposti ad apprettatura, per contatto di un rullo rotante, con appretto a base di polimeri organici, lubrificanti ed agenti reticolanti, vengono raccolti su un mandrino, in un unico filo o più fili, oppure tagliati in lunghezza da 3 a 22 mm.

Il prodotto così ottenuto può essere avvolto su una bobina oppure raccolto su un tappeto ove si ha la formazione di un materassino (MAT) oppure ancora raccolto in contenitori come filo tagliato.

D.6 Processo di produzione del vetro al piombo

Le materie prime principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate ed, in minima parte, prodotti borici;
Fondenti	carbonato di sodio e carbonato di potassio;
Stabilizzanti	ossidi di piombo ed, in piccole quantità, carbonato di bario;

Affinanti nitrato di sodio, nitrato di potassio e modesti tenori di ossido di antimonio.

I forni impiegati per la produzione di cristallo al piombo con ciclo continuo, sono del tipo a fusione completamente elettrica. La temperatura massima raggiunta dal forno elettrico è di 1400 °C.

Analogamente a quanto avviene per la produzione di vetro cavo sodico-calcico, il vetro al piombo in uscita dalla vasca di fusione viene condizionato alla temperatura necessaria per poter essere alimentato alle macchine formatrici, dove avviene la formatura dell'oggetto per pressatura o soffiatura.

Dalla macchina, l'oggetto viene inviato al forno di ricottura, all'uscita del quale i prodotti vengono ispezionati, imballati ed eventualmente sottoposti a successiva lavorazione (taglio, molatura e lucidatura o semplicemente lucidatura).

D.7 Processo di produzione del vetro artistico lavorato a mano

Il ciclo di produzione del vetro artistico lavorato a mano ha caratteristiche sostanzialmente diverse rispetto al vetro industriale, sia per i componenti della miscela vetrificabile che per l'organizzazione del ciclo di fusione che ha carattere discontinuo.

Le fasi principali del ciclo di produzione sono le seguenti:

1. Preparazione della miscela vetrificabile
2. Caricamento della miscela vetrificabile ai forni di fusione
3. Fusione ed affinaggio del vetro
4. Lavorazione manuale del vetro
5. Ricottura dei manufatti
6. Rifinitura dei manufatti mediante taglio, lucidatura, molatura, ecc.
7. Imballaggio

Le materie prime principalmente impiegate sono:

Vetrificanti	sabbie silicee adeguatamente trattate e purificate ed, in minima parte, prodotti borici;
Fondenti	carbonato di sodio e carbonato di potassio;
Stabilizzanti	Carbonato di calcio (marmo), carbonato di calcio e magnesio (dolomite), allumina idrata
Affinanti	nitrato di sodio, nitrato di potassio, anidride arseniosa, antimonio ossido, fluoruro di calcio (spatofluore).
Coloranti	Cobalto, rame, nichel, ferro, cromo, manganese, neodimio, selenio, erbio, cadmio, titanio, oro, argento.
Opacizzanti	Spatofluore, fluosilicato di sodio, ossido di piombo (minio), arsenico.

I forni impiegati per la produzione di vetro artistico lavorato a mano sono di due tipi:

- Forni a crogiolo (con uno o più crogioli)
- Forni a vasca

I forni a crogiolo hanno generalmente una capacità produttiva compresa tra 10 e 700 kg di vetro, mentre i forni a vasca variano da 500 a 2000 kg di vetro. In un sito produttivo sono presenti più forni fino ad un massimo di 10-15. I forni a vasca vengono normalmente impiegati per la produzione di vetro trasparente incolore o per le colorazioni

più frequenti (blu, verde, acqua mare, ecc.) mentre i forni a crogiolo vengono utilizzati prevalentemente per la produzione di vetro colorato.

Il combustibile impiegato per il ciclo di produzione è il gas naturale

Il ciclo di fusione del vetro artistico è di tipo discontinuo e si compone di due fasi principali:

- Fusione della miscela vetrificabile
- Lavorazione del vetro

La fase di fusione ha una durata di circa 8-10 ore e viene effettuata per un numero variabile di giorni alla settimana (massimo 5 volte).

Durante questa fase i forni raggiungono temperature di circa 1350-1450 °C. La fusione viene seguita da una fase di raffreddamento del vetro, della durata di circa 5 ore, fino a raggiungere una temperatura necessaria per mantenere il vetro in condizioni di viscosità adatte alla lavorazione (1050 °C circa).

La fase di lavorazione consiste nel prelevare aliquote di vetro dai forni e sottoporle a soffiatura manuale o semi/automatica, oppure a pressatura in un apposito stampo, al fine di conferire la forma desiderata al manufatto. Durante questa fase il manufatto viene periodicamente riscaldato allo scopo di mantenere la viscosità del vetro in un intervallo che ne permetta la lavorabilità.

D.8 Uso di prodotti chimici ausiliari ed altri processi secondari

Nel corso dei cicli di produzione del vetro sono talvolta necessari dei trattamenti particolari aventi lo scopo di migliorare le proprietà dei prodotti, come ad esempio la resistenza meccanica dei contenitori, la resistenza chimica di vetro piano e cavo, le caratteristiche estetiche ottiche del vetro al piombo, ecc.

I trattamenti eseguiti mediante prodotti chimici ausiliari, comunemente utilizzati nella produzione di vetro industriale sono i seguenti:

D.8.1 Trattamenti superficiali eseguiti a caldo

In genere, riguardano il ciclo di produzione del vetro cavo e del vetro piano.

Vetro cavo

Un tipico trattamento a caldo del vetro cavo consiste nella deposizione di un sottilissimo strato di ossido metallico, in genere ossido di stagno o di titanio, sulla superficie dei contenitori di vetro, subito dopo l'uscita dalla macchina formatrice.

Lo strato, pur essendo estremamente sottile, inferiore a 0.01 μm incrementa sensibilmente la resistenza del contenitore, in particolare la resistenza agli urti e facilita l'adesione del successivo trattamento a freddo.

Un altro trattamento eseguito a caldo consiste nell'uso di SO_3 , ottenuta per ossidazione catalitica del biossido di zolfo o per decomposizione di solfato di ammonio, allo scopo di migliorare le proprietà chimiche del vetro, nel caso in cui il suo impiego richieda una resistenza chimica particolarmente elevata (vetri per uso farmaceutico).

Nel caso si rendesse necessario un trattamento specifico per le emissioni dovute ai trattamenti a caldo, in particolare con composti dello stagno, i fumi possono essere convogliati e trattati congiuntamente a quelli derivanti dal forno di fusione del vetro.

Vetro piano

Il ciclo di produzione del vetro piano, in particolare nel caso del vetro per l'edilizia, prevede un trattamento superficiale a caldo eseguito con SO₂ allo scopo di migliorarne la resistenza chimica agli agenti atmosferici.

Le quantità dei prodotti impiegati in questi trattamenti non comportano, in genere, un impatto ambientale rilevante. Le emissioni relative vengono spesso convogliate congiuntamente ai fumi di combustione emessi dal forno fusorio in un unico sistema di trattamento dei fumi.

Vetro artistico lavorato a mano

Il vetro artistico lavorato a mano può essere sottoposto a trattamenti superficiali eseguiti a caldo quali il "trattamento all'iride" mediante cloruro stannoso ed il "vetro scavo" mediante miscele di minerali tra cui sodio bicarbonato, potassio nitrato, titanio ossido, ecc.

D.8.2 Trattamenti superficiali eseguiti a freddo

Vengono utilizzati in particolare per il vetro cavo che è soggetto a numerose operazioni di riempimento e, quindi, a frizioni continue della superficie.

I trattamenti superficiali vengono eseguiti sui contenitori dopo il ciclo di ricottura del vetro, per vaporizzazione di acido oleico o per spruzzatura di emulsioni acquose, principalmente a base di polietilene.

Le quantità di prodotto impiegate non comportano un impatto ambientale rilevante per il settore e, conseguentemente, le emissioni relative ai suddetti processi secondari non sono state considerate significative ai fini della valutazione delle migliori tecnologie disponibili (BAT).

D.8.3 Trattamenti di apprettatura delle lane e filati di vetro

Il processo di produzione delle lane e filati di vetro richiede, come già illustrato precedentemente, un trattamento con un legante chimico costituito, in genere da resine termoindurenti, che mantenga assemblate le fibre o i filati nel manufatto.

Gli appretti impiegati sono costituiti, in genere, da una dispersione acquosa di resine fenoliche, resine poliestere od ureiche, di lignina, silano, acetati di polivinile, ammoniacca ed eventuali agenti coloranti.

Le lane ed i filati di vetro, in genere, dopo essere stati apprettati, vengono trattati in un forno continuo di essiccazione e reticolazione e, successivamente, in una sezione di raffreddamento con aria ambiente.

D.8.4 Altri processi secondari

I prodotti in vetro possono essere sottoposti ad ulteriori trattamenti quali la decorazione con smalti vetrificabili, la satinatura per acidatura o per sabbatura, l'accoppiamento delle lastre di vetro con altri materiali di rinforzo per i vetri di sicurezza, la deposizione di metalli per la produzione degli specchi, la serigrafia per l'identificazione dei prodotti ecc.

Dato che, nella maggior parte dei casi, i suddetti processi secondari vengono eseguiti da aziende esterne ai siti di produzione del vetro, essi non verranno presi in considerazione nel presente documento.

E. DESCRIZIONE DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER L'INDIVIDUAZIONE DELLE BAT

E.1 Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore

L'industria del vetro è composta da diversi sottosettori che presentano caratteristiche sostanzialmente diverse. Le principali differenze si possono riassumere nei seguenti punti:

1. Tipo di vetro prodotto e materie prime impiegate
2. Standard di qualità richiesto al prodotto finale
3. Dimensione e tipologia dei forni utilizzati per la fusione
4. Tipo di combustibile impiegabile/impiegato
5. Vita media del forno di fusione

La definizione di migliori tecniche e tecnologie per l'industria del vetro deve necessariamente tenere conto delle differenze che contraddistinguono i vari sottosettori. Tale approccio è stato adottato anche nel documento di riferimento europeo BREF, dove le BAT sono state analizzate per ciascun sottosettore.

La definizione di migliori tecniche e tecnologie (BAT) per l'industria del vetro richiede innanzitutto un'attenta verifica che esista un'applicazione industriale della BAT candidata al sottosettore specifico e non genericamente all'industria del vetro.

L'efficienza di rimozione o di riduzione degli inquinanti ottenuta dall'applicazione della BAT candidata può dipendere sostanzialmente dalla sua implementazione su un forno esistente o su un forno "nuovo" in occasione del rifacimento.

E' inoltre importante valutare tutti gli effetti derivanti dall'applicazione della BAT, in particolare l'eventuale produzione di rifiuti solidi, l'aumento dei consumi energetici e l'incidenza sul costo del prodotto finale.

E.2 Aspetti tecnici e tecnologici dello specifico settore

Il settore è fortemente diversificato sia per la tipologia di vetro prodotto, con conseguente diverso valore aggiunto (bottiglie e contenitori, bicchieri, vetro per l'edilizia, vetri per l'industria automobilistica, oggettistica, vetro artistico, vetro per uso farmaceutico, lana di vetro e filato di vetro per materiali compositi, ecc.) sia per le capacità produttiva e la tipologia degli impianti utilizzati per il ciclo di fusione.

I principali aspetti tecnici e tecnologici di ciascun settore si possono riassumere nei seguenti punti:

Vetro cavo

La definizione di vetro cavo comprende sia il vetro per contenitori di alimenti (bottiglie, vasi, ecc.) che la produzione di contenitori per profumeria, cosmetici, ecc. In funzione del tipo di vetro e quindi della qualità richiesta vengono impiegati forni di tipologia e capacità sostanzialmente diversa, da un minimo di 20 t/giorno fino a superare 500 t/giorno.

I forni utilizzati per la fusione sono i seguenti:

1. Forni a recupero di calore (Unit Melter), caratterizzati da minori costi di investimento ma minore efficienza energetica.
2. Forni a rigenerazione (End Port e Side Port), caratterizzati da più alti costi di investimento, un'elevata efficienza energetica ed maggiore capacità produttiva.
3. Forni elettrici, caratterizzati da elevati costi di gestione, ridotta flessibilità, basse capacità produttive ma emissioni molto contenute. A causa dei costi elevati, essi vengono impiegati solo per prodotti in vetro ad alto valore aggiunto.

Alcune tipologie di vetro cavo, in particolare per la produzione di bottiglie colorate (verde, ambra) presentano un limite alla quantità di composti dello zolfo che può essere assorbita dalla massa vetrosa, legato alla colorazione richiesta per il prodotto. Ciò comporta che tutto lo zolfo in eccesso, introdotto con il rottame di vetro (per il vetro colorato si utilizza fino all' 80 + 90 % di rottame di provenienza esterna nella miscela vetrificabile) e/o con le polveri derivanti dalla filtrazione e trattamento fumi, viene emesso in atmosfera sottoforma di SOx.

L'elevata qualità del vetro richiesta per alcune tipologie di prodotto non consente l'utilizzo di rottame di vetro di provenienza esterna, l'eventuale riciclo delle polveri generate da impianti di filtrazione dei fumi e può richiedere l'impiego di nitrati nella miscela vetrificabile.

Vetro piano

I forni per la produzione di vetro piano sono caratterizzati dalle più elevate capacità produttive di tutta l'industria vetraria (500 + 700 t/giorno); essi sono, in generale, del tipo a rigenerazione (Side Port), con fiamme trasversali.

La qualità elevata richiesta per i vetri piani da impiegare nell'edilizia, industria automobilistica, arredamento, ecc. limita fortemente la possibilità di impiegare rottame di vetro di provenienza esterna ed in taluni casi non consente il riciclo nella miscela vetrificabile delle polveri prodotte per filtrazione e trattamento fumi.

Le grandi dimensioni dei forni utilizzati per la fusione limitano l'impiego di tecnologie di fusione alternative, quali la fusione elettrica e l'ossicombustione, attualmente insostenibili dal punto di vista economico.

Vetro borosilicato (contenitori e tubo)

La produzione di vetro borosilicato è caratterizzata da capacità produttive relativamente basse (10-40 t/giorno) e da elevati consumi energetici, dovuti alle alte temperature di fusione della miscela vetrificabile (fino a 1630 °C).

La presenza di minerali a base di boro nella composizione di questo tipo di vetro può limitare sensibilmente la tipologia delle tecniche utilizzabili per la rimozione delle emissioni solide e gassose, a causa del comportamento chimico-fisico dei composti del boro che, evaporando dal bagno di vetro fuso, sono presenti nei fumi in quantità significative.

L'impiego del vetro borosilicato per uso farmaceutico richiede un'elevata qualità del prodotto con la necessità di utilizzare materie prime affinanti specifiche quali: composti del fluoro e del cloro, nitrati di sodio e potassio.

Il rottame utilizzabile nel ciclo produttivo è rappresentato esclusivamente dagli scarti di produzione.

Vetro borosilicato (filamento continuo di vetro)

I forni impiegati per questo tipo di produzione sono a recupero di calore (Unit Melter) ed anche in questo caso, le temperature necessarie per la fusione della miscela vetrificabile sono particolarmente elevate (circa 1600 °C). La presenza di composti del boro nei fumi e, contemporaneamente, l'assenza di sali di sodio nella miscela vetrificabile rendono le emissioni derivanti da questo ciclo produttivo particolarmente complesse da trattare, limitando le tecnologie che possono essere applicate.

Il rottame utilizzabile nel ciclo produttivo è rappresentato esclusivamente dagli scarti di produzione, ad esclusione del materiale già trattato con appretti organici.

Vetro borosilicato (lana di vetro)

Come per le altre tipologie di vetro borosilicato, le problematiche relative alla produzione di lana di vetro sono legate alla piccola dimensione dei forni ed alla presenza di composti di boro nei fumi.

Le tecnologie di fusione per questo tipo di vetro sono essenzialmente i forni a recupero di calore (Unit Melter) ed i forni totalmente elettrici. Il rottame utilizzato nel ciclo produttivo è rappresentato dagli scarti di produzione interni ma può essere impiegato anche rottame di provenienza da raccolta differenziata.

Vetro al piombo

La produzione di vetro al piombo, ovvero di cristallo, richiede l'impiego di grandi quantità di minerali di piombo nella miscela vetrificabile. Infatti, la definizione di "cristallo" è regolamentata da norme precise che indicano le concentrazioni minime di Pb necessarie per poter utilizzare tale denominazione (≥ 24 % PbO). Il piombo impartisce caratteristiche particolari al vetro, in particolare un indice di rifrazione tale da conferire brillantezza al prodotto.

La presenza di grandi quantità di piombo nei fumi rappresenta un problema ambientale particolarmente importante tale da richiedere soluzioni tecnologiche efficienti, quali la fusione elettrica.

Vetro artistico lavorato a mano

La produzione di vetro artistico spesso richiede l'impiego di sostanze affinanti ad elevato impatto ambientale (arsenico, antimonio).

La sostituzione di questi componenti può essere problematica in quanto l'affinaggio del vetro eseguito in forni a crogiolo ed a vasca, che operano a temperature relativamente basse (1400-1450 °C), richiede l'aggiunta di sostanze che diventano "attive" a tali temperature (As, Sb).

L'utilizzo di sostanze coloranti, opacizzanti, ecc. che conferiscono particolari caratteristiche estetiche al prodotto (cadmio, selenio, cobalto, cromo, fluoruri, ecc.) rappresenta un aspetto attualmente insostituibile per questo tipo di produzione.

La presenza di più forni in uno stesso sito, aventi dimensioni assai variabili (10-5000 kg) ed il carattere discontinuo delle emissioni (più elevato durante la fusione, nettamente inferiore durante la lavorazione ed il mantenimento del vetro), limitano la scelta tra le tecnologie disponibili per il controllo delle emissioni.

E.3 Aspetti ambientali: consumi e livelli di emissione attuali

E.3.1 Consumi energetici

L'industria del vetro é caratterizzata da elevati consumi energetici, dovuti principalmente al processo di fusione che può assorbire da un minimo del 50 % a circa l'80 % dei consumi totali.

Altri consumi energetici importanti sono relativi alla fase di ricottura del vetro, alla movimentazione di aria compressa di processo o ventilata di raffreddamento mediante ventilatori, al riscaldamento dei locali, ecc.

I consumi energetici specifici, relativi alla fusione di una tonnellata di vetro, variano sensibilmente per i diversi settori. I dati riportati in tabella rappresentano il consumo energetico complessivo del ciclo di produzione (fusione + lavorazione ed attività secondarie), espresso per tonnellata di vetro fuso.

SETTORE	CONSUMO ENERGETICO
	GJoule/tonn. Vetro
Cavo	4-10
Cavo per uso domestico	6-18
Piano	5-10
Borosilicato (tubo e cavo)	4-15
Borosilicato (lana e filato)	15-30
Vetro al piombo	13-28

Malgrado le aziende vetrarie italiane siano caratterizzate da consumi energetici specifici, riferiti ad una tonnellata di vetro prodotto, tra i più bassi d'Europa, i valori sono compresi in un intervallo relativamente ampio. Ciò è dovuto, a differenza dagli altri Paesi Europei, alla presenza di numerosi forni di piccola e media dimensione, nonché all'uso di un numero significativo di forni della tipologia a recupero di calore (Unit Melter), caratterizzati da più elevati consumi energetici.

In Italia, l'80 % circa della produzione di vetro industriale é ottenuta mediante combustione con metano.

L'impiego di altro combustibile fossile si limita all'uso di olio a basso tenore di zolfo (contenente circa 1 % di S).

L'energia elettrica viene impiegata sia per l'alimentazione di ventilatori, compressori e per altri servizi, che per fornire calore ausiliario durante la fusione, sottoforma di "boosting elettrico".

Il riscaldamento totalmente elettrico per il processo di fusione del vetro é limitato alla produzione di vetri speciali (vetro borosilicato, vetro al piombo, vetro opale, vetro sodico-calcico di elevata qualità) e per capacità produttive ridotte (5-150 t/giorno).

E.3.2 Consumi di acqua

Il principale utilizzo dell'acqua nel ciclo di produzione del vetro é relativo all'umidificazione della miscela vetrificabile, al raffreddamento delle strutture, dei macchinari, del vetro di scarto; al lavaggio del prodotto finito.

Vetro cavo

Normalmente, l'uso di acqua riguarda le seguenti operazioni:

- umidificazione della miscela vetrificabile, per limitarne lo spolverio;
- raffreddamento delle strutture termicamente piú critiche del forno fusorio;
- raffreddamento delle lame per il taglio delle gocce di vetro;
- raffreddamento del vetro caldo scartato nella formazione del manufatto o drenato dal forno.

Una consistente quantità di acqua viene impiegata per il raffreddamento delle strutture sollecitate termicamente (elettrodi, infornatrici, pompe a vuoto, compressori, ecc.).

L'acqua utilizzata per il raffreddamento delle lame contiene degli oli lubrificanti in emulsione.

Sia nei casi in cui viene utilizzata a ciclo aperto che nell'utilizzo con ciclo chiuso, lo scarico dell'acqua non costituisce un problema; infatti, nel primo caso le caratteristiche rientrano nei limiti fissati dalle normative, nel secondo caso viene riciclata, previo reintegro dell'acqua evaporata.

L'acqua utilizzata per il raffreddamento del vetro caldo, inquinata dalla presenza degli oli lubrificanti provenienti dalle macchine formatrici, opera in un ciclo chiuso nel quale si accumulano la polvere di vetro, gli oli lubrificanti non trattiene dal rottame di vetro ed il calore.

Quest'acqua viene sottoposta a decantazione prima di essere inviata alla torre di raffreddamento per lo smaltimento del calore.

Periodicamente, i residui separati nelle vasche di decantazione vengono asportati per essere smaltiti.

Il consumo d'acqua relativo alla produzione di vetro cavo, in presenza di riciclo, é di circa 1-5 m³/tonn. vetro. Nel caso di produzione di vetro per uso domestico i consumi sono compresi tra 4 e 9 m³/tonn. vetro

Il ciclo di produzione effettuato mediante forno elettrico, con lavaggio ad umido dei fumi, comporta consumi di acqua fino a valori di 20 m³/tonn. vetro.

Vetro piano

Il consumo d'acqua nella produzione di vetro piano riguarda, generalmente le seguenti operazioni:

- umidificazione della miscela vetrificabile;
- raffreddamento delle strutture ed attrezzature varie;
- raffreddamento e lavaggio del nastro di vetro;
- lavaggio dei vetri sottoposti a processi di laminazione, tempera ecc.;
- acque di processo per la produzione dello specchio.

Le acque di raffreddamento e quelle di lavaggio vengono, in genere, utilizzate in circuito chiuso con reintegro dell'aliquota evaporata. Esse, solitamente, contengono quantità poco significative di solidi in sospensione.

Diversamente, le acque derivanti dalla produzione dello specchio possono contenere quantità importanti di metalli pesanti e di ammoniaca e richiedono pertanto un trattamento specifico per la separazione e recupero degli inquinanti.

Il consumo d'acqua relativo alla produzione di vetro piano é di circa 1- 2 m³/tonn. vetro.

Vetro borosilicato

Il consumo d'acqua relativo alla produzione di vetro borosilicato varia notevolmente con la tipologia di prodotto. In particolare, mentre la produzione di contenitori e di tubo rientra negli schemi descritti per il vetro cavo, i processi di formazione della lana e del filato di vetro rappresentano un caso a parte.

Produzione della lana e del filato di vetro

Il consumo di acqua nel ciclo di produzione della lana e del filato di vetro riguarda le seguenti operazioni:

- raffreddamento delle strutture e di attrezzature varie;
- raffreddamento della fibra o del filato di vetro;
- trattamento della fibra o del filato con sospensioni acquose di resine a base di polimeri organici.
- raffreddamento indiretto dei compressori, ecc.

L'acqua utilizzata per il raffreddamento delle strutture e del prodotto viene generalmente riciclata.

Le acque reflue provenienti dai trattamenti della lana e del filato di vetro con appretti organici richiedono un processo di trattamento chimico/fisico.

Il consumo di acqua per la produzione di filato di vetro é di circa 8 m³/tonn. vetro; nel caso della fibra i consumi sono di circa 80 m³/tonn. vetro.

Vetro al piombo

Il ciclo di produzione del vetro al piombo é del tutto simile a quello del vetro cavo sodico-calcico. L'acqua di processo viene, generalmente utilizzata a ciclo chiuso.

Nel caso in cui venga effettuata, direttamente nel sito di produzione, l'operazione di lucidatura chimica, con soluzioni diluite di acido fluoridrico, é necessario un trattamento chimico per la rimozione degli inquinanti presenti nelle acque di lavaggio. Il consumo di acqua relativo alla produzione di vetro al piombo é di circa 8 m³/tonn. vetro, comprese le lavorazioni secondarie (lavaggio, lucidatura, ecc.).

Vetro artistico

Il consumo di acqua nel ciclo di produzione di vetro artistico a lavorazione manuale può variare notevolmente in funzione delle tipologie di articoli lavorati. I principali usi dell'acqua dono i seguenti:

- 1) Lavorazioni di finitura (taglio, lucidatura, molatura)
- 2) Raffreddamento/lavaggio delle canne di soffiatura del vetro
- 3) Raffreddamento degli stampi

Le acque provenienti dalle operazioni di finitura richiedono un trattamento specifico per la separazione dei solidi in sospensione ed, eventualmente, per la rimozione

dei metalli presenti in soluzione. In genere, le acque debitamente trattate possono essere riciclate alle operazioni di moleria.

E.3.3 Consumo di risorse naturali

Le materie prime utilizzate in maggior quantità per la produzione di vetro sono abbondantemente presenti in natura (sabbie, feldspati, dolomite, carbonato di calcio ecc.); altre vengono ottenute chimicamente a partire da minerali (carbonato di sodio, solfato di sodio ecc.).

Ciò comporta, comunque, un consumo di risorse naturali che può essere stimato approssimativamente nei tenori seguenti, relativi all'anno di produzione 2002:

Vetro cavo	2,750,000	tonn/anno
Vetro piano	775,000	tonn/anno
Vetro borosilicato (lana + filamento)	193,000	tonn/anno
Tube e vetri tecnici	222,500	tonn/anno
Vetro al piombo e altri vetri	125,000	tonn/anno

L'estrazione delle materie prime dalle cave richiede, in genere, una pianificazione preventiva degli interventi necessari a ristabilire le condizioni ambientali dopo la chiusura parziale o totale dell'area di estrazione. Il costo di questa operazione è sostenuto indirettamente dall'industria del vetro, consumatrice del minerale estratto.

E.4 Aspetti ambientali – Emissioni

L'aspetto ambientale più rilevante dell'industria del vetro è rappresentato dalle emissioni in atmosfera. Alcuni settori sono caratterizzati da lavorazioni secondarie del prodotto in vetro che generano anche emissioni idriche significative (fibra e filamento continuo di vetro, vetro al piombo).

E.4.1 Emissioni in atmosfera

Le emissioni derivanti dal ciclo di produzione del vetro sono generate principalmente dal processo di fusione ad alta temperatura; esse dipendono sostanzialmente dal tipo di vetro prodotto, quindi dalle materie prime impiegate, dal tipo di forno e di combustibile utilizzati per la fusione.

Gli inquinanti principali sono rappresentati da: polveri, ossidi di azoto, ossidi di zolfo, anidride carbonica. A questi si aggiungono altri inquinanti occasionali che dipendono fortemente dalla qualità delle materie prime impiegate o dall'utilizzo di sostanze particolari, necessarie per conferire caratteristiche specifiche al prodotto (opacità, brillantezza, colorazione ecc.); cloruri e fluoruri gassosi, metalli pesanti.

Polveri totali

Sono dovute in parte allo spolverio delle frazioni fini presenti nella miscela vetrificabile, ma principalmente ai fenomeni di evaporazione delle sostanze più volatili dal bagno di vetro che ricondensano nella fase di raffreddamento dei fumi.

Esse dipendono fondamentalmente dal tipo, dalle qualità e quantità delle materie prime impiegate, dalla temperatura del forno, dalla velocità di passaggio dei fumi sulla superficie del bagno di vetro e dal tonnellaggio di vetro prodotto. Sono caratterizzate da una granulometria molto fine di cui circa l'80 % è inferiore a 2 µm.

Nel caso di vetri sodico-calcici le polveri sono costituite per il 95 % circa di solfati di Na, K, Ca, Mg.

Nel caso di produzione di vetro borosilicato (tubo, fibra e filato) le emissioni di polvere sono dovute sostanzialmente all'evaporazione dei composti del boro, estremamente volatili, presenti nella miscela vetrificabile. La composizione delle polveri é costituita da circa il 95 % di borati di sodio, calcio e potassio.

La produzione di vetro al piombo é caratterizzata da emissioni di polveri contenenti fino al 70-80 % di ossido di Pb, solo nel caso di fusione in forni a combustione convenzionale.

Nel caso di impianti dotati di sistemi di trattamento fumi per la riduzione degli inquinanti gassosi, mediante aggiunta di reagenti alcalini solidi, la qualità e quantità delle polveri totali varia significativamente in funzione della tipologia di reagente impiegato e della sua quantità.

Ossidi di azoto (NOx)

Possono avere due diverse origini: l'ossidazione, ad alta temperatura, dell'azoto contenuto nell'aria di combustione, la decomposizione di nitrati alcalini eventualmente utilizzati nella miscela vetrificabile per la produzione di vetri di elevata qualità.

L'emissione di NOx é influenzata principalmente dall'eccesso d'aria di combustione, dalla temperatura di preriscaldamento dell'aria, dalle temperature di fiamma e dal tempo di residenza ad alta temperatura. Conseguentemente a quanto detto sopra, a parità di altre condizioni, le concentrazioni di NOx variano in funzione del tipo di forno (End Port, Side Port, Unit Melter) e di combustibile (olio, metano) utilizzati per la fusione del vetro.

Gli ossidi di azoto emessi dai forni per vetro sono costituiti principalmente da NO (90-95 %), il resto é rappresentato da NO₂.

Ossidi di zolfo (SOx)

Possono avere due diverse origini: ossidazione dello zolfo contenuto nell'olio combustibile, decomposizione delle materie prime contenenti zolfo, spesso presenti nella miscela vetrificabile dei vetri industriali come affinantanti della massa vetrosa fusa (prevalentemente solfati di sodio o di calcio, raramente solfato di bario) o come coloranti (solfuri) del vetro giallo ambra.

Loppe di altoforno, con un tenore di solfuri di circa l'1 %, vengono impiegate principalmente come coadiuvanti dell'affinaggio. L'ossidazione dello zolfo porta alla formazione di ossidi di zolfo che vengono emessi con i fumi di combustione.

Il rottame di vetro, aggiunto in quantità variabili alla miscela vetrificabile, può dare origine ad emissioni di SOx a causa del suo diverso grado di saturazione in SO₃, rispetto al vetro da produrre. Infatti, lo stato di ossidazione del vetro determina il suo grado di saturazione in SO₃, con conseguente emissione dei composti dello zolfo presenti in eccedenza.

Gli ossidi di zolfo emessi dai forni per vetro sono costituiti principalmente da SO₂ (circa il 92-95 %), il resto é rappresentato da SO₃.

Cloruri gassosi (HCl)

La presenza di cloruri gassosi nei fumi emessi da un forno per vetro é dovuta esclusivamente alle impurezze contenute nelle materie prime e nel rottame, utilizzati per la preparazione della miscela vetrificabile.

Le principali fonti di cloruri sono rappresentate dal carbonato di sodio (Solvay), ottenuto a partire dal cloruro di sodio, dalle loppe di altoforno, talvolta raffreddate con acqua di mare, dal rottame proveniente dalla raccolta ecologica.

In casi particolari, per alcune tipologie produttive, le emissioni di cloruri gassosi possono derivare dall'impiego di cloruro di sodio nella miscela vetrificabile.

Un'altra sorgente di emissione di cloruri gassosi è rappresentata dalle operazioni di trattamento a caldo della superficie dei contenitori, normalmente eseguite mediante l'uso di stagno tetracloruro. In questo caso, parte del prodotto evapora a contatto del vetro caldo dando origine ad emissioni in atmosfera di HCl.

Fluoruri gassosi (HF)

Le emissioni di fluoruri gassosi possono avere due diverse origini: la presenza di impurezze nelle materie prime e nel rottame impiegati; l'uso di composti a base di fluoro nella composizione della miscela vetrificabile.

Le materie prime caratterizzate dalla presenza di quantità variabili di fluoruri, quali impurezze, sono generalmente la dolomite, le sabbie trattate e purificate, il rottame proveniente dalla raccolta ecologica.

Nel caso di produzione di vetro opale, la miscela vetrificabile viene formulata in modo che nella massa vetrosa finale sia presente circa il 5-6 % di fluoro, allo scopo di impartire la necessaria opalescenza al prodotto finale. L'evaporazione di quantità anche modeste di fluoro porta ad emettere concentrazioni elevate di questo inquinante. Per il suddetto motivo la fusione del vetro opale viene eseguita normalmente in forni elettrici a volta fredda.

La produzione di vetro borosilicato, ad esclusione del filamento continuo, spesso richiede l'utilizzo, come affinante, di piccole quantità di fluoruro di calcio nella miscela vetrificabile. La decomposizione ed evaporazione parziale di questo composto provoca l'emissione di HF in quantità significative.

Le operazioni di lucidatura della superficie del cristallo al piombo, mediante soluzioni diluite di acido fluoridrico, possono dare origine ad emissioni in atmosfera di fluoruri gassosi, sottoforma di HF.

Metalli pesanti

Ad eccezione della produzione di vetro al piombo e del vetro artistico, la presenza di metalli pesanti nelle emissioni derivanti dai forni per la produzione di vetro industriale dipende quasi esclusivamente dalle impurezze contenute nelle materie prime impiegate, in particolare nel rottame proveniente dalla raccolta ecologica.

I metalli riscontrabili in concentrazioni apprezzabili sono il piombo ed il cromo (III), ed, in quantità ben piú modeste, il cadmio, l'arsenico, l'antimonio, provenienti presumibilmente dal rottame di vetro artistico.

A volte possono essere utilizzate come coloranti o decoloranti quantità significative di selenio, cobalto, nichel, cromo.

Anche la tipologia del combustibile impiegato per la fusione può contribuire all'emissione di metalli pesanti, in particolare nel caso di combustione con olio si possono rilevare emissioni di nichel e vanadio, le cui quantità dipendono dalla provenienza del greggio utilizzato per la produzione dell'olio impiegato.

Nel caso specifico della produzione di vetro al piombo, la presenza di ossidi di piombo nella miscela vetrificabile, necessaria a conferire le caratteristiche di brillantezza al prodotto, provoca una parziale evaporazione dal bagno di vetro con conseguente emissione di concentrazioni elevate di ossidi di Pb.

E' per tale motivo che la produzione industriale di vetro al piombo viene eseguita prevalentemente con forni elettrici a volta fredda.

E.4.2 Scarichi idrici

Come già indicato nei precedenti paragrafi, la maggior parte dell'acqua utilizzata nel ciclo di produzione del vetro viene riciclata. In alcuni casi, in particolare nella produzione di lana di vetro ed il filamento continuo è necessario scaricare dopo trattamento parte delle acque utilizzate per il processo. Per questi settori, l'ammontare degli scarichi idrici sono rispettivamente di circa 65 m³/ton di vetro fuso per la lana di vetro e 5 m³/ton di vetro fuso per il filato continuo.

I principali inquinanti che possono essere contenuti nelle acque scaricate sono i seguenti:

Vetro cavo	Solidi sospesi, oli minerali
Vetro piano	Solidi sospesi
Vetro al piombo	Composti del piombo, SO ₄ ⁼ , F-
Lana di vetro	Ammoniaca, fenolo
Filamento continuo di vetro	Solidi sospesi, formaldeide, tensioattivi
Vetro artistico	Solidi sospesi, metalli

E.4.3 Emissioni sonore

Il ciclo di produzione del vetro può essere caratterizzato da emissioni sonore anche particolarmente elevate, strettamente legate alla tecnologia impiegata per la lavorazione del vetro.

Normalmente, i limiti assoluti di immissione vengono rispettati e, pertanto, il criterio differenziale non si applica agli impianti per la produzione di vetro, di qualsiasi tipologia, esistenti alla data di entrata in vigore del decreto 11 dicembre 1996, in quanto sono impianti a ciclo continuo, la cui fermata causerebbe un danno irreparabile alle strutture dei forni stessi.

Le principali sorgenti di rumore per i diversi settori sono le seguenti:

Sorgenti di emissioni sonore comuni tutti i settori

A prescindere dalla tipologia di vetro prodotta, nell'industria vetraria si osservano delle sorgenti di rumore comuni alla maggior parte degli impianti di produzione di vetro diverse, in particolare:

- Compressori per la rete aria di alta e bassa pressione
- ventilatori per l'aria di combustione;
- ventilatori per l'evacuazione dei fumi di combustione

Vetro cavo

Le macchine per la produzione di vetro cavo (bottiglie, vasi, bicchieri, ecc.) utilizzano aria compressa per il processo di soffiatura degli articoli in vetro, ed aria ventilata per il raffreddamento. La lavorazione eseguita con macchine a ciclo continuo comporta livelli di rumorosità > 90 dB(A), con la conseguente necessità di creare aree protette per i lavoratori e di operare sempre con l'ausilio di dispositivi di protezione individuale (cuffie, tappi). I livelli di emissione in ambiente esterno sono normalmente inferiori ai limiti previsti dalla legge, relativamente ad una classificazione delle aree di insediamento dell'impianto di produzione come aree ad attività industriale.

Vetro piano

Nella lavorazione del vetro piano sono presenti operazioni caratterizzate da livelli di rumorosità superiori alla soglia di rischio, in particolare le operazioni di taglio delle lastre con convogliamento automatico degli scarti di produzione, mediante adeguati sistemi di trasporto, alla frantumazione.

Queste operazioni vengono eseguite in aree confinate, limitando al minimo l'emissione rumorosa nell'ambiente circostante e l'esposizione dei lavoratori. Altre sorgenti di rumore sono rappresentate dai sistemi di raffreddamento (soffianti).

Vetro borosilicato (lana, filato, tubo di vetro)

I processi di lavorazione di questi tipi di vetro non comportano particolari operazioni rumorose. Le emissioni sonore sono riconducibili alle operazioni eseguite da macchine in movimento quali taglierine, rulli, nastri trasportatori, movimentazione dei tubi di vetro, ventilatori di raffreddamento, compressori, ecc.

Vetro al piombo

Per questo tipo di vetro valgono le stesse considerazioni fatte in generale per il vetro cavo.

Vetro artistico

Per il ciclo di lavorazione del vetro artistico le principali sorgenti di emissioni sonore sono le seguenti:

- Utilizzo di aria compressa per la soffiatura in semi-automatico dei manufatti
- Operazioni di finitura dei prodotti in vetro (taglio, molatura, lucidatura).

Ciascun settore impiega normalmente tutte le migliori tecnologie disponibili per ridurre l'impatto ambientale dovuto alle emissioni sonore; tuttavia, alcune attività, in particolare la produzione di vetro cavo, non consentono miglioramenti significativi dei propri livelli di emissione, a causa della totale assenza di tecnologie alternative.

E.4.4 Valori di emissione in atmosfera

I tipici valori di emissione, relativi ai principali inquinanti e riferiti a forni che non hanno ancora applicato misure primarie e/o secondarie per la riduzione delle emissioni solide e gassose, sono presentati nella seguente tabella:

	Vetro Cavo	Vetro Piano	Vetro Borosilicato	Vetro al Piombo	Vetro Artistico
	mg/Nm ³ , 8 % O ₂	mg/Nm ³ , 8 % O ₂	mg/Nm ³ ₍₁₎	mg/Nm ³ ₍₁₎	mg/Nm ³ , 13 % O ₂
Polveri totali	85 – 300	70 – 160	150 – 700 (lana) 300 – 500 (filato) 400 – 700 (tubo)	-	70 – 300
NO_x					
Forni a recupero di calore (Unit Melter) Senza nitrati nella miscela	700 – 1400		600 – 1200	-	300 – 500 (forni a bacino giornalieri e forni a crogiolo)
Forni a recupero di calore (Unit Melter) Con nitrati nella miscela	1500 – 2300		1600 – 2200	-	1500 – 3000 (forni a bacino giornalieri e forni a crogiolo)
Forni a rigenerazione (End Port)	1200 – 2100	1200 – 1600			
Forni a rigenerazione (Side Port)	2200 – 2600	1500 – 3000	1200-1500 (tubo)		
Forni a rigenerazione con nitrati nella miscela	2000 – 3000		2000-6000 (tubo)		
Forni elettrici			400 – 800	200 – 500	
SO_x					
Forni a metano	100 – 400 (vetro da tavola 600 – 1200 (contenitori)	300 – 600	< 100 (lana) 1000-1800 (filato) < 100 (tubo)	< 100	< 100
Forni ad olio	1500 – 2300	1600 – 1800			

(1) Le concentrazioni non sono state riferite all'8% di O₂, in quanto riguardano forni di diversa tipologia: forni elettrici, ad ossicombustione, ecc.

E.4.5 Emissioni derivanti da processi secondari

Tra i processi secondari eseguiti su prodotti in vetro sono state identificate le lavorazioni che per la loro specificità richiedono una valutazione separata delle emissioni in atmosfera e delle migliori tecniche disponibili per la riduzione dell'impatto ambientale ad esse associato.

E. 4.5.1 Trattamenti superficiali del vetro eseguiti a caldo

Il trattamento a caldo del vetro cavo, eseguito mediante cloruri di stagno, dà origine ad emissioni solide e gassose, in concentrazione e flusso di massa variabili in funzione della quantità di prodotto utilizzata per il trattamento.

Le sostanze emesse in atmosfera sono le seguenti:

- Polveri totali, costituite in buona parte da composti dello stagno
- Stagno e suoi composti
- Cloruri gassosi, sottoforma di HCl

I valori di emissione sono generalmente compresi negli intervalli riportati in tabella:

Emissioni in atmosfera		mg/Nm ³	g/t. vetro fuso
	Composti dello stagno (Sn)	1 - 30	0,2 - 8
	Cloruri gassosi (HCl)	15 - 300	3 - 30
	Polveri totali	5 - 50	1 - 70

Il trattamento a caldo del vetro, mediante l'uso di SO₃, ottenuta per conversione catalitica del biossido di zolfo (vetro cavo), oppure con l'impiego di SO₂ nel caso del vetro piano, danno origine ad emissioni di ossidi di zolfo. Nel caso del trattamento di solforazione del vetro cavo, la percentuale di SO₃ sul totale delle emissioni di SO_x, può essere significativa.

I tipici valori di emissione sono riportati nella seguente tabella:

Emissioni in atmosfera		mg/Nm ³	g/t. vetro fuso
Vetro cavo	Ossidi di zolfo totali (espressi come SO ₂)	200 - 900	100 - 600
Vetro piano	Ossidi di zolfo totali (espressi come SO ₂)	150 - 300	20 - 40

E. 4.5.2 Trattamenti superficiali del vetro eseguiti a freddo

Il trattamento a freddo del vetro cavo, eseguito mediante acido oleico ed emulsioni a base di polietilene dà origine ad emissioni in atmosfera di composti organici in quantità modesta, normalmente inferiori a 0,1 mg/Nm³, corrispondenti a flussi di massa < 0,2 g/h.

E. 4.5.3 Lavorazione secondaria del cristallo al piombo

La lavorazione secondaria del cristallo al piombo consiste in un ciclo di trattamento utilizzato per impreziosire le superfici degli articoli in vetro. Essa consiste in due processi principali: la molatura e/o la lucidatura chimica.

La **molatura** comporta l'asportazione di materiale con un processo ad umido, e sotto aspirazione. Le emissioni che si generano da questa fase sono rappresentate da polveri di vetro e da acque reflue con solidi sospesi, contenenti piombo. I sistemi utilizzati per il contenimento delle emissioni consistono in impianti di filtrazione per la separazione ed il recupero delle polveri di vetro.

La **lucidatura** viene eseguita mediante immersione degli articoli in vetro in un bagno acido, composto da circa il 30 % di acido solforico e dal 2-3 % di acido fluoridrico, mantenuto ad una temperatura < 50 °C.

I sistemi utilizzati per il contenimento delle emissioni derivanti dalla lucidatura sono i seguenti:

- a) Trattamento delle acque reflue con idrato di calcio Ca(OH)₂, per la rimozione dei fluoruri e solfati.
- b) Trattamento dei vapori acidi provenienti dal bagno di lucidatura mediante lavaggio ad umido e successiva raccolta delle acque reflue per il trattamento previsto al punto (a).

Il prodotto derivante dal trattamento delle acque reflue consiste in un "gesso chimico" CaSO₄, contenente minime percentuali di CaF₂.

Tale residuo, opportunamente trattato, può essere utilizzato esternamente al settore vetro, per la produzione di cemento.

Il ciclo di trattamento descritto per la seconda lavorazione del vetro al piombo (cristallo) rappresenta la migliore tecnica disponibile.

Le emissioni caratteristiche della seconda lavorazione del vetro al piombo sono le seguenti:

Emissioni in atmosfera	Fluoruri gassosi (HF)	< 5 mg/Nm ³
Emissioni in acqua	Fluoruri (F ⁻)	< 6 mg/l
	Solfati (SO ₄ ⁼)	< 1000 mg/l

E. 4.5.4 Lavorazioni di apprettatura della lana di vetro

Le principali emissioni derivanti dal processo secondario di apprettatura della lana di vetro sono rappresentate dalle emissioni in atmosfera di sostanze derivanti dalla composizione dell'appretto utilizzato, in particolare: polveri totali, composte sia da una frazione organica che inorganica, fenolo, formaldeide ed ammoniacca.

Le emissioni in atmosfera sono caratterizzate da un elevato volume dei fumi ed alta umidità.

I valori di emissione sono generalmente compresi negli intervalli presentati in tabella:

Emissioni in atmosfera	Polveri totali	10-50 mg/Nm ³
	Fenolo	2-10 mg/Nm ³
	Formaldeide	0.5-2 mg/Nm ³
	Ammoniacca	20-80 mg/Nm ³

E 4.5.5 Lavorazioni di apprettatura del filamento continuo di vetro

Le principali emissioni derivanti dal processo secondario di apprettatura del filamento continuo di vetro sono rappresentate dalle emissioni in atmosfera di sostanze organiche contenute negli appretti/leganti utilizzati, in particolare: polveri totali, formaldeide ed ammoniacca.

I valori di emissione sono generalmente compresi negli intervalli presentati in tabella:

Emissioni in atmosfera	Polveri totali	< 20 mg/Nm ³
	Formaldeide	< 20 mg/Nm ³
	Ammoniacca	< 30 mg/Nm ³

E.5 Rifiuti solidi e contaminazione del suolo

Il principale scarto, imputabile al ciclo di produzione del vetro, è rappresentato da vetro (rottame, filato, lana ecc.), che in gran parte viene avviato ad attività di recupero. Gli altri rifiuti significativi, presenti nell'industria del vetro, sono rappresentati dal materiale refrattario proveniente dalla riparazione e rifacimento dei bacini di fusione, camere di rigenerazione, canali di alimentazione ecc., dai materiali per l'imballaggio: carta, cartone, legno e plastica.

L'aliquota di rifiuti solidi (avviati in discarica), relativamente ai diversi settori di produzione é circa la seguente:

Vetro cavo	1-7	Kg/tonn.
Vetro piano	2-8	Kg/tonn.
Vetro borosilicato (contenitori e tubo)	15-50	Kg/tonn.
Vetro borosilicato (filato)	250	Kg/tonn.
Vetro borosilicato (lana)	85	Kg/tonn.
Vetro al piombo	15 (*)	Kg/tonn.

(*) Nel caso del vetro al piombo, la produzione di rifiuti varia notevolmente in funzione della presenza o meno delle seconde lavorazioni nel sito di produzione. Infatti, il processo di acidatura/lucidatura del vetro richiede un trattamento di neutralizzazione delle acque reflue con conseguente produzione di gessi, che vengono normalmente recuperati da altri settori industriali.

In questo caso, la produzione totale di rifiuti solidi raggiunge valori di circa 50-60 Kg/tonn. di vetro fuso.

E. 6 ASPETTI AMBIENTALI: ANALISI DEI RISCHI

L'industria del vetro, normalmente, non è compresa tra i settori ad alto rischio ambientale. Tuttavia, in base alle materie prime impiegate che possono comprendere anche sostanze pericolose, un numero limitato di installazioni può essere soggetto alla normativa relativa al controllo dei pericoli di incidenti rilevanti connessi con determinate sostanze pericolose.

Le sostanze che possono comportare un rischio ambientale a causa delle quantità stoccate per l'impiego nel ciclo di produzione sono:

- ossidi di piombo, per la produzione di vetro al piombo
- composti dell'arsenico, per la produzione di vetro artistico

Altre sorgenti di rischio potrebbero essere rappresentate dallo stoccaggio di sostanze comburenti (ossigeno), nel caso di forni ad ossicombustione e dallo stoccaggio di ammoniaca, nel caso di impiego del sistema SCR o SNCR per la riduzione delle emissioni di NOx.

E. 7 MIGLIORI TECNICHE E TECNOLOGIE

Tecnologie disponibili

Le tecnologie disponibili per il controllo delle emissioni solide e gassose si dividono in due diverse tipologie:

- interventi primari, aventi lo scopo di evitare la formazione degli inquinanti stessi;
- interventi secondari che mirano a ridurre le emissioni degli inquinanti mediante la loro rimozione dai fumi.

Le tecnologie che possono essere applicate al ciclo di produzione dei vari tipi di vetro variano in funzione di diversi parametri tra i quali:

- tipo di inquinante da controllare;
- tipo di forno e sua capacità produttiva;
- tipo di vetro prodotto;
- combustibile impiegato nella fusione.

E.7.1 Polveri totali

E.7.1.1 Movimentazione e stoccaggio delle materie prime

La maggior parte delle materie prime utilizzate per il ciclo di produzione del vetro è costituita da minerali in forma solida ed altri prodotti chimici inorganici. La granulometria delle materie prime impiegate può variare da polveri grossolane a polveri molto fini, in funzione del tipo di prodotto utilizzato.

La movimentazione e lo stoccaggio delle materie prime comportano il rischio di spolverio con la conseguente emissione in atmosfera di polveri.

Al fine di minimizzare le emissioni di polveri in atmosfera, i materiali vengono stoccati in silos dotati di sistemi di abbattimento delle polveri mediante filtri a maniche, che operano durante la fase di scarico pneumatico della materia prima dal sistema utilizzato per il trasporto.

La pesatura, miscelazione e trasporto della miscela vetrificabile al forno vengono generalmente eseguite in sistemi chiusi, dotati di aspirazione e filtrazione delle polveri. In alcuni casi, la movimentazione della miscela al forno viene eseguita mediante un sistema di contenitori aperti; ciò avviene in stabilimenti relativamente vecchi, dotati di spazi molto limitati che non consentono l'applicazione di tecnologie più sofisticate.

Per limitare i fenomeni di spolverio, la miscela vetrificabile viene normalmente umidificata aggiungendo una percentuale variabile di acqua (2-3 %). Per alcuni tipi di vetro, in particolare per i vetri borosilicati questa operazione non viene eseguita.

L'alimentazione della miscela vetrificabile al forno viene normalmente eseguita mediante sistemi di alimentazione il più possibile chiusi, in modo da limitare la possibile emissione di polveri in ambiente di lavoro e ridurre la circolazione d'aria nella zona di infornaggio (dog-house).

Nel caso di alimentazione della miscela ai forni elettrici a volta fredda, i fenomeni di spolverio possono comportare emissioni di polveri significative, se espresse in concentrazione (mg/m^3), ma caratterizzate da bassi flussi di massa; normalmente, per limitare tali fenomeni la zona di infornaggio è dotata di sistemi di aspirazione e filtrazione delle polveri di norma mediante filtri a maniche.

E.7.1.2 Interventi primari

Principio ed applicabilità

Le polveri emesse dai forni per vetro sono generate principalmente dai fenomeni di evaporazione dal bagno di vetro fuso (circa il 90 %), pertanto, gli interventi di tipo primario hanno lo scopo di limitare tale fenomeno.

Una riduzione delle emissioni di polveri può essere effettuata diminuendo la presenza di sostanze volatili nella composizione della miscela vetrificabile. Anche una riduzione della temperatura del forno porta ad un contenimento dei fenomeni di evaporazione dal bagno di vetro fuso.

Tra gli interventi che possono essere eseguiti in qualsiasi momento della vita del forno, compatibilmente con le esigenze del ciclo produttivo e la disponibilità dei materiali da utilizzare, i più significativi sono:

- Utilizzo di carbonato di sodio a basso contenuto di NaCl

- Impiego di rottame a basso contenuto di fluoruri, cloruri e metalli pesanti (Pb);
- Riduzione della quantità di materie prime volatili nella composizione della miscela vetrificabile (solfati alcalini ed alcalino-terrosi, composti del boro, fluoruri, cloruri);
- Impiego di combustibile a basso tenore di zolfo (olio BTZ) o esente da zolfo (metano).
- L'aumento della quantità di rottame impiegata nella miscela vetrificabile, la riduzione della temperatura della sovrastruttura del forno si traduce in una riduzione delle emissioni di polveri totali.
Va osservato, tuttavia, che per alcuni tipi di vetro la quantità di rottame disponibile e/o impiegabile nel processo di fusione può essere fortemente limitata da esigenze di elevata qualità del prodotto (vetro cavo di elevata qualità, vetro piano, vetro borosilicato);
- Utilizzo di miscela pellettizzata per la fusione; l'applicazione di questa tecnologia porta principalmente ad una limitazione dello spolverio della miscela vetrificabile. Il suo impiego è fortemente limitato dal costo elevato del processo di pellettizzazione che ne giustificerebbe l'uso solo per vetri ad elevato valore aggiunto.

L'effetto dovuto alle suddette modifiche può essere valutato in una riduzione delle emissioni di circa il 10-20 % del valore iniziale.

Altri interventi di tipo primario riguardano l'applicazione di tecnologie la cui implementazione spesso richiede la totale ricostruzione del forno. Tra questi, i più significativi sono :

- La modifica della geometria del forno, in modo da favorire i moti convettivi e, conseguentemente, la trasmissione del calore con diminuzione della temperatura della superficie del bagno;
- La scelta ed il posizionamento dei bruciatori in modo da evitare la presenza di punti ad elevata temperatura sulla superficie del bagno;
- L'utilizzo del boosting elettrico nella fusione del vetro; questo intervento porta ad una diminuzione della quantità totale di polveri emesse ma, a causa della diminuzione del volume fumi, la concentrazione delle emissioni resta pressoché invariata;
- Fusione con forno totalmente elettrico; questa tecnologia consente di limitare l'emissione di polveri alla frazione dovuta allo spolverio della miscela vetrificabile (meno del 10 % dei valori iniziali). La produzione di vetro mediante forni elettrici a volta fredda è compresa nell'allegato 1 del DPR 25 luglio 1991 " Elenco delle attività ad inquinamento poco significativo". La fusione elettrica, essendo molto costosa, può essere applicata solo per la produzione di vetri ad alto valore aggiunto, e/o caratterizzati da livelli di emissione particolarmente elevati (vetro opale, vetri borosilicati, cristallo al piombo, vetro da tavola di elevata qualità). I forni totalmente elettrici sono, generalmente, di piccola capacità.

Applicazioni industriali

In Italia, tutti i forni per vetro impiegano già quantità considerevoli di rottame, compatibilmente con la qualità del vetro richiesto.
La maggior parte dei forni utilizza il boosting elettrico come supplemento per la fusione ed impiega materie prime a basso contenuto di sostanze volatili, in particolare il carbonato di sodio Solvay caratterizzato da percentuali di NaCl di circa 0.12 %.

Risultati ottenibili

Attualmente, l'applicazione degli interventi primari per la riduzione delle emissioni di polveri dai forni per vetro può portare ad una diminuzione di circa il 10-30 % in funzione delle diverse tecnologie impiegate.

Costi di investimento e di esercizio

I costi di investimento possono essere valutati in circa 0.15 + 0.20 Euro/tonn. vetro.

Nel caso della fusione elettrica, la riduzione delle emissioni di polveri può superare il 90 % del valore iniziale, con forni convenzionali; i costi di investimento sono alti in quanto la vita media del forno è di 2-4 anni, in funzione del tipo di vetro prodotto. I costi di esercizio sono elevati.

Impatto ambientale

I rischi ambientali derivanti dall'applicazione di queste tecnologie sono dovuti essenzialmente all'eventuale uso di energia elettrica per il trattamento delle materie prime e del rottame, per il boosting elettrico, per il processo di pellettizzazione della miscela vetrificabile, per la fusione con forno elettrico.

In questi casi si ha uno spostamento delle emissioni dal processo di fusione alla centrale termoelettrica.

E.7.1.3 Interventi secondari

Gli interventi secondari si basano essenzialmente sulla filtrazione delle polveri emesse, utilizzando sistemi diversi.

Filtro elettrostatico

Principio

La polvere contenuta nei fumi passa attraverso un campo elettrico dove viene caricata elettricamente e successivamente separata mediante deposizione sulla superficie di elettrodi ad alto voltaggio.

Generalmente, il sistema richiede un pre-trattamento dei fumi con reagente alcalino allo scopo di neutralizzare i gas acidi che potrebbero influire negativamente sulla filtrazione e sulla durata dei materiali che costituiscono l'impianto. L'aggiunta di reagente alcalino comporta un notevole aumento delle polveri prodotte dal filtro, fino a 5-6 volte il valore iniziale di concentrazione.

Il materiale filtrato, viene raccolto automaticamente e stoccato in silos o appositi sacchi. Ha il vantaggio di consentire la filtrazione di fumi relativamente caldi (350-400 °C) e, quindi, di non richiedere il loro raffreddamento nel caso di forni a rigenerazione.

Applicabilità

Il sistema, in linea teorica, può essere applicato ad ogni tipo di produzione e di forno. La principale limitazione è rappresentata dal suo costo; esso risulta economicamente accettabile nel caso di forni aventi una capacità produttiva di almeno 200-250 tonn/giorno di vetro.

Risultati ottenibili

L'efficienza di rimozione delle polveri varia dal 70 al 90 %, in base alla concentrazione iniziale ed al numero di campi che compongono il filtro.

Costi di investimento

Generalmente, i sistemi di filtrazione con filtro elettrostatico richiedono notevoli investimenti
0,8-3,5 Milioni di Euro, in base alla dimensione dell'impianto.

Impatto ambientale

L'impatto ambientale connesso con l'uso del precipitatore elettrostatico é dovuto principalmente all'elevata quantità di polvere prodotta che non sempre é riutilizzabile nel ciclo di fusione.

Ciò può comportare il rischio di dover porre in discarica una notevole quantità di materiale (fino a 1000-2000 kg/giorno), le cui caratteristiche chimico-fisiche (solubilità elevata) impongono l'uso di particolari precauzioni; in molti casi è comunque possibile riutilizzare le polveri filtrate direttamente nella miscela vetrificabile, in sostituzione di una materia prima (solfato di sodio o solfato di calcio)

Il consumo di energia elettrica per il funzionamento del filtro, nonché per la movimentazione dei fumi (ventilatore) spostano parte dell'inquinamento alla centrale termoelettrica.

Filtri a maniche

Principio

I filtri a maniche si basano sulla separazione della polvere mediante tessuti idonei a sopportare temperature elevate ed aggressioni chimiche dovute alla presenza nei fumi di gas acidi. Le temperature di esercizio di questo tipo di filtro sono normalmente comprese tra 100-210 °C , in funzione della tipologia di fumi da trattare.

Ciò comporta la necessità di raffreddare i fumi mediante diluizione con aria, con l'uso di scambiatori di calore, mediante trattamento con soluzioni acquose iniettate nei fumi ad alta temperatura (quenching).

Risulta indispensabile selezionare il sistema di raffreddamento dei fumi in modo da evitare condensazioni acide sulle maniche, che ne comprometterebbero la resistenza chimica.

Per tale motivo, spesso risulta indispensabile utilizzare un sistema di pre-trattamento dei fumi per la rimozione dei gas acidi presenti nei fumi (SO₃, HCl, HF) con reagenti alcalini.

La rimozione della polvere dalle maniche filtranti viene effettuata mediante un sistema di soffiatura d'aria compressa; la polvere così separata viene raccolta automaticamente e stoccata in appositi sacchi o convogliata ad un silo.

Qualora la qualità del vetro da produrre lo consenta, la polvere composta dalle emissioni solide del forno e dai prodotti di reazione dei gas acidi contenuti nei fumi con i reagenti alcalini, viene riutilizzata nella formulazione della miscela vetrificabile per la produzione di nuovo vetro.

Applicabilità

Il sistema di filtrazione con filtri a maniche, in linea di principio può essere utilizzato per qualsiasi tipo di vetro e di forno. Tuttavia, i notevoli ingombri, i costi di esercizio molto alti, le perdite di carico elevate inducono a limitarne l'applicazione su forni di piccola e media dimensione, con una portata massima dei fumi di 20.000-30.000 Nm³/h.

La necessità di raffreddare i fumi impedisce l'applicazione del filtro a maniche nei casi in cui si debba effettuare anche un trattamento di denitrificazione dei fumi mediante catalizzatore (SCR). Infatti, quest'ultima tecnologia può essere applicata solo su fumi depurati ed a temperature di circa 350 °C.

Risultati ottenibili

L'efficienza di rimozione delle polveri è, in genere, molto elevata; la concentrazione in uscita non dipende strettamente dalla concentrazione iniziale delle polveri ma piuttosto dalle caratteristiche chimiche dei fumi da trattare.

Costi di investimento

Generalmente, per impianti di produzione medio-piccoli, i filtri a maniche richiedono costi di investimento inferiori rispetto ai filtri elettrostatici.

Per capacità produttive elevate e, conseguentemente, per grandi volumi di fumi da trattare il costo di un filtro a maniche è paragonabile se non superiore a quello del filtro elettrostatico.

Impatto ambientale

Come per il filtro elettrostatico, l'impatto ambientale relativo all'uso del filtro a maniche deriva essenzialmente dalla quantità di polvere separata, che nel caso di trattamento dei fumi con reagenti alcalini, può rappresentare un notevole problema per lo smaltimento in discarica.

Il riutilizzo della polvere nel ciclo di fusione del vetro può comportare un aumento delle emissioni gassose (SO_x, HCl, HF), dovuto alla progressiva saturazione del vetro da parte degli inquinanti gassosi abbattuti ed al rilascio in atmosfera dell'aliquota in eccedenza.

Il consumo di energia elettrica necessario per vincere le elevate perdite di carico che caratterizzano il sistema, mediante la movimentazione dei fumi con ventilatori, rappresenta un altro fattore di impatto ambientale; infatti, parte delle emissioni in atmosfera viene spostata alla centrale termoelettrica.

Sistemi di lavaggio ad umido

Nell'industria vetraria, i sistemi di lavaggio ad umido dei fumi sono utilizzati quasi esclusivamente per il trattamento delle emissioni derivanti da processi secondari del vetro: trattamenti a caldo del vetro cavo, lucidatura del vetro al piombo, apprettatura della lana e del filato di vetro.

Solo in casi isolati e molto particolari il lavaggio ad umido viene utilizzato per il trattamento dei fumi derivanti dal ciclo di fusione del vetro e solo per forni che utilizzano miscele vetrificabili prive di sostanze caratterizzate da elevata tossicità, quali l'arsenico e il piombo.

Questa tecnologia si basa sul lavaggio ad umido dei fumi mediante acqua o soluzione alcalina, rimuovendo con efficienze significativamente diverse sia le polveri che le emissioni gassose, ma richiedendo comunque una progettazione mirata al raggiungimento di una buona efficienza per l'una o per l'altra tipologia di inquinante.

In genere, la rimozione mediante lavaggio ad umido delle polveri generate dal forno di fusione del vetro viene applicata solo per processi di piccola dimensione, limitatamente al caso di forni elettrici, caratterizzati da bassi valori di temperatura dei fumi, < 100 °C e da polveri relativamente grossolane, derivanti dallo spolverio della miscela vetrificabile.

La rimozione delle polveri di granulometria < 1 µm, tipiche dei forni per vetro a fusione tradizionale, non presenta efficienze di rimozione accettabili se non a scapito di elevate perdite di carico ed alti consumi energetici.

In alcuni casi particolari, il lavaggio ad umido dei fumi viene utilizzato per il trattamento delle emissioni derivanti dal forno di fusione in accoppiamento con un sistema di filtrazione a maniche, per la rimozione di componenti che possono presentarsi ancora allo stato gassoso alla temperatura di filtrazione dei fumi (es. composti del boro).

Il limite principale di questa tecnologia è rappresentato dalla produzione di acque reflue.

Attualmente risultano operanti n. 5 sistemi di lavaggio fumi con acqua, applicati su altrettanti forni elettrici adibiti alla produzione di vetro cavo di elevata qualità (bicchieri, contenitori per profumeria) e n. 2 impianti ad umido installati a valle di un sistema di filtrazione con filtro a maniche, per il trattamento fumi da forni per la produzione di filamento continuo di vetro.

E.7.2 Ossidi di azoto (NO_x)

E.7.2.1 Interventi primari

Gli interventi primari si basano su azioni che hanno lo scopo di limitare la formazione degli ossidi di azoto durante la combustione.

Riduzione dell'eccesso d'aria

Il controllo dell'eccesso d'aria in ingresso al forno fusorio può essere attuato con sistemi relativamente semplici:

- regolazione dell'aria di combustione a rapporti quasi stechiometrici;
- sigillatura dei blocchi bruciatori;
- massima chiusura possibile della zona di infornamento della miscela vetrificabile;

La drastica diminuzione dell'aria comburente può portare alla formazione di quantità importanti di monossido di carbonio che possono danneggiare i materiali di costruzione del forno e delle camere di rigenerazione.

Applicabilità

La riduzione dell'aria parassita può essere effettuata su qualsiasi tipo di forno e porta, in genere, ad un'ottimizzazione dei consumi energetici per la fusione.

Riduzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria

Una riduzione del grado di preriscaldamento dell'aria comburente porta ad una diminuzione della temperatura di fiamma con conseguente limitazione della formazione di NOx. Questo effetto può essere raggiunto mediante l'uso di forni a recupero del calore (Unit Melter), in alternativa ai forni End Port e Side Port (a camere di rigenerazione).

Applicabilità

Una diminuzione della temperatura di preriscaldamento dell'aria comporta un sensibile aumento dei consumi energetici e ad una significativa diminuzione del cavato specifico del forno. I forni Unit Melter vengono normalmente impiegati per produzioni inferiori a 250 tonn/giorno.

Combustione a stadi

Il sistema si basa sull'iniezione di una parte del combustibile o dell'aria comburente nel bruciatore e della quota rimanente in una zona diversa da quella dove avviene la combustione primaria.

Il sistema basato sul "frazionamento" dell'aria di combustione risulta essere di più difficile applicazione ed è caratterizzato da costi molto elevati. Il metodo basato sul frazionamento del combustibile è già stato applicato industrialmente con successo, iniettando circa il 10 % di combustibile in prossimità dei torrini, nella zona di combustione primaria, ed il rimanente nell'atmosfera del forno.

Nel caso di "frazionamento" del combustibile i risultati ottenuti mostrano riduzioni dell'ordine del 35 % ma l'applicazione è risultata problematica. La sperimentazione del frazionamento del comburente mediante l'uso di ossigeno è tuttora in corso su un numero limitato di forni e mostra riduzioni delle emissioni di NOx dell'ordine del 70 %.

Applicabilità

Il sistema può essere applicato a qualsiasi tipo di forno; la sua applicazione può essere fatta solo nella fase di ricostruzione del forno ed allo stato attuale è ancora in fase sperimentale.

Ricircolazione dei fumi di combustione

Anche in questo caso, la riduzione delle emissioni di NOx viene effettuata mediante la diminuzione della temperatura di fiamma, mescolando l'aria di combustione con parte dei fumi emessi dal forno, in carenza di ossigeno.

Applicabilità

La tecnologia è risultata di difficile applicazione industriale e, pertanto, è stata momentaneamente abbandonata.

Bruciatori a bassa emissione di NOx

Lo sviluppo di diverse tipologie di bruciatori a bassa emissione di NOx ha comportato il controllo di una serie di parametri che influenzano le reazioni di formazione degli stessi. Le caratteristiche principali dei bruciatori sono:

- Riduzione della velocità di iniezione del combustibile e dell'aria;

- Modifica dei tempi di miscelazione combustibile/aria con ottimizzazione della forma della fiamma, evitando "punti caldi"
- Aumento dell'emissività di fiamma, favorendo la trasmissione del calore al bagno di vetro (cracking del combustibile).

Normalmente, l'adozione di bruciatori a bassa emissione di NOx comporta una riduzione delle emissioni dell'ordine del 30 %.

Forni a bassa emissione di NOx

Sono stati sviluppati nuovi forni, caratterizzati da emissioni di NOx particolarmente basse. Essi si basano sul preriscaldamento dell'aria di combustione mediante recuperatori e sul recupero di calore dai fumi di combustione attraverso un sistema di preriscaldamento della miscela vetrificabile o del rottame. Il disegno di questi forni Lo-NOx e Flex-Melter è stato modificato rispetto ai forni Unit Melter tradizionali, in modo da ridurre la temperatura di fusione e di affinaggio del vetro e quindi raggiungere concentrazioni di NOx dell'ordine di 700-900 mg/Nm³, con un'efficienza energetica ancora accettabile.

Applicabilità

Il sistema è applicabile in fase di ricostruzione del forno, compatibilmente con il tipo di vetro da produrre e con la capacità produttiva richiesta. L'efficienza energetica di questa tipologia di forno è, in generale, inferiore a quella di altre tipologie. La geometria di questi forni, lunga e stretta, può comportare problemi di spazio per la sua realizzazione.

Processo FENIX

Principio

Il processo Fenix è una tecnica relativamente nuova che è stata sviluppata completamente solo su un forno per vetro piano e consiste in una combinazione di misure primarie, tra cui le principali sono:

- riduzione dell'eccesso d'aria senza aumento degli incombusti (CO);
- soppressione dei punti caldi "hot spots" ed omogeneizzazione della temperatura di fiamma;
- miscelazione controllata del combustibile con l'aria comburente.

Il processo richiede la completa modifica del sistema di combustione, l'utilizzo di nuovi tipi di iniettori, il controllo automatico di alcuni parametri tra cui la percentuale di ossigeno nei fumi, all'uscita del forno. Inoltre, può richiedere l'uso di un gas inerte (CO₂) o di ossigeno puro per alimentare uno o più iniettori.

Applicabilità

Allo stato attuale il processo è applicabile a forni di tipo Side Port (fiamme trasversali) e ciascuna applicazione richiede un adattamento specifico sia alla capacità del forno che al tipo di combustibile utilizzato (olio o metano).

Risultati ottenibili

I livelli di NOx raggiungibili sono dell'ordine di circa 800 mg/Nm³, per applicazioni su forni float alimentati esclusivamente ad olio con basso tenore di zolfo (< 1 % S).

Impatto ambientale

Oltre alla riduzione degli NOx dell'ordine del 70 % dei valori iniziali, il processo Fenix consente di realizzare una riduzione dei consumi energetici specifici di circa il 6 %.

Costi di investimento e di esercizio

Il sistema a regime può consentire una diminuzione dei costi di gestione, grazie alla riduzione dei consumi energetici.

L'investimento iniziale può essere stimato in circa 700000 Euro per forno (escludendo le eventuali licenze per utilizzare il brevetto).

Ossicombustione

Principio

Il sistema si basa sulla sostituzione dell'aria di combustione con ossigeno ad alto grado di purezza; la quasi totale assenza di azoto limita fortemente la formazione degli ossidi di azoto.

Applicabilità

A causa dell'elevato costo di esercizio di questa tecnologia, in particolare dell'ossigeno necessario per la combustione, la sua applicazione è indirizzata, in genere, alla produzione di vetri ad alto valore aggiunto. L'impiego dell'ossicombustione comporta l'eliminazione del sistema di preriscaldamento dell'aria comburente; pertanto, i costi di investimento per la realizzazione di un nuovo forno sono sensibilmente inferiori.

Le temperature di fiamma più elevate che si realizzano con la combustione ad ossigeno, determinano un risparmio energetico nel processo di fusione, inversamente proporzionale alla capacità del forno: più piccolo è il forno maggiore è il risparmio energetico che si realizza.

La possibilità di applicazione dell'ossicombustione ai forni ad elevata efficienza energetica, in particolare al settore del vetro cavo, è condizionata, oltre che dal costo dell'ossigeno, dalla possibilità di recuperare calore dai fumi di combustione che vengono emessi a temperature molto elevate, 1200-1300 °C.

Risultati ottenibili

I forni ad ossicombustione sono caratterizzati da una diminuzione delle emissioni, espresse in quantità assolute. Va osservato che le emissioni espresse in concentrazione subiscono, in genere, un aumento dei valori causato dalla drastica diminuzione del volume fumi, fino a 4-5 volte, dovuta alla sostituzione dell'aria di combustione contenente circa il 70 % di azoto, con ossigeno ad alto grado di purezza. Questa tecnologia presenta risultati positivi non solo nei confronti delle emissioni di NOx, ma anche per le polveri totali, gli altri inquinanti gassosi ed i consumi energetici del processo di fusione.

I valori raggiungibili sono i seguenti:

- Riduzione delle emissioni di NOx a valori di 0.5-1.5 kg/tonn. vetro, per vetri senza utilizzo di nitrati nella miscela vetrificabile
- Riduzione delle emissioni di polveri di circa il 20-40 %
- Diminuzione dei consumi energetici del 10-15 %.

Impatto ambientale

La tecnologia dell'ossicombustione può avere un impatto ambientale negativo a causa dell'energia necessaria alla produzione dell'ossigeno, che sposta parte delle emissioni da una sorgente ad un'altra. Questo effetto viene compensato, in tutto o in parte, dal risparmio energetico realizzabile con l'ossicombustione.

Costi di investimento e di esercizio

I costi di investimento iniziali per la realizzazione di un forno ad ossicombustione risultano, in genere, inferiori rispetto ad un forno a combustione convenzionale, data l'assenza del sistema di preriscaldamento dell'aria.

I costi di esercizio dipendono essenzialmente dal costo dell'ossigeno e, quindi, dal sistema di produzione dello stesso. Questi vengono in parte compensati dai risparmi energetici realizzabili. Non sono ancora completamente noti i risultati sulla corrosione dei materiali refrattari e quindi sulla durata dei forni di fusione.

Fusione elettrica

Principio

Il sistema si basa sulla fusione del vetro mediante elettrodi immersi nella massa vetrosa. In genere, gli elettrodi sono costituiti da molibdeno, stagno, titanio o platino e sono installati lateralmente nelle pareti del forno, sul fondo o sulla volta.

La totale assenza di combustione elimina completamente le emissioni dovute all'ossidazione dell'azoto contenuto nell'aria. In questo caso, l'unica fonte d'emissione di NOx è rappresentata dalla decomposizione dei nitrati eventualmente presenti nella miscela vetrificabile.

Applicabilità

Il costo elevato di questa tecnologia ne limita l'applicabilità alla produzione di vetri ad alto valore aggiunto.

Per alcuni prodotti può presentarsi un'incompatibilità tra vetro ed elettrodo, tale da impedirne l'applicazione.

Questa tecnologia, che si adatta a forni di dimensioni ridotte, risulta anche poco flessibile per le variazioni di cavato del forno.

Risultati ottenibili

La fusione elettrica consente di eliminare totalmente le emissioni di NOx derivanti dall'ossidazione dell'azoto atmosferico. Nel caso di forni elettrici a volta fredda, il volume fumi assume valori estremamente bassi e le emissioni complessive (polveri, inquinanti gassosi) sono caratterizzate da flussi di massa (g/h) poco significativi.

In questo caso, l'origine degli NOx è dovuta alla decomposizione dei nitrati eventualmente presenti nella miscela vetrificabile per motivi legati alla qualità del vetro. Le emissioni di polveri sono generate quasi esclusivamente dallo spolverio della miscela vetrificabile in fase di caricamento del forno; ciò richiede solitamente un sistema di filtrazione a maniche per la loro separazione.

Costi di investimento e di esercizio

La fusione elettrica é caratterizzata da elevati costi operativi dovuti al consumo di energia elettrica; inoltre la vita media di un forno elettrico é ridotta rispetto ad un forno convenzionale, con conseguente necessit  di una frequente ricostruzione.

Impatto ambientale

La fusione elettrica comporta un trasferimento delle emissioni di NOx dalla vetreria alla centrale termoelettrica dalla quale proviene l'energia elettrica necessaria per la fusione del vetro.

E.7.2.2 Interventi secondari

Gli interventi secondari sono rivolti all'eliminazione degli NOx formati durante la combustione, per mezzo di processi di riduzione indotti dall'aggiunta di ammoniaca o di combustibile fossile ai fumi di combustione.

Reburning e processo 3R

Principio

I due sistemi sono simili; essi si basano sull'iniezione di combustibile fossile nei fumi di combustione, direttamente nella camera di combustione (Reburning) o nelle camere di rigenerazione (processo 3R). Il combustibile aggiunto subisce una pirolisi con formazione di radicali che convertono gli NOx contenuti nei fumi di combustione in azoto ed acqua. Aria supplementare viene aggiunta a valle della zona di iniezione del combustibile, per assicurare il completamento della combustione.

Applicabilit 

Il sistema pu  essere applicato ai forni dotati di camere di rigenerazione. La qualit  dei refrattari per i rigeneratori deve essere in grado di sopportare chimicamente la presenza di concentrazioni elevate di monossido di carbonio (CO) e termicamente l'innalzamento della temperatura dei fumi di combustione. La sua applicazione   attualmente limitata ai forni per la produzione di vetro piano.

Risultati ottenibili

Le emissioni di NOx che si riscontrano sono, in genere, inferiori a 800 mg/Nm³. Esse dipendono dai livelli di partenza e dalla quantit  di combustibile fossile aggiunta ai fumi di combustione. In ogni caso, si possono raggiungere riduzioni degli NOx fino all'85 % rispetto ai valori iniziali.

Costi di investimento e di esercizio

I costi di investimento risultano essere decisamente inferiori rispetto agli altri sistemi secondari; i costi di esercizio vengono determinati dal consumo di combustibile fossile aggiuntivo che, in funzione dei livelli iniziali di NOx, pu  rappresentare l'8-10 % del consumo energetico per la fusione.

Nel caso l'installazione fosse dotata di un sistema di recupero di calore dai fumi, l'aumento dei consumi relativi al processo di denitrificazione può essere contenuto fino a valori del 2-3 % del consumo totale di energia.

Impatto ambientale

L'applicazione di questa tecnologia comporta un aumento dei consumi energetici e, conseguentemente, un aumento delle emissioni dal processo di fusione del vetro (CO₂; eventuale SO_x nel caso di combustione con olio).

Riduzione selettiva senza catalizzatore (SNCR)

Principio

Il sistema si basa sulla iniezione di ammoniaca ad alta temperatura (850-1100 °C) nei fumi di combustione, per dare luogo alla reazione di riduzione degli NO_x ad azoto ed acqua. L'aggiunta di ammoniaca deve necessariamente avvenire nell'intervallo di temperatura indicato, per poter ottenere una buona rimozione degli NO_x e per evitare emissioni di NH₃ non reagita. Talvolta è possibile ampliare tale intervallo aggiungendo H₂ ai fumi di combustione.

Applicabilità

A causa del campo di temperatura nel quale è necessario operare, il sistema si applica più facilmente a forni dotati di recuperatori di calore. Nei forni a rigenerazione, la sua applicazione è possibile solo nei casi in cui vengano impiegati rigeneratori a doppie camere che permettono l'iniezione di ammoniaca nel condotto di collegamento, alla temperatura adatta per la reazione ed in una zona che consente una buona miscelazione dei reagenti con i fumi, limitandone tuttavia la flessibilità, non consentendo le variazioni di produzione normalmente richieste dal mercato.

L'uso del sistema SNCR comporta una limitazione alla programmazione della produzione, infatti, al variare del cavato del forno si sposta la zona dell'intervallo di temperatura alla quale si deve effettuare l'iniezione di ammoniaca, con conseguente rischio di emissioni di ammoniaca (temperatura troppo bassa) o maggiori quantità di NO_x (temperatura troppo elevata).

Un vantaggio nell'applicazione della tecnica SNCR è quello di non richiedere un pre-trattamento dei fumi con filtrazione delle polveri, in quanto non c'è la presenza di un catalizzatore che può subire deposizione di polveri o avvelenamenti.

Risultati ottenibili

Il sistema consente di raggiungere valori di abbattimento degli NO_x di circa il 50-70 % rispetto ai livelli iniziali.

All'aumentare dell'efficienza di rimozione degli NO_x aumenta anche il rischio di emettere ammoniaca non reagita.

Costi di investimento e di esercizio

I costi di investimento necessari per ottenere dei rendimenti accettabili risultano essere elevati; i costi di esercizio sono, generalmente, inferiori a quelli degli altri interventi secondari possibili.

Impatto ambientale

Lo stoccaggio di ammoniaca gassosa o liquida richiede soluzioni tecnologiche specifiche per evitare problemi di sicurezza e di inquinamento. Va notato che lo stoccaggio di ammoniaca potrebbe imporre la necessità di classificazione dello stabilimento come sito a rischio d'incidente rilevante.

La possibile emissione di ammoniaca non reagita nei fumi di combustione rappresenta un altro elemento di impatto ambientale del sistema SNCR.

Riduzione selettiva con catalizzatore (SCR)

Principio

Il sistema si basa sull'iniezione di ammoniaca, in presenza di un catalizzatore, a temperature comprese tra 300 e 400 °C. La reazione di riduzione degli NOx da origine ad azoto ed acqua.

I catalizzatori normalmente impiegati per il processo di denitrificazione sono V₂O₅/TiO₂ o zeoliti. L'uso del catalizzatore consente di raggiungere un grado elevato di rimozione degli NOx dai fumi, tuttavia impone anche la preventiva filtrazione dei fumi allo scopo di evitare un rapido avvelenamento del catalizzatore stesso.

La concentrazione di polvere presente nei fumi, in entrata all'impianto DeNOx, deve essere mantenuta inferiore a 10 mg/Nm³ e la superficie del catalizzatore deve essere pulita mediante appositi soffi d'aria e, periodicamente, intervenendo con operazioni di pulizia manuale.

Applicabilità

Il sistema è applicabile ai forni dotati di trattamento fumi per la rimozione delle polveri e degli eventuali inquinanti gassosi che potrebbero avvelenare il catalizzatore. Il sistema di filtrazione più efficiente, ovvero il filtro a maniche, non si adatta alla tecnologia SCR in quanto la temperatura dei fumi depurati risulta troppo bassa.

L'uso del gas metano per la combustione è da preferire all'olio, in quanto quest'ultimo aumenta la possibilità di avvelenamento del catalizzatore.

La tecnologia SCR è stata sperimentata solo per alcune tipologie di vetro; ad esempio, non è stata applicata su forni per la produzione di vetro da tavola (uso domestico) e vetro borosilicato per la produzione di lana e filato. La sua applicazione non ha raggiunto una tale diffusione da poter considerare questa tecnica come completamente sperimentata.

Risultati ottenibili

Il sistema SCR consente di raggiungere livelli di rimozione degli NOx di circa il 70-90 %. Il limite di questa tecnica è rappresentato dalla vita del catalizzatore il cui progressivo deterioramento causa un peggioramento delle prestazioni, con un aumento del rischio di emissioni di ammoniaca non reagita.

Costi di investimento e di esercizio

Questa tecnologia é caratterizzata da elevati costi di investimento e di esercizio dovuti alla necessit  di pre-trattare i fumi, di pulire e sostituire spesso il catalizzatore, di aggiungere ammoniacca gassosa o liquida nei fumi.

Impatto ambientale

Lo stoccaggio di ammoniacca gassosa o liquida richiede soluzioni tecnologiche specifiche per evitare problemi di sicurezza e di inquinamento. Va notato che lo stoccaggio di ammoniacca potrebbe imporre la necessit  di classificazione dello stabilimento come sito a rischio d'incidente rilevante.

Inoltre, la possibile emissione di ammoniacca non reagita nei fumi di combustione e lo smaltimento del catalizzatore esausto costituiscono altri fattori non trascurabili di impatto ambientale del sistema SCR.

E.7.3 Inquinanti gassosi (SOx, HCl, HF, CO)

E.7.3.1 Interventi primari

La possibilit  di intervenire con azioni primarie per ridurre le emissioni di SOx, HCl ed HF é legata all'uso di materie prime esenti da impurezze ed all'impiego di combustibili di qualit  controllata.

Ossidi di zolfo (SOx)

Il contenimento delle emissioni di SOx pu  essere effettuato operando sui seguenti parametri:

- Utilizzo di combustibili privi di zolfo (metano), oppure a basso tenore di zolfo
- Uso contenuto di solfati e di altri composti dello zolfo nella miscela vetrificabile

Applicabilit 

La diminuzione dei solfati nella composizione della miscela vetrificabile é limitata dalle esigenze di qualit  del vetro prodotto e dall'impossibilit  di sostituirli con altre sostanze che svolgono la stessa azione affinante, con minore impatto ambientale. L'utilizzo di combustibili a basso tenore di zolfo é condizionato dall'offerta del mercato e da valutazioni di tipo economico.

Cloruri gassosi (HCl)

Il contenimento delle emissioni di cloruri gassosi pu  essere effettuato mediante l'utilizzo di materie prime a basso contenuto di impurezze, in particolare di carbonato di sodio contenente percentuali di NaCl inferiori a 0.15 %.

Applicabilit 

La possibilit  di utilizzare materie prime a basso contenuto di impurezze é legata alla disponibilit  del mercato.

L'uso di rottame ecologico nella miscela vetrificabile non consente un controllo adeguato della quantit  di cloruri immessa nel bagno di vetro. L'impiego per il futuro di

materie prime e di rottame ecologico con un piú alto grado di purezza potrebbe consentire di ridurre ulteriormente le emissioni di queste sostanze inquinanti.

Fluoruri gassosi (HF)

Il contenimento delle emissioni di fluoruri gassosi puó essere effettuato mediante l'utilizzo di materie prime contenenti basse percentuali di impurezze, in particolare controllando la qualità della dolomite ed il contenuto di fluoruri nelle sabbie nel caso siano state sottoposte a trattamento di purificazione mediante soluzioni fluorurate.

Applicabilità

La possibilità di utilizzare materie prime a basso contenuto di impurezze é legata alla disponibilità del mercato ed é di difficile pianificazione.

L'uso di rottame ecologico nella miscela vetrificabile non consente un controllo adeguato della quantità di fluoruri immessa nel bagno di vetro. Un maggior controllo sulle attività recupero e selezione del rottame, allo scopo di evitare l'introduzione di vetro contenente quantità significative fluoruri, consentirebbe di ottenere i migliori risultati.

Monossido di carbonio (CO)

Le emissioni di monossido di carbonio possono essere controllate e limitate mediante una corretta alimentazione dell'aria comburente, in quantità sufficiente per realizzare una combustione stechiometrica.

Un'adeguata miscelazione del combustibile con l'aria evita la formazione di zone in difetto di ossigeno nella camera di combustione. Una cattiva miscelazione puó favorire la formazione di monossido di carbonio, malgrado l'aria alimentata ai bruciatori sia in quantità stechiometricamente sufficiente per completare la combustione.

Va osservato, tuttavia, che l'adozione dei sistemi di tipo primario per la riduzione delle emissioni di NO_x comporta, in genere, un aumento delle emissioni di CO.

Le emissioni di monossido di carbonio vengono comunque mantenute a livelli minimi al fine di evitare danneggiamenti dei materiali di costruzione del forno (refrattari).

E.7.3.2 Interventi secondari

Principio

Gli interventi secondari che possono portare ad un contenimento delle emissioni di SO_x, HCl ed HF sono strettamente legati ai sistemi di abbattimento delle emissioni di polveri.

Infatti, essi si basano sulla reazione dei gas acidi presenti nei fumi con sostanze alcaline (idrossido di calcio, carbonato di sodio, bicarbonato di sodio, idrossido di sodio, ecc.) con formazione di solfati, cloruri, fluoruri dei metalli alcalini o alcalino-terrosi impiegati.

I sali cosí formati vengono separati, per filtrazione, assieme alle polveri emesse dal processo di fusione del vetro.

I sistemi utilizzati piú frequentemente sono del tipo a secco o quasi-secco; essi prevedono l'aggiunta del reagente sottoforma di polvere finissima o di una sospensione acquosa.

Applicabilità

I sistemi secondari per la rimozione di SO_x, HF ed HCl sono applicabili solo congiuntamente ad un impianto di filtrazione delle polveri.

Per taluni tipi di vetro, la polvere separata mediante filtrazione può essere riutilizzata nel ciclo di produzione, a parziale sostituzione di una materia prima avente composizione chimica simile. Ciò comporta, però, un aumento delle emissioni degli inquinanti interessati alla sostituzione, per effetto della decomposizione dei loro sali nella fusione.

Risultati ottenibili

L'efficienza di rimozione degli inquinanti gassosi può variare notevolmente, in funzione dei seguenti parametri:

- tipo e quantità del reagente impiegato;
- temperatura del processo di trattamento dei fumi;
- tipologia dei fumi da trattare.

In genere, i vari reagenti utilizzati presentano un'efficienza di rimozione diversa nei confronti degli inquinanti gassosi, pertanto la scelta viene effettuata in base alle priorità di abbattimento richieste.

Le emissioni di SO_x possono essere ridotte fino all'80-90 % impiegando quantità di reagente superiori al rapporto stechiometrico; nel caso di HCl ed HF si possono raggiungere livelli di rimozione anche del 95-97 %. Tuttavia, le condizioni operative dell'impianto, in particolare la temperatura dei fumi e la notevole quantità di polvere che si forma con le reazioni chimiche di neutralizzazione, non consentono di raggiungere valori superiori al 35 % per la rimozione degli SO_x, 60-70 % per le emissioni di HCl ed 80-90 % per i fluoruri gassosi.

In ogni caso, le concentrazioni raggiungibili a seguito dell'applicazione di interventi di tipo secondario sono rispettivamente < 5 mg/Nm³ per le emissioni di HF e < 30 mg/Nm³ per le emissioni di HCl. Le concentrazioni raggiungibili per le emissioni di SO_x sono comprese in un ampio intervallo, < 100 – 1700 mg/Nm³, in funzione del tipo di vetro prodotto e del tipo di combustibile utilizzato per la fusione.

Costi di investimento e di esercizio

I costi di investimento sono strettamente legati al sistema di filtrazione utilizzato per la separazione delle polveri. I costi di esercizio dipendono dalla scelta del reagente e dalla possibilità o meno di riutilizzare le polveri filtrate nel ciclo produttivo.

Impatto ambientale

L'impiego di notevoli quantità di reagente e la conseguente produzione di rifiuti solidi che, in molti casi devono essere posti in discarica, rappresentano i principali fattori di impatto ambientale.

E.7.4 Inquinanti derivanti dalle lavorazioni secondarie del vetro

Le lavorazioni secondarie del vetro trattate qui di seguito sono state individuate in quanto presentano un impatto ambientale significativo e richiedono tecnologie specifiche per il trattamento degli effluenti.

E.7.4.1 Trattamenti a caldo ed a freddo del vetro cavo e piano

Le emissioni derivanti dai trattamenti a caldo del vetro cavo, eseguiti mediante l'uso di composti clorurati dello stagno (tetracloruro di stagno, metil, butil cloruri di stagno) possono essere sottoposte a trattamento mediante i seguenti sistemi:

- Lavaggio ad umido dei fumi con soluzione alcalina. Presenta una buona efficienza nei confronti dei cloruri gassosi, meno efficiente per la rimozione dei composti dello stagno.
- Filtrazione su filtro a maniche con pre-trattamento degli inquinanti gassosi mediante idrossido di calcio. Le caratteristiche deliquescenti dei composti dello stagno possono rendere difficile la rimozione delle polveri dal tessuto utilizzato per la filtrazione.
- Convogliamento dei fumi al sistema di trattamento delle emissioni provenienti dal forno fusorio. Rappresenta la tecnica più usata in quanto consente di "diluire" i fumi prima del trattamento con reagente alcalino e della filtrazione dei prodotti di reazione su filtro a maniche o precipitatore elettrostatico. In questo modo si riduce l'effetto dovuto alle caratteristiche chimico-fisiche che rendono queste emissioni altrimenti difficili da trattare. La quantità modesta dei fumi da convogliare ed il flusso di massa degli inquinanti in esso contenuti non modificano in modo significativo la composizione e le caratteristiche dei fumi generati dal forno di fusione del vetro,

Le emissioni derivanti dal trattamento a caldo del vetro cavo mediante solforazione, possono essere trattate congiuntamente ai fumi provenienti dal forno fusorio. In alcuni casi, data la distanza dal sistema di filtrazione e trattamento fumi principale e date le quantità significative di SO₃ presente nei fumi, potrebbe essere necessario trattare i fumi mediante un sistema di lavaggio ad umido con soluzione alcalina.

Anche nel caso del ciclo di produzione del vetro piano, le emissioni derivanti dai trattamenti superficiali del vetro mediante SO₂, possono essere trattate congiuntamente con i fumi derivanti dal forno di fusione.

Le emissioni derivanti dai processi di trattamento a freddo del vetro cavo, mediante emulsioni di acido oleico e polietilene presentano flussi di massa e concentrazioni poco significativi, tanto da non richiedere un trattamento specifico.

E.7.4.2 Lavorazione secondaria del vetro al piombo

Come già indicato precedentemente, il processo di molatura e lucidatura del vetro richiede uno specifico trattamento fumi, mediante lavaggio ad umido degli stessi e trattamento degli effluenti liquidi risultanti in aggiunta alle acque reflue di processo, mediante idrato di calcio.

Tale processo rappresenta la migliore tecnica disponibile.

E.7.4.3 Lavorazioni di apprettatura della lana e del filamento continuo di vetro

Le principali tecniche disponibili per la riduzione delle emissioni solide e gassose derivanti dalle lavorazioni secondarie di lana e filamento continuo di vetro sono le seguenti:

- Sistemi di lavaggio ad umido dei fumi
- Impact Jets
- Filtro elettrostatico ad umido
- Post-combustione

Ciascuno dei sistemi indicati presenta efficienze diverse nella rimozione delle polveri totali e degli inquinanti gassosi. Ad esempio, il precipitatore elettrostatico ad umido presenta una buona efficienza nell'abbattimento delle polveri (< 20 mg/Nm³) ma non è altrettanto efficiente per la rimozione degli inquinanti gassosi. Diversamente, il sistema di lavaggio ad umido dei fumi presenta una buona efficienza di rimozione degli inquinanti gassosi ma, per poter raggiungere efficienze di rimozione accettabili anche per le polveri, richiede consumi energetici molto elevati.

La tecnica della post-combustione (catalitica o termica) è molto efficiente nella riduzione delle emissioni di composti organici ma non agisce sulle polveri inorganiche; ad essa è associato un sensibile aumento dei consumi energetici ed è quindi preferibile una sua applicazione solo nel caso in cui sia possibile effettuare un recupero del calore.

Gli iniettori "Impact Jets" hanno scarsa efficienza nell'abbattimento delle polveri e necessitano di essere impiegati congiuntamente ad un sistema di separazione dell'aerosol generato dal sistema di trattamento (cicloni, ecc.). In sintesi, una tecnica per la rimozione contemporanea delle emissioni solide e gassose non è disponibile; la scelta del sistema per il trattamento fumi rappresenta, in genere, un compromesso tra gli obiettivi di riduzione delle emissioni dei composti organici e delle polveri totali.

I sistemi di controllo delle emissioni attualmente utilizzati dagli impianti operanti in Italia sono caratterizzati da livelli di emissioni in linea con quanto ottenibile dall'applicazione delle migliori tecnologie disponibili.

F. APPROFONDIMENTO DELLE BAT E DEFINIZIONE DEI LIVELLI DI PRESTAZIONE

Le migliori tecniche disponibili (BAT) analizzate nel documento di riferimento europeo BREF rappresentano le opzioni tecniche che le aziende vetrarie hanno a disposizione per il controllo e la riduzione degli inquinanti. La scelta tra le diverse tecnologie necessita di un'attenta valutazione sia per quanto riguarda l'applicabilità allo specifico settore che per la definizione dei livelli di emissione ottenibili.

Infatti, come già sottolineato in precedenza, l'applicabilità e la prestazione di una tecnologia possono essere fortemente influenzate dai seguenti fattori:

- Applicazione della tecnologia su un forno nuovo o esistente;
- Tipo di forno impiegato per la fusione;
- Tipo di vetro prodotto e, quindi, di materie prime impiegate;
- Necessità di impiego di nitrati nella miscela vetrificabile, per garantire qualità elevata;
- Riciclo delle polveri provenienti dal sistema di trattamento fumi.

F.1 BAT per la riduzione delle polveri totali

I sistemi primari (modifica materie prime, aumento del rottame, ecc.) descritti nel documento BREF sono caratterizzati da livelli di emissioni sostanzialmente superiori a quanto ottenibile mediante sistemi secondari (filtrazione), con l'eccezione di alcuni casi specifici, per i quali i livelli di emissione sono paragonabili.

L'identificazione della filtrazione quale BAT per il settore è quindi giustificata. I livelli di prestazione dei sistemi di filtrazione variano in funzione del tipo di filtro impiegato e delle caratteristiche dei fumi da trattare.

Filtro a maniche

I valori di concentrazione raggiungibili con l'applicazione dei filtri a maniche sono generalmente compresi tra 5 e 30 mg/Nm³. In alcuni casi possono essere riscontrati valori più elevati, in particolare:

- Nel caso di vetri di tipo borosilicato, con emissioni di composti del boro particolarmente elevate e temperature di evaporazione relativamente basse.
- Nel caso di forni per la produzione di vetro artistico, con concentrazioni di ossigeno nei fumi particolarmente elevate (circa 20 %) che influenzano negativamente il risultato finale, espresso in concentrazione al 13 % di ossigeno.
- Nel caso di utilizzo di quantità particolarmente elevate di reagente alcalino per la rimozione delle emissioni gassose

Filtro elettrostatico

I valori di concentrazione raggiungibili con l'applicazione dei filtri elettrostatici variano in funzione del numero di campi che compongono il filtro e sono, generalmente, compresi tra 20 e 50 mg/Nm³.

Va osservato che, a parità di campi impiegati per la filtrazione, le prestazioni del filtro dipendono da numerosi altri fattori, in particolare:

- Temperatura dei fumi.
- Umidità dei fumi.
- Volume fumi da trattare

Le caratteristiche dei fumi da trattare non possono essere mantenute costanti in quanto la produzione è suscettibile di variazioni periodiche legate al tipo di prodotto richiesto (es. capacità del contenitore di vetro cavo, spessore del vetro piano, ecc.) ed alla domanda di mercato (il cavato del forno può essere modificato in base ad una diminuzione della richiesta, ad un problema di qualità, del prodotto, ecc.). Tutto ciò ha un'influenza sulle prestazioni del filtro elettrostatico, ampliando l'intervallo relativo ai livelli di emissione raggiungibili.

F.2 BAT per la riduzione delle emissioni di Ossidi di Azoto (NOx)

Le BAT individuate dal documento di riferimento europeo BREF rappresentano tutte le possibili azioni per limitare la formazione o ridurre le emissioni degli NOx dai forni per vetro.

Va osservato che ciascuna tecnologia comporta delle limitazioni nell'applicazione e che la scelta della BAT relativa agli NOx dovrebbe essere fatta caso per caso, tenendo conto delle caratteristiche specifiche dell'impianto.

Va inoltre considerato che, per esigenze di qualità per certi tipi di vetro, in particolare per i vetri da tavola, per uso domestico e farmaceutico, è spesso necessario utilizzare nitrati di sodio e/o potassio, con conseguente emissione di NOx dalla decomposizione delle materie prime e concentrazioni nei fumi significativamente più elevate.

Modifica/controllo della combustione con sistemi primari

La possibilità di ridurre la formazione di NO_x mediante il controllo dei parametri di combustione può essere fatta con risultati sostanzialmente diversi, in funzione della tecnologia adottata. Spesso, si tratta di una combinazione di interventi che comprendono:

- Utilizzo di bruciatori a basso tenore di NO_x;
- Controllo dell'eccesso d'aria, con misure di ossigeno a ciascun torino;
- Modifica della geometria del forno

Gli interventi possono portare a livelli di emissione compresi tra 800 e 2000 mg/Nm³, in funzione del tipo di forno, del suo stato di usura, del grado di implementazione raggiunto e del tipo di combustibile utilizzato. I valori più elevati corrispondono a forni di tipo Side Port a metano e forni adibiti alla produzione di vetri che richiedono nitrati nella miscela vetrificabile. L'applicazione di sistemi per il controllo della combustione su forni esistenti non può avere le stesse prestazioni ottenibili su un forno nuovo, in quanto alcune modifiche possono essere introdotte solo alla ricostruzione del forno.

E' importante osservare che forni di tipologia diversa sono caratterizzati da emissioni sostanzialmente diverse; di conseguenza, le modifiche ed il controllo della combustione apportati ad un forno di tipo Side Port (a fiamme trasversali), caratterizzato da valori di NO_x più alti, daranno risultati diversi rispetto alla stessa applicazione effettuata su forni di altra tipologia (End Port o Unit Melter).

Forni a bassa emissione di NO_x

Le prestazioni di questi tipi di forno (LONOX, FlexMelter), progettati in modo da ridurre la formazione di NO_x, indicano la possibilità di raggiungere livelli di emissione di NO_x fino a valori di 420-440 mg/Nm³, limitatamente ad uno specifico impianto riportato in letteratura. Tuttavia, dai dati rilevati sull'unico forno di questa tipologia esistente in Italia, i tipici valori di emissione si attestano a 700-900 mg/Nm³.

Questi forni sono, in genere, applicabili solo per la produzione di vetro cavo; sono caratterizzati da una capacità produttiva limitata e da un'efficienza energetica inferiore rispetto ai forni a rigenerazione (End Port e Side Port), con conseguente aumento delle emissioni di CO₂ per tonnellata di vetro fuso.

I forni LoNO_x e FlexMelter paragonati ad altri forni di tipo recuperativo tradizionali (Unit Melter), possono consentire un risparmio energetico in quanto l'uscita dei fumi in controcorrente alla miscela vetrificabile ne consente il preriscaldamento.

Ossicombustione

I livelli di emissione raggiungibili con l'applicazione dell'ossicombustione dipendono dal grado di purezza dell'ossigeno utilizzato (> 99 % criogenico, 94-96 % VSA/PSA) e dalla composizione del gas naturale impiegato per la combustione (può contenere dal 2 al 15 % di azoto).

I valori normalmente raggiungibili sono compresi tra 0.5 e 1.5 kg NO_x/t. vetro; diversamente da altre tecnologie, i livelli di concentrazione non possono essere espressi ad un tenore di ossigeno di riferimento.

L'ossicombustione può essere applicata anche a forni esistenti, con prestazioni sicuramente inferiori a quanto ottenibile da un nuovo forno dimensionato per l'applicazione di questa tecnologia ed inoltre compromettendo la vita residua del forno stesso.

L'ossicombustione, se applicata su un forno esistente in modo non adeguato, può risultare in un aumento delle emissioni di NO_x; è quindi preferibile la sua applicazione ad un forno nuovo o in occasione della ricostruzione.

L'applicazione dell'ossicombustione è caratterizzata da costi di gestione elevati (costo dell'ossigeno, in particolare in Italia ove esiste un elevato costo dell'energia elettrica rispetto agli altri Paesi Europei) soprattutto per vetri a basso valore aggiunto e per forni ad elevata efficienza energetica. Per tale motivo la sua applicazione è più diffusa nel settore dei vetri borosilicati (tubo, filamento continuo, ecc.) e non si conoscono (ufficialmente) applicazioni nel settore del vetro piano.

L'utilizzo di questa tecnologia è strettamente legato a fattori locali che possono variare sensibilmente sia all'interno dell'Unione Europea che dello stesso territorio nazionale, con condizioni di fornitura dell'ossigeno che possono essere sostanzialmente diverse e rendere proibitiva l'applicazione dell'ossicombustione alla maggior parte dei forni industriali.

Reburning e processo 3R

I livelli raggiungibili con l'applicazione di queste tecnologie dipendono dalla quantità di combustibile impiegata per la riduzione chimica degli NO_x. I valori ottenibili sono dell'ordine dell'85 % delle concentrazioni iniziali, con concentrazioni inferiori a 800 mg/Nm³.

La tecnologia può essere applicata solo ai forni dotati di camere di rigenerazione e comporta un aumento dei consumi energetici proporzionale alla riduzione ottenibile. Ciò comporta una limitazione importante nell'applicazione di questa tecnologia a forni adibiti alla produzione di vetro a basso valore aggiunto, in particolare nel settore del vetro cavo. La rimozione degli NO_x mediante il sistema 3R comporterebbe infatti un aumento dei consumi energetici di circa il 6-10 %.

L'applicazione della tecnologia 3R è possibile per il settore del vetro piano dove, normalmente, il forno è dotato di una caldaia per il recupero di calore dai fumi, che consente di bilanciare parte dell'aumento dei consumi energetici, limitando l'incremento a valori di circa il 3 %.

Riduzione selettiva senza catalizzatore (SNCR)

I livelli di emissione di NO_x raggiungibili con l'applicazione della tecnologia SNCR consentono di raggiungere riduzioni del 50-70 % rispetto ai valori iniziali.

L'applicabilità della tecnologia è limitata dalla possibilità di disporre di un adeguato punto di immissione dell'ammoniaca che consenta di mantenere le prestazioni anche al variare del cavato del forno. Pur nei limiti di questa applicazione, essa è utilizzabile con i soli forni recuperativi.

Riduzione selettiva con catalizzatore (SCR)

I livelli di emissione di NO_x raggiungibili con l'applicazione della tecnologia SCR consentono di ottenere riduzioni fino a circa il 90 % dei valori iniziali.

L'applicabilità della tecnologia è limitata dalla vita del catalizzatore che può essere compromessa dalla presenza nei fumi di sostanze in grado di comprometterne la durata (alcali, composti del boro, elevate concentrazioni di SO_x).

Come già detto, è importante osservare che mancano applicazioni della tecnologia SCR al settore dei vetri borosilicati ed i vetri per uso domestico, caratterizzati dalla presenza di potassio nella formulazione della miscela vetrificabile e che il numero totale di applicazioni del sistema SCR ai forni per vetro non è tale da poter considerare questa tecnologia come completamente implementata.

F.3 BAT per la riduzione delle emissioni di SO_x ed altri inquinanti gassosi (HCl, HF)

Interventi primari

Gli interventi primari per la riduzione degli inquinanti gassosi possono portare a riduzioni sostanziali delle concentrazioni di SO_x, HCl, HF.

Il controllo delle fonti di approvvigionamento delle materie prime può ridurre sensibilmente la presenza di impurezze che durante la fusione della miscela vetrificabile danno origine alle emissioni.

La difficoltà di reperire materie prime ad elevata purezza e la necessità di impiegare determinate sostanze nella formulazione della miscela vetrificabile per garantire un perfetto affinaggio del vetro, rendono spesso necessario un trattamento fumi con reagente alcalino per la rimozione degli inquinanti gassosi.

Tra gli interventi primari per la riduzione di SO_x può essere indicata anche la scelta del tipo di combustibile (gas naturale o olio a basso tenore di zolfo < 1 %); tuttavia, la scarsa disponibilità di gas naturale in alcune aree geografiche italiane e la migliore efficienza termica dell'olio combustibile rispetto al metano limitano la possibilità di identificare la scelta del tipo combustibile quale BAT per il settore.

Interventi secondari

Il trattamento fumi con un reagente alcalino è normalmente adottato nel caso di filtrazione fumi per la rimozione delle polveri, non solo per la riduzione degli inquinanti gassosi ma anche per proteggere lo stesso sistema di filtrazione da possibili fenomeni di corrosione.

La scelta del tipo di reagente richiede una valutazione attenta dei seguenti aspetti:

- Concentrazione dei diversi inquinanti gassosi da rimuovere (SO_x, HF, HCl);
- Rapporto stechiometrico necessario per una buona efficienza di rimozione, con conseguente produzione di quantità significative di polveri da filtrare;
- Possibili reazioni di "passivazione" del reagente alcalino da parte di sostanze presenti nei fumi (es. composti del boro);
- Temperatura di trattamento fumi, in funzione del tipo di filtrazione.
- Possibilità di riutilizzare le polveri filtrate nella miscela vetrificabile, con conseguenti vantaggi e svantaggi. Il riciclo delle polveri nella miscela vetrificabile alimentata al forno può causare un aumento delle emissioni di SO_x a monte del sistema di trattamento fumi, a causa di una maggiore facilità di decomporsi da parte delle polveri riciclate rispetto alle materie prime tradizionalmente utilizzate (solfati di sodio e di calcio). Inoltre, è indispensabile mantenere una certa costanza di composizione delle polveri al fine di evitare un errato dosaggio dei componenti principali nella miscela vetrificabile.

- Necessità di ottimizzare la quantità di polvere prodotta dal sistema, da destinare al riciclo al forno fusorio, con la quantità di inquinanti gassosi da rimuovere. Infatti, una sovrapproduzione di polvere comporterebbe la necessità di conferirne in discarica grandi quantità.

I reagenti più utilizzati sono l'idrossido di calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$, il bicarbonato di sodio NaHCO_3 ed il carbonato di sodio Na_2CO_3 . Ciascun reagente presenta un'efficienza di rimozione diversa nei confronti degli inquinanti gassosi; ad esempio, il bicarbonato di sodio è efficiente nella rimozione degli ossidi di zolfo mentre ha una scarsa capacità di rimozione dei fluoruri gassosi.

La temperatura dei fumi ha una forte influenza sull'efficienza di rimozione degli inquinanti gassosi, ma è anche praticamente impossibile da controllare, a causa delle esigenze di produzione e della scelta, talvolta forzata, del sistema di filtrazione delle polveri e, conseguentemente, del sistema di raffreddamento dei fumi.

Un riassunto delle prestazioni di ciascun reagente è riportato nella seguente tabella:

Reagente/condizione di impiego	Efficienza di rimozione		
	SOx	HCl	HF
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 400 °C	< 35 %	70 %	95 %
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 200-280 °C	< 20 %	35 %	95 %
$\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 130-240 °C	< 30 %	80 %	95 %
Na_2CO_3 a secco 300-400 °C	< 30 %	50 %	< 30 %
NaHCO_3	Fino al 90 % (*) in funzione del rapporto stechiometrico	50 %	< 30 %

* Si evidenzia che il raggiungimento di tali livelli di efficienza comporta, in molti casi, l'aumento del quantitativo di prodotti di reazione, superiore alle possibilità di riutilizzo, con conseguente necessità di conferimento in discarica.

F.4 Altri interventi di riduzione delle emissioni

Fusione elettrica

Con l'applicazione della fusione elettrica i livelli di emissione di inquinanti solidi e gassosi vengono sensibilmente ridotti, data l'assenza di combustione ed una drastica riduzione dei fenomeni di evaporazione dal bagno di vetro fuso.

Le polveri emesse derivano principalmente dallo spolverio della miscela vetrificabile in fase di caricamento; le emissioni di ossidi di azoto sono generate dalla decomposizione dei nitrati eventualmente presenti nella miscela vetrificabile.

La tecnologia del forno elettrico potrebbe quindi essere considerata come la BAT ideale per il settore.

Tuttavia, l'impiego della fusione elettrica ha forti limitazioni:

- Ridotta flessibilità nella produzione (il cavato del forno non può subire variazioni significative),
- La capacità dei forni elettrici è normalmente limitata a 50-70 t/giorno di vetro prodotto;
- La durata di un forno elettrico è nettamente inferiore a quella di un forno convenzionale.

G. EVENTUALI TECNICHE E TECNOLOGIE ALTERNATIVE

Allo stato attuale non si conoscono tecniche alternative per la riduzione delle emissioni solide e gassose diverse da quelle già individuate nel documento di riferimento europeo BREF.

H. DEFINIZIONE DELLA LISTA DI MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO

Sulla base delle caratteristiche degli impianti di produzione installati in Italia, in particolare della dimensione dei forni e delle tipologie di vetro prodotte, sono state individuate le migliori tecniche per la prevenzione integrata dell'inquinamento derivante dall'industria del vetro in Italia.

Allo scopo sono stati considerati i principi generali che stanno alla base della Direttiva Europea 96/61/CE, in particolare:

- Devono essere prese opportune misure di prevenzione dell'inquinamento, applicando in particolare le migliori tecniche disponibili.
- Deve essere evitata la produzione di rifiuti, in caso contrario i rifiuti sono recuperati, quando tecnicamente ed economicamente possibile, oppure eliminati evitandone o riducendone l'impatto sull'ambiente.
- L'energia deve essere utilizzata in modo efficace.
- Devono essere prese le misure necessarie per prevenire gli incidenti e limitarne le conseguenze.
- Le tecniche "disponibili" sono tali se sviluppate su una scala che ne consenta l'applicazione in condizioni economicamente e tecnicamente valide nell'ambito del pertinente comparto industriale, in questo caso l'industria del vetro, prendendo in considerazione i costi ed i vantaggi.

H.1 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di polveri

La filtrazione viene considerata come la migliore tecnica disponibile per la riduzione delle emissioni di polveri totali in atmosfera.

La filtrazione mediante filtro a maniche è ritenuta adatta per forni di piccola e media capacità produttiva, mentre la sua applicazione a forni di grandi capacità o per volumi elevati di fumi da trattare (più forni di media dimensione nello stesso sito produttivo) viene ritenuta economicamente incompatibile a causa degli elevati costi di gestione, ad eccezione dei forni Unit Melter ove è, comunque, sempre necessario il raffreddamento dei fumi.

La filtrazione mediante filtro elettrostatico è ritenuta adatta per forni di media ed elevata capacità produttiva o per elevati volumi di fumi da trattare. L'applicazione del filtro elettrostatico a forni di piccola dimensione viene ritenuta economicamente incompatibile a causa degli alti costi di investimento.

H.1.1 Applicazioni esistenti

- **Sistema di filtrazione con filtro a maniche**

Attualmente, in Italia, risultano in funzione n. 15 filtri a maniche, di cui n. 12 applicati su forni per vetro cavo, n. 1 per vetro borosilicato e n. 3 applicazioni su forni per la produzione di lana e filato di vetro.

Altri filtri di piccola dimensione sono utilizzati nei casi di vetri prodotti mediante forni elettrici, allo scopo di separare le polveri derivanti dallo spolverio della miscela vetrificabile e per l'eventuale rimozione degli inquinanti gassosi con reagenti alcalini (vetro opale, borosilicato, cristallo al piombo).

Più di 80 sistemi di filtrazione con filtro a maniche sono installati su impianti per la produzione di vetro artistico, anche di piccola dimensione, non sottoposti all'applicazione della Direttiva Europea 96/61/CE.

- **Sistema di filtrazione con filtro elettrostatico**

In Italia esistono n. 20 installazioni operative, di cui n. 6 applicate su forni per vetro piano, n. 13 su forni per vetro cavo ed un'installazione per vetro borosilicato.

H.2 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di ossidi di azoto (NOx)

Gli interventi primari sono considerati le migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di NOx, in quanto intervengono direttamente sui meccanismi di formazione degli inquinanti, limitandone l'emissione. Le migliori tecniche comprendono:

- Bruciatori a bassa emissione di NOx
- Modifica della geometria del forno, controllo dell'eccesso d'aria (Fenix, ecc.)
- Modifica della tecnologia di fusione (ossicombustione, fusione elettrica)
- Forni a bassa emissione di NOx (LoNOx, Flexmelter)

In generale, l'impiego di bruciatori a bassa emissione di NOx può essere effettuato su tutti i tipi di forno convenzionale a combustibile fossile; tuttavia per alcuni forni, in particolare per alcune tipologie di forni Side Port, la geometria degli stessi non consente l'utilizzo di bruciatori modificati per la riduzione delle emissioni di NOx. Normalmente, i migliori risultati si ottengono operando su un nuovo forno, potendo modificare contemporaneamente anche la geometria dei torrini (condotti di ingresso dell'aria di combustione e di uscita dei fumi) o altri parametri che influenzano la reazione di formazione di NOx.

Diversamente, l'applicazione di altre tecnologie (es. Fenix, ossicombustione, fusione elettrica, ecc.) può essere fatta solo considerando caso per caso il singolo impianto, valutando attentamente, oltre all'applicabilità dal punto di vista tecnico anche il rapporto costi/benefici, che può variare in modo significativo sulla base del tipo di vetro prodotto e della dimensione del forno.

Ad esempio, l'applicazione della tecnologia Fenix è attualmente limitata ai forni di tipo Side Port, per la produzione di vetro piano.

L'ossicombustione, a causa degli elevati costi di gestione (costo dell'ossigeno) può essere applicata a forni che producono vetro a più alto valore aggiunto (vetri borosilicati, vetro artistico, ecc.) e caratterizzati da elevati consumi energetici specifici (GJ/ton. vetro fuso).

Diversamente, l'applicazione di questa tecnologia alla produzione di vetro cavo e piano potrebbe essere giustificata solo da condizioni di fornitura dell'ossigeno particolarmente favorevoli, attualmente non prevedibili. Va infatti osservato che l'esistenza di applicazioni dell'ossicombustione in altri Paesi Europei non comporta la diretta trasposizione alle aziende nazionali delle stesse condizioni di fornitura dell'ossigeno, costo dell'energia elettrica e del combustibile, politica ambientale (accordi volontari, ecc.) che possono aver motivato l'applicazione in altri Paesi.

La fusione elettrica trova la sua applicazione principale per la produzione di vetri a più alto valore aggiunto e, spesso, caratterizzati da particolari problemi ambientali (es. emissioni di metalli: Pb, As; presenza di componenti volatili: composti del boro, ecc.). In generale, l'applicazione della fusione elettrica per forni aventi capacità > 70 t/giorno non è economicamente sostenibile.

I forni a bassa emissione di NOx (LoNOx e Flexmelter) hanno un'applicazione limitata, per la tipologia di forno a recupero di calore, caratterizzata da una capacità produttiva relativamente bassa ed un'efficienza energetica inferiore rispetto ai forni a rigenerazione. Questa tecnica di riduzione delle emissioni di NOx non è disponibile per forni di grande capacità.

Tra le tecniche di tipo secondario, rivolte alla rimozione delle emissioni di NOx presenti nei fumi, i sistemi di riduzione chimica mediante iniezione di combustibile fossile (reburning, 3R) consentono di raggiungere una buona efficienza di rimozione a costi accettabili, in particolare nel caso di forni per la produzione di vetro piano, dotati di caldaia per il recupero di calore dai fumi, con conseguente compensazione dell'aumento di consumi energetici. Diversamente, l'applicazione di questa tecnologia al settore del vetro cavo, comporterebbe un incremento dei consumi energetici dell'ordine del 6-10 %.

I sistemi di riduzione chimica mediante iniezione di ammoniaca, comportano, in generale, costi di investimento e di gestione elevati, oltre a presentare un impatto ambientale dovuto alla gestione dello stoccaggio di ammoniaca. Per detti motivi, tali sistemi vengono considerati di difficile applicazione agli impianti di produzione esistenti in Italia.

Va osservato che in Europa risultano funzionanti solo pochi impianti che utilizzano la tecnologia SCR, in particolare due applicazioni nel settore del vetro piano.

Un solo impianto è attualmente funzionante su forni per vetro cavo. Un altro impianto è stato fermato dopo alcuni anni di funzionamento ed è stato sostituito con interventi di tipo primario.

La difficoltà di raggiungere e mantenere bassi livelli di emissioni di NOx ad un costo sostenibile, da parte delle aziende vetrarie produttrici di vetro a basso valore aggiunto (vetro sodico-calcico cavo e piano), ha orientato alcuni Paesi dell'Unione Europea, in particolare Olanda e Gran Bretagna, a richiedere una revisione in tempi brevi del documento di riferimento europeo BREF per l'industria del vetro, al fine di valutare, alla luce delle conoscenze attuali, i livelli di emissione raggiungibili e la reale applicabilità di alcune tecnologie inserite nel documento di riferimento europeo come BAT.

H.2.1 Applicazioni esistenti

- **Modifica e controllo della combustione**

Un numero significativo di aziende ha provveduto ad installare bruciatori a bassa produzione di NOx ed a controllare i parametri di combustione al fine di ridurre le emissioni di ossidi di azoto.

Gli interventi sono stati fatti a diversi livelli di efficienza. L'ottimizzazione delle modifiche apportate è tuttora in corso ma sta evidenziando valori di NOx confrontabili con i valori indicati dal documento di riferimento europeo BREF per l'industria del vetro.

- **Forni a bassa emissione di NOx**

Un'applicazione del forno Flexmelter è operativa per la produzione di vetro cavo.

- **Ossicombustione**

In Italia esistono n. 3 applicazioni dell'ossicombustione su forni industriali, n. 1 per la produzione di vetro cavo, n. 2 per vetro borosilicato (tubo e filato di vetro).

Nel settore del vetro artistico esistono n. 2 applicazioni su forni a vasca e su un forno a bacino di piccola dimensione.

- **Forno elettrico**

In Italia, la fusione totalmente elettrica viene impiegata per la produzione di vetro da tavola e profumeria (5 forni), per contenitori di vetro borosilicato (1 forno), per vetro opale (1 forno), per vetro al piombo (4 forni) e per la produzione di lana di vetro (1 forno).

- **Processo 3R (Reburning)**

In Italia esistono n. 2 applicazioni industriali del sistema 3R, ancora in fase sperimentale.

- **Sistema SCR (riduzione catalitica selettiva)**

E' stato recentemente avviato ed è in corso di messa a regime un sistema di riduzione catalitica SCR, installato su un forno per la produzione di vetro piano.

H.3 Migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di SOx ed altri inquinanti gassosi (HCl, HF)

La migliore tecnica per la riduzione delle emissioni di SOx, HCl, HF è rappresentata dal trattamento fumi mediante reagente alcalino, con sistemi a secco o quasi-secco. Il sistema a secco, con impiego di idrossido di calcio Ca(OH)₂ o bicarbonato di sodio NaHCO₃, è da ritenersi la tecnologia di più facile applicazione, con buone efficienze di rimozione.

La scelta del reagente dovrà essere operata caso per caso, tenendo in considerazione che ciascuna sostanza alcalina ha un'efficienza di rimozione diversa nei confronti di SOx, HCl, HF.

Inoltre, dovrà essere considerata la quantità e la possibilità di re-impiego della polvere generata dal trattamento fumi, al fine di evitare la produzione di rifiuti solidi da smaltire in discarica.

H.3.1 Applicazioni esistenti

- **Sistemi di rimozione degli inquinanti gassosi con reagenti alcalini**

La quasi totalità dei sistemi di filtrazione applicati ai forni per vetro in Italia è dotata di una fase di trattamento fumi con reagente alcalino.

Il sistema maggiormente utilizzato è del tipo a secco, mediante idrossido di calcio Ca(OH)_2

I. ANALISI DELL'APPLICABILITÀ DELLE BAT INDIVIDUATE AGLI IMPIANTI ESISTENTI E TEMPI DI ATTUAZIONE

Come già sottolineato, ad ogni BAT per la riduzione delle emissioni sono sempre associati vantaggi e svantaggi. Una descrizione sintetica dell'applicabilità delle BAT descritte per l'industria del vetro viene presentata nelle tabelle seguenti:

I.1 Polveri totali

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi primari			
Modifica miscela vetrificabile	Dipende dal tipo e dalla qualità di vetro richiesti	Non richiede modifiche al ciclo di produzione	Efficienza di riduzione limitata. Può comportare un aumento dei consumi energetici
Forno elettrico	Solo per forni di ridotta capacità, in genere, < 70 t/g Applicabile solo alla totale ricostruzione del forno		Ridotta flessibilità del forno e durata limitata. Consumo di energia elettrica con emissioni indirette.
Interventi secondari			
Filtro elettrostatico	Adatto per volumi fumi elevati	Basse perdite di carico Può operare a temperature relativamente elevate.	Efficienza che dipende da temperatura, umidità, volume fumi. Richiede uso di energia elettrica con emissioni indirette. Produzione di rifiuti solidi
Filtro a maniche	Non è consigliabile per volumi fumi elevati, ad eccezione dei forni Unit Melter	Elevata efficienza di abbattimento	Necessità di raffreddare i fumi. Alte perdite di carico, con consumo di energia elettrica. Emissioni indirette. Produzione di rifiuti solidi.

1.2 Ossidi di azoto (NOx)

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi primari			
Controllo e modifica della combustione	Si può applicare a tutti i forni convenzionali. Parzialmente applicabile al forno in marcia. La completa implementazione può avvenire alla ricostruzione del forno	Possibile risparmio energetico	Possibili emissioni di monossido di carbonio Non elimina gli NOx da decomposizione dei nitrati
Sistema Fenix	Attualmente si applica solo forni per vetro piano, alimentati ad olio combustibile. Si applica solo alla ricostruzione del forno	Possibile risparmio energetico	Non elimina gli NOx da decomposizione dei nitrati
Forni a bassa emissione di NOx	Solo per alcuni tipi di vetro. Capacità del forno limitata. Richiede la completa ricostruzione del forno	Possibile risparmio energetico rispetto a forni della stessa tipologia (a recupero di calore)	Non elimina gli NOx da decomposizione dei nitrati
Ossicombustione	L'applicazione su forni esistenti è possibile ma con efficienze non ottimali. La completa implementazione richiede la ricostruzione del forno. Limitato campo di applicazione per diversi tipi di vetro	Possibile risparmio energetico	Consumo di energia elettrica per la produzione di ossigeno, con emissioni indirette. Non elimina gli NOx da decomposizione dei nitrati
Forno elettrico	In genere, per forni di ridotta capacità < 70 t/g. Applicabile solo alla totale ricostruzione del forno		Ridotta flessibilità del forno e durata limitata. Consumo di energia elettrica con emissioni indirette. Non elimina gli NOx prodotti dalla eventuale decomposizione dei nitrati
Interventi secondari			
Reburning/3R	Applicabile ai forni a rigenerazione		Comporta un aumento dei consumi energetici (iniezione di combustibile) e maggiore usura dei refrattari
SNCR	Applicabile solo ai forni a recupero di calore e particolari tipologie di forni a rigenerazione		Possibili emissioni di NH ₃ non reagita. Rischi da stoccaggio ammoniacca (possibile classificazione Seveso bis)
SCR	Non sperimentato per vetri borosilicati (lana, filato) e vetri per uso domestico. Numero limitato di applicazioni all'industria del vetro: non completamente implementato		Possibili emissioni di NH ₃ non reagita. Rischi da stoccaggio ammoniacca. Rifiuti solidi da sostituzione catalizzatore (possibile classificazione Seveso bis)

1.3 Ossidi di zolfo (SO_x), cloruri e fluoruri gassosi (HCl, HF)

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi primari			
Miglioramento qualità materie prime e rottame	Difficoltà di reperimento di materie prime pure		
Modifica del tipo di combustibile	Difficoltà di approvvigionamento di gas naturale in alcune aree geografiche		Possibile aumento delle emissioni di NO _x
Interventi secondari			
Tattamento fumi con reagente alcalino	Solo accoppiato ad un sistema di filtrazione delle polveri	In alcuni casi è possibile il riutilizzo delle polveri in sostituzione di una materia prima	Elevata produzione di polveri (rifiuti solidi). Consumo di minerali

1.4 Applicazione delle BAT agli impianti esistenti

Come già indicato, in Italia numerose installazioni per la produzione di vetro hanno già adottato sistemi di controllo delle emissioni, rispondenti alle definizioni di BAT secondo la direttiva europea 96/61/CE. In particolare, su un totale di 54 impianti sottoposti all'applicazione della direttiva, n. 37 impianti hanno già applicato le migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di polveri totali e, contemporaneamente hanno provveduto ad utilizzare sistemi per la riduzione delle emissioni di SO_x, HCl, HF.

Polveri totali

Le aziende che necessitano di applicare le BAT per la riduzione delle emissioni di polveri totali sono, per la quasi totalità, produttrici di vetro cavo, con forni di capacità medio/piccola.

L'applicabilità dei sistemi di filtrazione non dovrebbe presentare problemi specifici, se non l'eventuale carenza di spazio per alcuni stabilimenti.

I tempi di realizzazione degli impianti possono essere in linea con la scadenza prevista dalla direttiva europea, data attualmente fissata al 30.10.2007.

Si fa rilevare che, in qualche caso, a causa dello spazio limitato a disposizione o di altre costrizioni di tipo geometrico, potrebbe essere necessario, fermo restando i limiti previsti per l'adeguamento, far coincidere l'installazione del sistema di filtrazione con la ricostruzione del/i forno/i, per evitare eventuali interruzioni della produzione o altri problemi di gestione degli impianti.

Ossidi di zolfo (SO_x), cloruri e fluoruri gassosi (HCl, HF)

Normalmente, l'applicazione delle migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di SO_x, HCl, HF viene effettuata congiuntamente alla scelta ed all'installazione del filtro per la riduzione delle emissioni di polveri. Infatti, l'aggiunta di reagenti alcalini per la rimozione degli inquinanti gassosi comporta un sensibile aumento delle concentrazioni di polveri totali nei fumi, con conseguente necessità di utilizzare un sistema di filtrazione per la loro rimozione.

D'altra parte, nella maggior parte dei casi è necessario trattare i fumi prima di procedere alla filtrazione delle polveri, al fine di evitare possibili fenomeni di corrosione dei

materiali utilizzati per la costruzione dei filtri (piastre metalliche, tessuto delle maniche filtranti, ecc.)

Va osservato che, in particolare per i forni adibiti alla produzione di contenitori, le emissioni di SO_x, a parità di altre condizioni, possono variare in modo significativo in funzione della colorazione del vetro (verde ossidato, verde ridotto, bianco, mezzo bianco, ambra) e della quantità di rottame impiegata. E' quindi necessario trovare un giusto compromesso tra la riduzione delle emissioni e la quantità di reagente da utilizzare nel sistema, al fine di evitare una sovra-produzione di polveri.

Ossidi di azoto (NO_x)

L'applicazione delle migliori tecnologie per la riduzione delle emissioni di NO_x riguarda la maggior parte degli impianti per la produzione di vetro, con particolare riferimento ai forni del tipo a rigenerazione (End Port e Side Port).

Come già detto, le tecniche che potranno essere applicate sono prevalentemente di tipo primario, le quali, attraverso il controllo dei parametri che regolano la combustione, permettono di raggiungere, in molte occasioni, concentrazioni di NO_x confrontabili con i livelli indicati nel documento di riferimento europeo BREF, garantendo al tempo stesso un rapporto costi/benefici accettabile per l'industria del vetro, in particolare per i prodotti a basso valore aggiunto.

Diversi impianti hanno già sostituito i bruciatori convenzionali con altri di nuova tecnologia, a bassa produzione di NO_x. In alcuni casi, in occasione del rifacimento del forno ne è stata modificata la geometria allo scopo di limitare la formazione di NO_x. In molte di queste situazioni la fase di ottimizzazione della gestione del sistema di combustione non è ancora stata completata, in quanto è necessario adattare il sistema alle diverse condizioni di esercizio del forno (variazione di cavato, diverse percentuali di rottame) al fine di raggiungere e mantenere livelli di emissione i più bassi possibili.

In molti altri casi, sarà necessario intervenire durante la fase di ricostruzione del forno, per poter apportare le modifiche necessarie al raggiungimento di livelli di emissione compresi tra 800 e 1800 mg/Nm³, in funzione del tipo di forno e di combustibile, con i valori più alti relativi a forni di tipo Side Port alimentati a metano.

Il raggiungimento di valori di emissione inferiori comporterebbe l'adozione di misure secondarie (riduzione chimica con ammoniacca) che, come è già stato detto, in generale, comportano costi di investimento e di gestione particolarmente elevati soprattutto per impianti che producono una tipologia di vetro a basso valore aggiunto (contenitori, vetro piano) e rappresentano tecnologie non ancora consolidate sul piano industriale per il settore del vetro cavo.

L'applicazione del processo 3R può essere effettuata solo a fine campagna del forno, in fase di ricostruzione. Essa richiede una fase di messa a punto allo scopo di ottimizzare la quantità di combustibile fossile da iniettare nelle camere di rigenerazione ed un'efficienza di riduzione accettabile. Anche in questo caso è necessario raggiungere un buon compromesso tra l'aumento dei consumi energetici (combustibile iniettato), con conseguente emissione di CO₂, e la riduzione delle emissioni di NO_x.

La fusione elettrica utilizzata come migliore tecnologia per la riduzione delle emissioni di NO_x, richiede una completa ricostruzione del forno e, come già detto, è applicabile solo per forni di piccola capacità, per la produzione di vetri a più alto valore aggiunto.

Un'efficace applicazione dell'ossicombustione richiede la completa ricostruzione del forno, con la modifica della camera di combustione, la sostituzione dei bruciatori,

l'utilizzo di materiali refrattari di elevata qualità, ecc. Come già illustrato, l'applicazione di questa tecnologia è attualmente indirizzata a forni caratterizzati da elevati consumi energetici specifici, adibiti alla produzione di vetro a più alto valore aggiunto; essa deve comunque essere valutata caso per caso, sulla base delle particolari condizioni che possono influenzare e determinare una possibile applicabilità al sito in esame.

J. FATTIBILITA' ECONOMICA DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

Le seguenti tabelle riassumono i dati economici delle diverse tecnologie descritte e le possibili limitazioni alle loro applicazioni.

J.1 Polveri totali

Tecnologia	Costi di investimento	Costi di esercizio	Osservazioni
Interventi primari			
Modifica miscela vetrificabile	Trascurabili	Bassi	Bassa efficienza di riduzione delle emissioni
Forno elettrico	Elevati ma comunque inferiori ad un forno tradizionale di pari capacità	Dipendono dal costo dell'energia elettrica, fino a 4-5 volte superiore al costo del combustibile fossile	Migliore efficienza termica del forno rispetto alla fusione convenzionale
Interventi secondari			
Filtro elettrostatico	Da 0.8 a 3.5 milioni €, per forni da 50 a 600 t/g di vetro	Da 0.1 a 0.4 milioni €/anno, per forni da 50 a 600 t/g di vetro	
Filtro a maniche	Fino a 1.5 milioni €, per forni di media capacità	Da 0.1 a 0.5 milioni €/anno, per forni di media capacità	

J.2 Ossidi di zolfo (SOx), cloruri e fluoruri gassosi (HCl, HF)

Tecnologia	Costi di investimento	Costi di esercizio	Osservazioni
Interventi secondari			
Trattamento fumi con reagente alcalino	Vedi Polveri totali	Fino a 0.15 milioni €/anno + costi relativi al sistema di filtrazione ed all'eventuale smaltimento delle polveri	Il costo del bicarbonato di sodio è significativamente superiore a quello dell'idrossido di calcio

J.3 Ossidi di azoto (NOx)

Tecnologia	Costi di investimento	Costi di esercizio	Osservazioni
Interventi primari			
Controllo e modifica della combustione	Da 0.1 a 0.6 milioni €, per bruciatori a bassa emissione di NOx; da 0.1 a 0.2 milioni €, per sistemi di controllo	0.1 milioni € /anno	Non applicabile per alcuni tipi di forno Side Port
Sistema Fenix	Circa 0.7 milioni €. E' richiesto il pagamento di licenza.	0.1 milioni € /anno	Sistema attualmente sperimentato solo su forni per vetro piano Consente un risparmio energetico. Maggiore usura refrattari
Forni a bassa emissione di NOx	Fino a 1.8 milioni € di costi aggiuntivi rispetto ai forni convenzionali	0.1 milioni € /anno	Maggiore usura refrattari L'applicazione è attualmente limitata a pochi esemplari
Ossicombustione	In genere, i costi di investimento sono inferiori ai forni tradizionali, per l'eliminazione del sistema di preriscaldamento dell'aria. Costo dei bruciatori 0.3-0.5 milioni € in più rispetto a bruciatori tradizionali	Elevati, in funzione del costo dell'ossigeno. Esso comprende anche i costi di investimento per l'impianto di produzione che normalmente viene dato in "uso" dalla stessa ditta fornitrice dell'ossigeno	Si possono realizzare risparmi energetici, in particolare per forni di piccola capacità e per tipologie di vetro ad elevato consumo energetico
Forno elettrico	Vedi Polveri Totali	Vedi Polveri totali	
Interventi secondari			
Reburning/3R	Da 0.3 a 0.8 milioni €, per forni da circa 100 a 500 t/giorno. E' previsto il pagamento di licenza	0.5-1.5 €/t vetro, in funzione della presenza o meno di recupero di calore	Applicato solo a forni di tipo Side Port. Comporta un aumento dei consumi energetici (iniezione di combustibile) e maggiore usura dei refrattari
SNCR	Da 0.2 a 1.3 milioni €, per forni da circa 50 a 600 t/giorno.	Da 0.03 a 0.3 milioni €/anno, per forni da circa 50 a 600 t/giorno.	Applicazione limitata a forni a recupero e particolari tipologie di forni a rigenerazione
SCR	Da 1.0 a 4.5 milioni €, per forni da circa 50 a 600 t/giorno.	Da 0.07 a 0.5 milioni €/anno, per forni da circa 50 a 600 t/giorno.	Tecnologia non ancora completamente consolidata per forni per vetro

K. DEFINIZIONE DEI CRITERI DI INDIVIDUAZIONE ED UTILIZZAZIONE DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

L'individuazione delle migliori tecniche disponibili e l'analisi dell'applicabilità e di utilizzazione delle stesse sono state fatte sulla base dei seguenti criteri principali:

- La tipologia dei vetri prodotti dalle aziende italiane, prevalentemente a basso valore aggiunto (cavo e piano), con circa il 90 % di vetro sodico-calcico. Altri Paesi europei, in particolare la Germania, presentano produzioni importanti di vetri speciali (schermi TV e tubi catodici, vetri per ottica; lampadine, ecc.) che oltre ad essere caratterizzati da un alto valore aggiunto, sono associati ad un impatto ambientale significativo, in particolare per le elevate emissioni di NO_x, di metalli pesanti, ecc. derivanti dal ciclo di produzione di questi tipi di vetro.
- La dimensione dei forni utilizzati per la produzione e la collocazione geografica degli stessi. Infatti, in Italia, a differenza di altri Paesi Europei è molto diffusa la presenza di:
 - Forni di piccola o media dimensione situati singolarmente in località non prettamente industriali, con conseguente limitazione all'applicazione di alcune tecniche per la riduzione delle emissioni, che possono comportare impatti ambientali elevati (es. stoccaggio ammoniacca), oppure costi troppo elevati se applicate a volumi di fumi relativamente bassi. Diversamente dall'Italia, in altri Paesi europei è molto diffusa la presenza di 4-5 forni nello stesso insediamento industriale, con sinergie decisamente vantaggiose per l'applicazione di alcune tecnologie altrimenti troppo costose.
 - Gli stabilimenti di produzione del vetro, in molti casi, sono inseriti in aree dallo spazio limitato che non sempre consentono una libera scelta delle tecnologie da adottare.
- Il 70 % circa dell'energia impiegata per la produzione di vetro da parte delle aziende italiane è rappresentato da gas naturale (metano). Questa scelta operata nel corso degli anni ha portato ad un sensibile contenimento delle emissioni di SO_x ma, per contro, a più elevate concentrazioni di NO_x, rispetto ai forni alimentati ad olio. Il confronto tra i livelli di NO_x raggiunti o raggiungibili dagli altri Paesi europei che utilizzano diffusamente olio combustibile per la fusione è quindi difficile da sostenere in quanto i livelli di partenza sono sostanzialmente diversi.
- I consumi energetici delle aziende italiane, espressi per tonnellata di vetro fuso, si attestano tra i valori più bassi dell'Unione Europea; ciò a causa dell'elevato costo dell'energia che caratterizza l'Italia e che ha costretto le aziende a ridurre drasticamente i consumi per poter essere competitive sul mercato europeo. Questo aspetto limita fortemente l'applicazione di tecnologie che richiedono impieghi energetici significativi, in particolare l'ossicombustione.
- Le tecnologie disponibili sono state esaminate in tutti gli aspetti che concorrono ad una valutazione dell'impatto ambientale globale, in particolare:
 - Il miglioramento ambientale raggiungibile
 - Le emissioni indirette associate all'uso della tecnologia (consumi di energia elettrica)
 - L'utilizzo di risorse naturali (materie prime, acqua)
 - L'utilizzo di sostanze ad impatto ambientale significativo (ammoniaca)
 - La produzione di rifiuti solidi (polveri da filtrazione, catalizzatore da SCR, ecc.) e/o liquidi, privilegiandone il riciclo.

- Una tecnologia applicata con successo ad un settore dell'industria del vetro o ad una particolare tipologia di forno, non necessariamente può essere estesa ad altri settori o a tutti i tipi di forno. Le motivazioni di tali limitazioni possono essere diverse:
 - Incompatibilità chimica tra componenti della tecnologia e la formulazione del vetro prodotto. Ad esempio, componenti della miscela vetrificabile che possono avvelenare il catalizzatore (SCR), oppure che possono corrodere gli elettrodi (forno elettrico), ecc.
 - Tipologia del forno utilizzato che non consente l'applicazione della tecnologia con efficienze di riduzione accettabili (es. SNCR su forni a rigenerazione), oppure a causa di costrizioni di tipo strutturale (es. Reburning/3R e sistema Fenix non applicabili su forni di tipo recuperativo)
 - Costi di investimento e/o di gestione troppo elevati per le tipologie di vetro a basso valore aggiunto (es. ossicombustione per vetro cavo e piano), oppure per forni di dimensioni non compatibili con la tecnologia prescelta (es. forno elettrico per produzioni > 70-150 t/giorno; forni a bassa emissione di NOx per grandi capacità produttive > 200 t/giorno, ecc.).
- L'applicazione di una particolare tecnologia all'industria del vetro effettuata in altri Paesi europei non necessariamente si traduce nella sua completa implementazione a tutto il settore. Ad esempio, la tecnologia SCR è stata applicata in Germania prevalentemente su forni adibiti alla produzione di vetri speciali, caratterizzati da emissioni iniziali di NOx particolarmente elevate, > 4000 mg/Nm³; la stessa tecnologia è stata applicata al settore del vetro cavo solo in pochi casi ed almeno un'applicazione è stata interrotta.
- La stessa tecnologia applicata a forni di tipo diverso, oppure a forni della stessa tipologia ma alimentati da combustibile differente (metano o olio) comporta il raggiungimento di livelli di emissione sostanzialmente diversi, in funzione dei valori iniziali. Ad esempio, un intervento di tipo primario per la riduzione degli NOx applicato ad un forno Side Port alimentato a metano non consente il raggiungimento dei livelli di emissione ottenibili dallo stesso tipo di forno alimentato con olio combustibile, oppure da un forno End Port, a parità di combustibile impiegato.
- Tra le tecnologie disponibili, individuate per l'applicazione all'industria vetraria italiana, sono presenti anche tecniche che non sono ancora state implementate completamente (es. sistema Fenix), oppure che hanno avuto applicazione solo in un particolare settore (es. sistema 3R, applicato ai forni per vetro piano). La loro individuazione deriva dalla conoscenza dei risultati raggiunti con le applicazioni esistenti e dalla volontà delle aziende che hanno sperimentato tali tecnologie di procedere alla loro applicazione anche agli stabilimenti che le stesse controllano sul territorio nazionale.
- I criteri di individuazione delle tecniche disponibili sono stati dettati da aspetti prevalentemente tecnici ma anche da considerazioni di tipo economico, in particolare per i sistemi di controllo delle emissioni di NOx, dove l'adozione di misure primarie (controllo dei parametri di combustione) è normalmente meno costosa e può portare a risultati confrontabili a quanto ottenibile con sistemi secondari (3R, SCR, SNCR), con un bilancio ambientale globale più favorevole (possibilità di risparmio energetico, mancato utilizzo di sostanze impattanti per l'ambiente, NH₃, ecc.). La scelta delle tecniche per il contenimento delle emissioni di polveri, SOx ed altri inquinanti gassosi non ha presentato situazioni ove il confronto tra le misure primarie (modifica della miscela vetrificabile, miglioramento della qualità delle materie prime impiegate) e gli interventi di tipo secondario (filtrazione e

trattamento fumi con reagente alcalino) potesse presentare efficienze di rimozione confrontabili.

Sulla base dei criteri indicati ai punti precedenti, sono state individuate le seguenti tecniche per ciascun settore:

K.1 Tabelle riassuntive delle migliori tecniche individuate per ciascun settore

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HCl, HF
Vetro cavo	Filtro a maniche Per volumi fumi < 30000 Nm ³ /h o per forni Unit Melter	Buciatori a bassa emissione di NOx. Applicabili ad alcune tipologie di forno	Trattamento fumi con reagente alcalino – Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
	Filtro elettrostatico Per volumi fumi > 20000 Nm ³ /h	Modifica geometria forno – Applicabile ad alcune tipologie di forno in fase di ricostruzione	
	Forno elettrico – Solo per vetri ad alto valore aggiunto. Per forni < 70 t/g	Controllo eccesso d'aria – Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Forni a bassa emissione di NOx (Flexmelter, LoNOx) – Solo per forni recuperativi, per capacità produttive < 300 t/g	
		Forno elettrico – Solo per vetri ad alto valore aggiunto. Per forni < 70 t/g	
		Ossicombustione – Applicabile solo per particolari condizioni di fornitura dell'ossigeno, a causa dei costi energetici elevati (costo dell'ossigeno)	
		Riduzione catalitica SCR Forti limitazioni di applicabilità al settore. Vedi Tabelle I.2 e J.3	
		Riduzione non catalitica SNCR. Applicabile solo a forni del tipo a recupero di calore ed a particolari condizioni di temperatura dei fumi. Vedi Tabelle I.2 e J.3	
		Reburning/3R - Forti limitazioni di applicabilità a causa dell'aumento dei consumi energetici. Vedi Tabelle I.2 e J.3	

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HCl, HF
Vetro piano	Filtro elettrostatico Per volumi fumi > 20000 Nm ³ /h	Bruciatori a bassa emissione di NOx . Applicabili ad alcune tipologie di forni	Trattamento fumi con reagente alcalino Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
		Modifica geometria forno Applicabile alla ricostruzione del forno	
		Controllo eccesso d'aria- Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Sistema Fenix Applicabile a forni a fiamme trasversali, con combustione ad olio	
		Reburning, 3R Applicabile a forni con camere di rigenerazione, preferibilmente dotati di caldaia per il recupero di calore	
		SCR (Riduzione selettiva con catalizzatore) La tecnica è applicata ad un solo forno per vetro piano in Europa	

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HF, HCl
Vetro borosilicato (tubo e contenitori)	Filtro a maniche Per volumi fumi < 30000 Nm ³ /h	Bruciatori a bassa emissione di NOx – Applicabili ad alcune tipologie di forni	Trattamento fumi con reagente alcalino Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
	Filtro elettrostatico Per volumi fumi > 20000 Nm ³ /h	Modifica geometria forno – Applicabile ad alcune tipologie di forno	
	Forno elettrico Solo per forni < 70 t/g	Controllo eccesso d'aria – Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Forno elettrico Solo per forni < 70 t/g	
		Ossicombustione Non elimina gli NOx da nitrati della miscela vetrificabile	

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HF, HCl
Filato e lana di vetro	Filtro a maniche Per volumi fumi < 30000 Nm ³ /h	Bruciatori a bassa emissione di NOx - Applicabili ad alcune tipologie di forni	Trattamento fumi con reagente alcalino Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
	Filtro elettrostatico Per volumi fumi > 20000 Nm ³ /h	Modifica geometria forno - Applicabile ad alcune tipologie di forno	
	Forno elettrico Solo per forni < 150 t/g	Controllo eccesso d'aria - Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Forno elettrico - Solo per forni < 150 t/g	
		Ossidcombustione - Non elimina gli NOx da nitrati della miscela vetrificabile	

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HF, HCl
Vetro al piombo	Filtro a maniche Per volumi fumi < 30000 Nm ³ /h	Bruciatori a bassa emissione di NOx - Applicabili ad alcune tipologie di forni	Trattamento fumi con reagente alcalino Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
	Forno elettrico Solo per forni < 70 t/g	Modifica geometria forno - Applicabile ad alcune tipologie di forno	
		Controllo eccesso d'aria - Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Forno elettrico - Solo per forni < 70 t/g	
		Ossidcombustione - Non elimina gli NOx da nitrati della miscela vetrificabile	

Settore	BAT per Polveri	BAT per NOx	BAT per SOx, HF, HCl
Vetro artistico	Filtro a maniche Per volumi fumi < 30000 Nm ³ /h	Bruciatori a bassa emissione di NOx Applicabili ad alcune tipologie di forni	Trattamento fumi con reagente alcalino Applicabile solo a forni con sistema di filtrazione delle polveri
		Controllo eccesso d'aria - Applicabile a tutti i tipi di forno	
		Ossidcombustione - Non elimina gli NOx da nitrati della miscela vetrificabile	

K.2 Tabelle riassuntive delle prestazioni attese dall'applicazione delle migliori tecniche individuate per ciascun settore

I livelli prestazionali possono essere indicati sia in termini di concentrazioni (mg/Nm^3) che come fattori di emissione (kg/t).

Nel caso di forni a combustibile fossile ed aria, può essere determinato un fattore di conversione tra le due unità di misura, mentre per i forni elettrici ed i forni ad ossicombustione tale conversione risulta più complessa.

Va osservato che i livelli prestazionali espressi come fattore di emissione (kg/t) dipendono da numerosi parametri, tra i quali:

- Consumo energetico specifico (GJ/t .)
- Produzione specifica del forno (tonnellate/ m^2 superficie forno)
- Percentuale di rottame utilizzata
- Tipologia di vetro prodotto
- Mix energetico utilizzato (solo combustibile fossile, fossile + energia elettrica)
- Tipo di combustibile (metano, olio)
- Età del forno
- Tipo di forno

Per i suddetti motivi possono essere assunti quali valori di riferimento le emissioni espresse in concentrazione oppure, in alternativa, i fattori di emissione espressi per unità di vetro fuso, ma i due valori non presentano un fattore di conversione fisso e, pertanto, non possono essere considerati contemporaneamente come livelli di riferimento. Va osservato che, a parità di altre condizioni, i fattori di emissione e, conseguentemente, i fattori di conversione da mg/m^3 a kg/t vetro fuso variano notevolmente in particolare con l'età del forno ed il cavato (t/g); il confronto tra due forni con caratteristiche non omogenee comporta sostanziali difficoltà interpretative.

I valori presentati nelle seguenti tabelle si riferiscono ai livelli prestazionali attesi dall'applicazione delle BAT, individuati in base all'osservazione di dati reali derivanti da applicazioni esistenti.

I valori di emissione espressi in concentrazione (mg/Nm^3) risultano mediamente più elevati rispetto a quanto riportato nel documento di riferimento europeo BREF, principalmente quale conseguenza di consumi energetici generalmente bassi e, quindi, di una contrazione del volume dei fumi di combustione emessi in atmosfera.

K.2.1. Vetro cavo

Inquinante/ tipo di forno	BAT individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm^3	$\text{Kg}/\text{ton. vetro fuso}$
Polveri totali	Filtro a maniche	5-30	0.01-0.05
	Filtro elettrostatico	20-50	0.03-0.08
	Forno elettrico		< 0.05
Ossidi di azoto	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione		
	Forni End Port	800-1200	1.5-2.2
	Forni Unit Melter	800-1000	1.5-1.8
	Forni Side Port	1500	< 2.7
	Vetri con nitrati nella miscela vetrificabile	< 2000	< 5

		mg/Nm³	Kg/ton. vetro fuso
	Forni a bassa emissione di NOx (LoNOx, Flexmelter)	700-900	1.0-1.4
	<i>Ossicombustione</i>		0.5-1.5
	Forno elettrico		< 1
Ossidi di zolfo			
Forni a metano (*)	Trattamento fumi con reagente alcalino		
	Vetri per uso domestico	300-500	0.8-1.3
	Vetro cavo tradizionale (bottiglie, vasi, ecc.)	500-800	0.8-1.2
Forni ad olio (*)	Trattamento fumi con reagente alcalino		
	Vetro cavo tradizionale (bottiglie, vasi, ecc.)	1400-1700	2.1-2.5

(*) I valori più elevati si riferiscono ad impianti che effettuano il riciclo delle polveri nella miscela vetrificabile alimentata al forno fusorio. Va osservato che la possibilità di riciclare le polveri al forno dipende dalla tipologia del vetro prodotto .

K.2.2. Vetro piano

Inquinante/ tipo di forno	BAT individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm³	Kg/ton. vetro fuso
Polveri totali	Filtro elettrostatico	20-50	0.05-0.13
Ossidi di azoto	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione		
	Forni Side Port	1200-1500	3.0-3.8
	Sistema Fenix Forni ad olio	< 800	< 2
	Sistema 3R	< 800	< 2
	Sistema SCR	< 800	< 2
Ossidi di zolfo			
Forni a metano (*)	Trattamento fumi con reagente alcalino	200-500	0.5-1.3
Forni ad olio (*)	Trattamento fumi con reagente alcalino	1200-1400	3.0-4.0

(*) I valori più elevati si riferiscono ad impianti che effettuano il riciclo delle polveri nella miscela vetrificabile alimentata al forno fusorio. Va osservato che la possibilità di riciclare le polveri al forno dipende dalla tipologia del vetro prodotto .

K.2.3. Vetro borosilicato (tubo e cavo)

Inquinante/ tipo di forno	BAT Individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm ³	Kg/ton. vetro fuso
Polveri totali	Filtro a maniche	10-30	0.04-0.12
	Filtro elettrostatico	20-50	0.12-0.30
	Forno elettrico		< 0.05
Ossidi di azoto	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione		
	Forni End Port	800-1200	3.2-4.8
	Forni Unit Melter	600-800	2.4-3.2
	Forni Side Port	800-1200	3.2-4.8
	Forni a bassa emissione di NOx (LoNOx, ecc.)	700-900	1.0-1.4
	Ossicombustione		
	Vetri senza uso di nitrati		2-3
	Vetri con uso di nitrati (*)		10-20
	Forno elettrico		< 1
Ossidi di zolfo			
Forni a metano	Trattamento fumi con reagente alcalino	< 100	< 0.4

(*) I valori si riferiscono a forni i cui fumi risultano convogliati insieme ad altri derivanti da produzioni esenti da nitrati, conseguentemente la concentrazione ed il fattore di emissione medi risultano significativamente inferiori rispetto ai valori indicati in tabella.

K.2.4. Vetro borosilicato (lana e filato)

Inquinante/ tipo di forno	BAT individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm ³	Kg/ton. vetro fuso
Polveri totali	Filtro a maniche	10-30	0.05-0.14
	Forno elettrico		< 0.1
Ossidi di azoto	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione		
	Forni Unit Melter	600-1000	2.7-4.5
	Ossicombustione		< 1.5
	Forno elettrico		
	Vetri senza uso di nitrati		< 1
	Vetri con uso di nitrati		< 2
Ossidi di zolfo			
Forni a metano	Trattamento fumi con reagente alcalino	< 800	< 3.6

K.2.5. Vetro al piombo

Inquinante/ tipo di forno	BAT Individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm ³	Kg/ton. vetro fuso
Polveri totali	Filtro a maniche	5-30	0.02-0.09
	Forno elettrico		< 0.05
Ossidi di azoto			
Forni a metano	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione	600-800	1.8-2.4
	Ossicombustione		< 1.5
	Forno elettrico		
	Vetri senza uso di nitrati		< 1
	Vetri con uso di nitrati		< 2
Ossidi di zolfo			
Forni a metano	Trattamento fumi con reagente alcalino	< 200	< 0.6

K.2.6. Vetro artistico

Inquinante/ tipo di forno	BAT individuata/campo di applicazione	Livelli prestazionali attesi	
		mg/Nm ³	Kg/ton. vetro fuso
Polveri totali	Filtro a maniche	5-40	0.02-0.16
Ossidi di azoto			
Forni a metano	Bruciatori LowNOx e/o controllo combustione		
	Vetri senza uso di nitrati	600-800	2.4-3.2
	Vetri con uso di nitrati	1500-2000	6.0-8.0
	Ossicombustione		
	Vetri senza uso di nitrati		< 2
	Vetri con uso di nitrati		< 4
	Forno elettrico		
	Vetri senza uso di nitrati		< 1
	Vetri con uso di nitrati		< 4
Ossidi di zolfo			
Forni a metano	Trattamento fumi con reagente alcalino	< 200	< 0.8

L. PIANO DI MONITORAGGIO

La verifica dei livelli di emissione, associati al ciclo di produzione del vetro, e delle prestazioni dei sistemi installati per il contenimento delle emissioni, può essere effettuata utilizzando diversi metodi, che possono essere impiegati singolarmente o in combinazione:

- Controllo dei parametri critici del sistema di filtrazione e trattamento fumi, al fine di verificarne il buon funzionamento:
 - Perdita di carico del filtro a maniche
 - Tensione, corrente, numero di scariche del filtro elettrostatico
- Controllo periodico delle emissioni mediante misure discontinue, compresa la misura dei parametri accessori:
 - Velocità e volume fumi
 - Temperatura fumi
 - Umidità
 - Ossigeno
 - Anidride carbonica
 - Monossido di carbonio
 - Polveri totali
 - Ossidi di azoto (NO_x)
 - Ossidi di zolfo (SO_x)
 - Cloruri gassosi (HCl)
 - Fluoruri gassosi (HF)
- Misura in continuo degli inquinanti principali e dei parametri accessori, quali in generale:
 - Polveri totali
 - Biossido di zolfo (SO₂)
 - Ossidi di azoto (NO_x)
 - Ossigeno
- Bilancio di massa per la stima di alcune sostanze inquinanti o di altre grandezze:
 - Ossidi di zolfo (SO_x)
 - Volume fumi
 - Umidità fumi

L.1. Controllo dei parametri critici del sistema di trattamento fumi.

Le aziende dotate di impianti di filtrazione e trattamento fumi predispongono un piano di controllo dei parametri critici del sistema, programmando la manutenzione ordinaria dell'impianto (pulizia, verifica degli elementi maggiormente deteriorabili, ecc.).

I parametri individuati quali indicatori del possibile cattivo funzionamento del sistema vengono riportati con la frequenza ritenuta necessaria (giornalmente, settimanalmente) su apposito registro.

Dall'osservazione dei dati, potrà essere evidenziato il progressivo decadimento del sistema oppure un suo cattivo funzionamento, predisponendo di conseguenza una manutenzione straordinaria.

L. 2. Controllo periodico delle emissioni mediante misure discontinue.

Le aziende programmano una serie di misure ai diversi punti di emissione, nel rispetto della frequenza richiesta dalla propria autorizzazione ambientale, e/o in base ad un piano aziendale di controllo.

Sulla base delle caratteristiche qualitative e quantitative delle emissioni derivanti dalle diverse fasi del ciclo di produzione, è proposta la seguente frequenza minima dei controlli periodici:

- Sorgenti di emissione minori (movimentazione e stoccaggio materie prime, trattamenti a caldo del vetro, ecc.): frequenza annuale.
- Forno/i di fusione del vetro, in assenza di sistemi di monitoraggio in continuo degli inquinanti principali: frequenza annuale o semestrale.
- Emissioni derivanti da operazioni di apprettatura, essiccazione, ecc. del vetro borosilicato (lana e filato): frequenza semestrale.

I metodi consigliati per il prelievo e le analisi dei campioni necessari alla misura delle emissioni solide e gassose sono i seguenti:

L.2.1 Metodi consigliati per la misura delle emissioni solide e gassose

Parametro	Principio di misura	Metodo di riferimento
Velocità e portata fumi	Tubo di Pitot o Darcy e micromanometro differenziale	UNI 10169-2001
Ossigeno	Cella all'ossido di zirconio, paramagnetismo, celle elettrochimiche	US-EPA 3A – ALT 004 ASTM D 6522 – 00
Anidride carbonica	Spettrofotometria IR	US-EPA 3A – ALT 004
Monossido di carbonio	Spettrofotometria IR, celle elettrochimiche	US-EPA 3A – ALT 004 ASTM D 6522 – 00
Polveri totali	Filtrazione e determinazione gravimetrica	UNI 10263 – 1998 UNI-EN 13284-1, 2003 Metodo Unichim 494 Uso di sonda e filtro riscaldati per i camini di apprettatura ed essiccazione lana e filato di vetro
Ossidi di zolfo totali (SO ₂ + SO ₃)	Filtrazione ed assorbimento in soluzione alcalina, determinazione con cromatografia ionica, ICP, titolazione con perclorato di Bario	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000 Metodo Interno Stazione Sperimentale del Vetro LAA/MI/01/01
Biossido di zolfo (SO ₂)	Spettrofotometria IR, spettrofotometria UV	UNI 10393 – 1995
Ossidi di azoto (NO + NO ₂)	Spettrofotometria IR, chemiluminescenza	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000 UNI 10878 – 2000 ASTM D 6522 – 00
Cloruri gassosi (HCl)	Filtrazione ed assorbimento in soluzione alcalina, determinazione con cromatografia ionica, titolazione, analisi colorimetrica	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000
Fluoruri gassosi (HF)	Filtrazione ed assorbimento in soluzione alcalina, determinazione con cromatografia ionica, elettrodo specifico allo ione fluoro	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000
Formaldeide	Assorbimento in soluzione acquosa; determinazione colorimetrica o HPLC	US-EPA n. 316, con sonda riscaldata
Fenolo	Assorbimento in soluzione alcalina; determinazione colorimetrica o analisi cromatografia	Metodo Unichim n. 504/80, con sonda riscaldata
Ammoniaca	Assorbimento in soluzione acida; determinazione colorimetrica o elettrodo specifico allo ione ammonio	Metodo Unichim n. 632/84, con sonda riscaldata
Metalli	Filtrazione e/o assorbimento in soluzione acquosa; determinazione con AAS, ICP	Metodo Unichim n. 723 – 1986 Metodo UNI EN 14385/2004

L.3 Misura in continuo degli inquinanti principali

In generale, la misura in continuo delle emissioni è limitata agli inquinanti principali derivanti dal forno di fusione del vetro, in quanto essi rappresentano quantitativamente i flussi di massa più rilevanti del ciclo di produzione e presentano le caratteristiche di una emissione continua e relativamente costante nel tempo.

La misura in continuo delle emissioni può essere effettuata sia mediante sistemi "in situ" che con metodi estrattivi. Normalmente, i sistemi di misura disponibili si basano sui seguenti metodi:

L.3.1 Metodi per la misura in continuo delle emissioni solide e gassose

Parametro	Metodo
Ossigeno	Cella ad ossido di zirconio, paramagnetico
Polveri totali	Sistemi ottici basati sulle misure di opacità o effetto scattering
Ossidi di azoto (NO, NO ₂)	Spettrofotometria IR, UV, chemiluminescenza, FTIR
Biossido di zolfo (SO ₂)	Spettrofotometria IR, UV, FTIR
Monossido di carbonio	Spettrofotometria IR, FTIR
Umidità fumi	FTIR

La taratura e/o la verifica dell'indice di accuratezza relativo dei sistemi di misura saranno effettuate sulla base di quanto stabilito dal Decreto 21 dicembre 1995: "Disciplina dei metodi di controllo delle emissioni in atmosfera dagli impianti industriali".

Nel valutare i risultati e l'affidabilità delle misure, particolare attenzione dovrà essere prestata ad alcuni aspetti che caratterizzano le emissioni dai forni fusori per vetro, in particolare:

- La risposta degli analizzatori "in situ" può essere influenzata da cambi di colore del vetro prodotto, cambi di tipologia di combustibile, variazione della distribuzione granulometrica delle polveri.
- L'affidabilità delle misure eseguite mediante analizzatori di tipo estrattivo dipende anche dal sistema di condizionamento del campione. Infatti, eventuali condensazioni lungo la linea e/o interferenze chimico-fisiche in fase di filtrazione dei fumi da sottoporre ad analisi possono, in alcuni casi, influenzare i risultati delle misure.

L.4 Bilancio di massa

In alcuni casi e per alcune grandezze è possibile calcolare i valori attesi a partire da un bilancio di massa, oppure da dati di processo opportunamente misurati. Ad esempio, le emissioni di ossidi di zolfo possono essere calcolate a partire dalle materie prime impiegate nella miscela vetrificabile, dalla composizione chimica del vetro prodotto e del rottame utilizzato. Tale procedura permette di stimare il flusso di massa in kg/h, espressi come SO₂, e di calcolare la concentrazione di SO_x nei fumi, utilizzando un valore di volume fumi calcolato a partire dai dati di processo.

Tale stima può essere eseguita anche per altre sostanze inquinanti (HCl, HF), in particolare quando queste derivano dall'aggiunta intenzionale di composti del cloro o del fluoro nella miscela vetrificabile.

Un parametro fondamentale per la stima delle emissioni è rappresentato dal volume fumi, la cui determinazione può, in alcuni casi risultare problematica a causa del punto di misura delle emissioni non ideale. In questi casi, è possibile calcolare il volume fumi a partire dal consumo di combustibile del forno fusorio e dalla composizione della miscela vetrificabile. Per poter procedere alla stima del volume fumi al punto di prelievo, alle condizioni di emissione, è necessario conoscere la concentrazione di ossigeno nei fumi.

E' comunemente accettato che, in caso di difficoltà nella misura e/o di contestazione del dato, la portata dei fumi calcolata venga ritenuta più attendibile rispetto a quella misurata.

M. GLOSSARIO

M.1 Definizioni

Emissioni espresse in concentrazione (mg/Nm³): I valori di emissione indicati nel documento si riferiscono a volumi di gas secchi, riportati all'8 % di ossigeno, se non diversamente indicati.

Fattori di emissione (kg/t): I valori si riferiscono a tonnellate di vetro fuso.

Cavato del forno: Produzione giornaliera di vetro fuso, espressa in t/giorno.

Torrino/i: Condotto/i fumi dal quale entrano ed escono alternativamente l'aria comburente ed i fumi di combustione.

Forni a rigenerazione: Forni dotati di camere in materiale refrattario attraverso le quali passano alternativamente l'aria comburente ed i fumi di combustione. La loro funzione è quella di accumulare calore (sottratto ai fumi) e di preriscaldare l'aria comburente.

Forni recuperativi: Forni dotati sistema di recupero di calore mediante scambiatore metallico.

Forni di tipo End Port: Forni dotati di camere di rigenerazione posteriori e fiamme ad U (bruciatori posteriori).

Forni di tipo Side Port: Forni dotati di camere di rigenerazione laterali e fiamme trasversali (bruciatori laterali).

Forni di tipo Unit Melter: Forni di tipo recuperativi, con scambiatore di calore metallico.

INDUSTRIA DELLA PRODUZIONE DELLE FRITTE

A. SCOPI E OBIETTIVI

Il presente documento è stato redatto nell'ambito del Gruppo Tecnico Ristretto (GTR) "Industria del vetro di cui ai punti da 3.3 e 3.4" dell'Allegato I del D. L.vo 372/99 e si riferisce in particolare alla sola produzione delle fritte.

In effetti, in ambito Europeo, il settore di produzione delle fritte è stato inserito nell'ambito delle sostanze di cui al punto 3.4 del sopra citato Allegato I del D. Lgs. 372/99 e quindi all'interno dell'industria del vetro.

Tale interpretazione è stata implementata all'interno del BREF (Bat Reference Document) sull'industria del vetro pubblicato nel dicembre del 2001. In tale documento le fritte occupano per ogni capitolo di riferimento una sezione specifica e distinta. In effetti le fritte non possono essere assimilate al vetro sia per tipologia produttiva sia per lo sbocco finale del prodotto che è l'industria ceramica. L'obiettivo non è quello di fabbricare un prodotto tecnologico specifico ma un solvente/fondente per materie prime per l'applicazione ceramica. Le problematiche produttive e relative ai settori salute, sicurezza e ambiente sono più coerenti con quelle dell'industria chimica alla quale il settore in termini di rappresentanza industriale appartiene.

L'obiettivo del presente documento dedicato alla produzione delle fritte, è quello di facilitare l'individuazione e l'interpretazione delle attività e degli strumenti normativi introdotti dalla Direttiva Comunitaria 96/61/CE del Consiglio del 24 settembre 1996, riguardante la prevenzione e la riduzione integrate dell'inquinamento

Le indicazioni riportate sono state concordate in linea con la direttiva IPPC, promuovendo un approccio integrato alla valutazione dell'inquinamento partendo dal BREF di riferimento per le BAT redatto in ambito Comunitario

B. IDENTIFICAZIONE DELLA NORMATIVA AMBIENTALE RILEVANTE DEL SETTORE

La normativa ambientale di riferimento può essere suddivisa nelle seguenti categorie:

- Tutela qualità delle acque
- Emissioni in atmosfera
- Residui
- IPPC

e può essere così riassunta:

TUTELA QUALITÀ DELLE ACQUE	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Decreto legislativo n. 152 Dell'11 maggio 1999 (G.U. n. 246 del 20 ottobre 2000 - Supplemento Ordinario n. 172)	"Testo aggiornato del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, recante: "Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole", a seguito delle disposizioni correttive ed integrative di cui al decreto legislativo 18 agosto 2000, n. 258"
Decreto legislativo n. 258 Del 18 agosto 2000 (G.U. n. 218 del 18 settembre 2000 - Supplemento ordinario n. 153)	"Disposizioni correttive ed integrative del decreto legislativo 11 maggio 1999, n. 152, in materia di tutela delle acque dall'inquinamento, a norma dell'articolo 1, comma 4, della legge 24 aprile 1998, n. 128"
Decreto 12 giugno 2003, n. 185	Regolamento recante norme tecniche per il riutilizzo delle acque reflue

EMISSIONI IN ATMOSFERA	
<i>Riferimento normativo</i>	<i>Oggetto</i>
Decreto del Presidente della Repubblica n. 203 del 24 maggio 1988.	"Attuazione delle direttive CEE numeri 80/779, 82/884, 84/360 e 85/203 concernenti norme in materia di qualità dell'aria, relativamente a specifici agenti inquinanti, e di inquinamento prodotto dagli impianti industriali, ai sensi dell'art. 15 della legge 16 aprile 1987, n. 183."
Decreto Ministeriale n. 60 del 2 aprile 2002	"Recepimento della direttiva 1999/30/CE del Consiglio del 22 aprile 1999 concernente i valori limite di qualità dell'aria ambiente per il biossido di zolfo, il biossido di azoto, gli ossidi di azoto, le particelle e il piombo e della direttiva 2000/69/CE relativa ai valori limite di qualità dell'aria ambiente per il benzene ed il monossido di carbonio"
Decreto Ministeriale del 12 luglio 1990.	"Linee guida per il contenimento delle emissioni inquinanti degli impianti industriali e la fissazione dei valori minimi di emissione"
Decreto del Ministero dell'Ambiente 1° ottobre 2002, n. 261	Direttive tecniche per la valutazione della qualità dell'aria ambiente - elaborazione del piano e dei programmi di cui agli articoli 8 e 9 del Dlgs 351/1999

RIFIUTI	
Riferimento normativo	Oggetto
Decreto legislativo n. 22 del 5 febbraio 1997 G.U. n. 38 del 15 febbraio 1997 - Supplemento Ordinario n. 33	"Attuazione delle direttive 91/156/CEE sui rifiuti, 91/689/CEE sui rifiuti pericolosi e 94/62/CE sugli imballaggi e sui rifiuti di imballaggio"
Dpcm 24 dicembre 2002	Approvazione del nuovo modello unico di dichiarazione ambientale per l'anno 2003 Testo vigente
Decisione 2002/909/Ce	Approvazione norme italiane sul recupero agevolato dei rifiuti pericolosi - Dm 161/2002
Decisione 2000/532/CE	nuovo CER - Catalogo Europeo dei Rifiuti - Testo vigente
Decisione 2001/573/CE	modifica elenco rifiuti contenuto nella decisione 2000/532/CE

RUMORE	
Riferimento normativo	Oggetto
Legge 447/95	Legge quadro sull'inquinamento acustico
Dpcm 14/11/1997	Limiti massimi di emissioni acustiche
Dpcm 1/3/1991	Limiti massimi di accettabilità
DM 11/12/1996	Applicazione del criterio differenziale per gli impianti a ciclo continuo

IPPC	
Riferimento normativo	Oggetto
Direttiva 96/61/CE (Modificata dalle direttive 2003/35/CE e 2003/87/CE e recepita dal D.Lgs 59/05)	Prevenzione e riduzione integrata dell'inquinamento
Decreto legislativo n. 59 del 18 febbraio 2005 G.U. n. 93 del 22 aprile 2005	Attuazione integrale della Direttiva 96/61/CE relativa alla prevenzione e riduzione integrate dell'inquinamento
Decreto Min. 19 novembre 2002	Ipcc - istituzione della commissione di esperti ex Dlgs 372/1999
Decreto Min. 26 aprile 2002 modifiche al Dm 23 novembre 2001	comunicazione 'Ipcc' - differimento di termini
Decreto Min. 23 novembre 2001 'IPPC'	Dati, formato e modalità comunicazione

Come si evince dalle tabelle sopra riportate non esiste una normativa specifica di settore, ma, vista l'affinità, le norme sono principalmente quelle di riferimento del settore chimico. A conferma di ciò nel DM 12/07/90, nel quale sono riportati alcuni esempi di forni fusori per l'industria del vetro, non vi sono riferimenti specifici a quelli delle fritte

C. RICOGNIZIONE DELLA SITUAZIONE DEL SETTORE, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO ALLA SPECIFICITÀ DEL TESSUTO INDUSTRIALE NAZIONALE

Le informazioni e le tabelle presentate nelle pagine che seguono sono state realizzate utilizzando i dati forniti da Federchimica-Ceramicolor, Associazione Nazionale colorifici ceramici e produttori di ossidi metallici, in rappresentanza dei settori merceologici relativi alle fritte, smalti, coloranti e ausiliari per ceramica, pigmenti inorganici e ossidi metallici. Tali informazioni sono state inoltre integrate attraverso altri canali di indagine.

I dati reperiti sono stati organizzati in modo da fornire informazioni relative alle aziende produttrici in Italia, al numero di unità produttive che fabbricano le fritte, alla distribuzione territoriale di tali unità ed alla loro produzione annuale.

Appare più difficile stabilire con precisione il numero degli addetti in quanto le aziende riportate non sono produttori solo di fritte ma anche di altre tipologie di prodotti. Una stima è comunque riportata.

C.1 Dati sulla produzione

Il settore delle fritte, anche se in questo contesto ricade nell'ambito del vetro, si associa principalmente al mondo della ceramica. La maggior parte della produzione di fritte infatti viene utilizzata quale ingrediente principale per la fabbricazione degli smalti e dei colori per piastrelle ed altri prodotti ceramici. Le fritte, applicate su un adeguato supporto e portate a temperature elevate (800–1300 °C), permettono la creazione di una superficie resistente alle azioni chimiche e fisiche sul supporto ceramico.

Le fritte possono essere immesse sul mercato tal quali oppure, possono essere miscelate e macinate con altre fritte, materiali di cava e pigmenti inorganici, per la produzione di smalti e colori per ceramica.

Una parte meno rilevante di tale produzione è comunque anche utilizzata per la fabbricazione dello smalto porcellanato utilizzato per la smaltatura dei metalli (forni, frigoriferi, ecc).

Nell'Unione Europea, oltre che in Italia, le fritte vengono prodotte in quantitativi significativi anche in Spagna e possono comunque essere considerate un prodotto ormai maturo, con un relativo valore aggiunto.

La produzione non può sicuramente essere considerata consistente specialmente se confrontata con il settore del vetro.

Il settore delle fritte è quindi intimamente legato al mercato della piastrella. Le aziende produttrici italiane e spagnole vendono la maggior parte della propria produzione in questi due mercati di riferimento.

La produzione italiana totale è stimata tra le 120.000 e le 140.000 tonnellate/anno. A questa dovrebbe essere aggiunta una quantità, sicuramente non rilevante, prodotta direttamente all'interno di aziende ceramiche.

Tale valore si riferisce, in linea con quanto definito a livello legislativo, alla sola fusione di fritte e non ad altri processi produttivi finalizzati all'applicazione finale. In effetti numerose sono le aziende che in Italia provvedono in autonomia alla miscelazione e macinazione di prodotti acquistati da terzi.

C.2 Indicazioni della distribuzione territoriale degli impianti

Le aziende produttrici di fritte sono riportate nella seguente tabella.

Azienda	Numero unità	Località
A.S.	1	Via Statale 62 - 42013 Casalgrande (RE)
COLOROBIA ITALIA S.p.a.	2	Via Pietramarina 19/21 - 50053 Sovigliana Vinci (FI) Via Bucciardi 35 - 41042 Fiorano Modenese (MO)
COLORVEGGIA REIRE S.r.l.	1	Via Radici in Monte 63 - 41010 Veggia di Casalgrande (RE)
COVER S.r.l.	1	Via di Sibolla 38 Località Corbaia - 55011 Altopascio (LU)
ESMALGLASS S.p.a.	1	Via Riosecco 12 Località Canfora - 84084 Fisciano (SA)
PEMCO EMAILS Srl	1	Via delle Industrie 9 - 24040 Filago (BG)
SMALTICERAM UNICER Spa	1	Via della Repubblica 10/12 - 42010 Roteglia (RE)
SICER Srl	1	Via Molino Vigne 1 47825, Torriana (RN)

C.3 Numero del personale impiegato

Come sopra riportato il numero del personale è difficilmente calcolabile in quanto le aziende producono anche altre tipologie di prodotti non coinvolti in queste linee guida. Una stima ragionevole attuale indica in 100/150 persone quelle direttamente connesse al ciclo produttivo

C.4 Dati macroeconomici

Il fatturato del settore è stimabile in 60-80 milioni di Euro compresa la miscelazione di prodotti.

C.5 Impatto ambientale del settore

L'impatto ambientale relativo alla produzione delle fritte è quello descritto al successivo punto D - figura 1.

La produzione delle fritte, come anche quella del vetro, è caratterizzata da un elevato consumo energetico mentre le principali emissioni riguardano quelle atmosferiche.

Eventuali impieghi delle fritte per ottenere prodotti diversi sono esclusi dagli scopi delle seguenti linee guida perché non rientrano nel punto 3.4 dell'Allegato I delle legge 372/1999. La stesse considerazioni valgono anche per altri semilavorati.

Energia

I consumi di energia elettrica si riferiscono alla fase di miscelazione, ai sistemi di controllo, trasporto pneumatico, e agli impianti di abbattimento quindi alla sola parte di automazione del processo (incluso trasporto e imballaggio). Per quanto concerne l'energia elettrica utilizzata si stima un consumo di 0,05-0,1 tep/tonnellata prodotto.

La parte preponderante si riferisce ai consumi di combustibili di origine fossile utilizzati per alimentare, ad elevata temperatura, i forni per la fusione delle materie prime in modo da ottenere un sostanza vetrificata a composizione variabile, praticamente insolubile, da utilizzarsi nell'applicazione ceramica.

Il combustibile attualmente utilizzato è il metano. La combustione è del tipo metano/ossigeno e metano /aria. I forni sono progettati in modo da permettere un adeguato apporto di aria falsa dall'esterno in quanto il processo produttivo richiede un'alta concentrazione di aria.

Attualmente nell'80% circa dei forni la combustione è del tipo metano + ossigeno, con percentuali variabili nei rapporti di combustione. Per il restante 20% la combustione è del tipo metano + aria.

I consumi totali di gas naturale stimati sono circa 27.000 tep/anno

Utilizzo di acqua

L'acqua è di fondamentale importanza per il processo di produzione delle fritte in quanto viene utilizzata per il raffreddamento del materiale fuso in uscita dal forno. Tale operazione provoca una repentina solidificazione del fluido in colata a seguito della quale vi è la formazione di granuli /scaglie che vengono man mano raccolti in appositi contenitori per le successive trasformazioni.

Le aziende adottano prevalentemente sistemi con riutilizzo dell'acqua di raffreddamento, parte della quale viene chiaramente persa per evaporazione. E' quindi previsto un reintegro. La maggior parte delle aziende utilizza per tale operazione acqua di pozzo. Un'ulteriore quantità viene persa quando, ciclicamente, si procede alla pulizia del sistema di ricircolo (impianto di distribuzione e vasche di accumulo).

Una seconda tipologia di raffreddamento è quella effettuata attraverso laminazione con rulli di raffreddamento. La colata viene laminata in rulli raffreddati al proprio interno con acqua. In questo caso non vi è contatto diretto con il prodotto finito.

La valutazione precisa dei quantitativi di acqua utilizzati non è facilmente calcolabile in quanto dipende da vari fattori. Un ulteriore approfondimento della problematica è riportato al capitolo E2.

Materie prime

La percentuale e la caratterizzazione delle materie prime utilizzate per la produzione delle fritte dipende dalla tipologia produttiva e dalla composizione del prodotto finale. Mediamente si può fare riferimento alla tabella 3.31 di pagina 113 del BREF sul vetro, nel quale si riporta la distribuzione percentuale dell'utilizzo di materie prime in funzione della tipologia produttiva.

TIPO DI FRITTA	MATERIA PRIMA	Percentuale (%)
Fritte opacizzate	Composti dello zirconio	7.7
	Feldspato	26.8
	Quarzo	25.9
	Acido borico	6.8
	Ossido di zinco	8.4
	Dolomiti	8.4
	Carbonato di calcio	13.4
	Nitrato di potassio	2.6
Fritte trasparenti	Borace	19.1
	Quarzo	42
	Nitrato di sodio	7.8
	Fluosilicato di sodio	1.2
	Fluosilicato di potassio	7.8
	Fosfato di sodio	3.2
	Ossido di titanio	18.9
Fritte basso fondenti	Minio	50
	Quarzo	19.8
	Ossido di zinco	15.1
	Acido borico	15.1

Emissioni atmosferiche

Il processo di fusione delle materie prime nei forni attraverso l'uso di combustibili di origine fossile genera, in funzione del tipo di frittta, emissioni atmosferiche comportanti la presenza di diverse sostanze, sia sotto forma di gas che di particelle solide. In particolare, la fusione ad elevate temperature genera, oltre ad emissioni legate alla decomposizione delle materie prime, anche emissioni legate al sistema di combustione, tra cui possono individuarsi gli ossidi di azoto.

I principali indicatori, e le quantità emesse a valle degli impianti di abbattimento del settore sono le seguenti:

Indicatori	Quantità misurate		Conclusioni del BREF
	(ton/anno)	Kg/ton prodotto	Kg/ton prodotto
Polveri totali	9-10	0,064-0,083	< 0,1
Silice libera cristallina	2-3	0,014-0,025	Non riportato
Ossidi di azoto (NO _x)	500-600	3,57-5	0,5-1,5
Fluoruri (F-)	3,5 - 4	Non disponibile (*)	Non riportato
Metalli	0,9 - 1	0,006-0,0083	Non riportato

(*) Il dato non è disponibile in quanto non tutta la produzione di fritte contiene materie prime a base di fluoro ed i fumi di più forni di produzione sono convogliati ad un unico punto di emissione.

La formazione di CO₂ e di altri gas è principalmente legata alla decomposizione dei carbonati (graniglie, rocce calcaree e dolomite). Nei fumi possono anche essere presenti boro, e metalli pesanti, derivanti dalle materie prime impiegate.

La composizione della frittta incide notevolmente sulla composizione dell'emissione (fumi e particolato). La tipologia dei forni da frittta (con presenza di notevoli quantità di aria falsa) incide notevolmente sulla formazione di ossidi di azoto. In parte, gli ossidi di azoto derivano dalla combustione e da eventuale presenza di materiali azotati nelle materie prime.

Analogamente, la concentrazione dell'ossigeno è influenzata sia dal dosaggio dell'eventuale ossigeno utilizzato per la combustione che dalla quantità di aria falsa necessaria al funzionamento del forno che deve operare in leggera depressione, nonché dalla quantità di aria immessa nell'impianto di abbattimento durante la fase di iniezione del reagente alcalino.

Scarichi idrici

I quantitativi di acqua scaricata in pubblica fognatura e in acque superficiali non sono rilevanti in quanto, come sopra riportato, nel processo si attua prevalentemente il riutilizzo delle acque. Periodicamente, per non incidere sulla qualità della frittura, è necessario procedere ad una sostituzione dell'acqua di accumulo utilizzata per il riciclo. Detta acqua deve essere inviata ad un impianto di depurazione chimico-fisica o prelevata come rifiuto liquido e trasportata ad un impianto autorizzato al trattamento e/o al riutilizzo. Normalmente è prevista quest'ultima destinazione finale, in particolare le acque in questione vengono impiegate per la bagnatura degli impasti ceramici.

Rifiuti

La quantità di rifiuti prodotti è molto modesta anche se qualitativamente molto diversificata. I principali rifiuti derivanti dall'attività e i relativi quantitativi sono:

Codice CER	Descrizione	Quantità (ton/anno) (anno 2002)
06.04.05	Rifiuti contenenti altri metalli pesanti	270,78
08.02.02	Fanghi acquosi contenenti materiali ceramici	1418,05
08.02.03	Sospensioni acquose contenenti materiali ceramici	45,98
10.01.19	Rifiuti prodotti dalla depurazione dei fumi	2,36
10.12.10	Rifiuti solidi prodotti dal trattamento dei fumi	107,28
15.01.01	Imballaggi di carta e cartone	97,75
15.01.02	Imballaggi di plastica	104,449
15.01.03	Imballaggi in legno	121,56
15.01.04	Imballaggi in metallo	13,706
15.01.06	Imballaggi in materiali misti	516,795
15.02.02	Assorbenti, materiali filtranti (inclusi filtri dell'olio non specificati altrimenti) contaminati da sostanze pericolose	0,96
16.11.06	Rivestimenti e materiali refrattari provenienti da lavorazioni non metallurgiche	564,335
17.04.05	Ferro e acciaio	55,45
	TOTALE	3319,455

Di questi si stima che ne vengano recuperati circa 1000 tonnellate/anno. E' comunque necessario sottolineare che in alcuni casi appare estremamente complesso discriminare tra la produzione di rifiuti derivanti dalle fritte o da altre produzioni che avvengono nello stesso sito industriale.

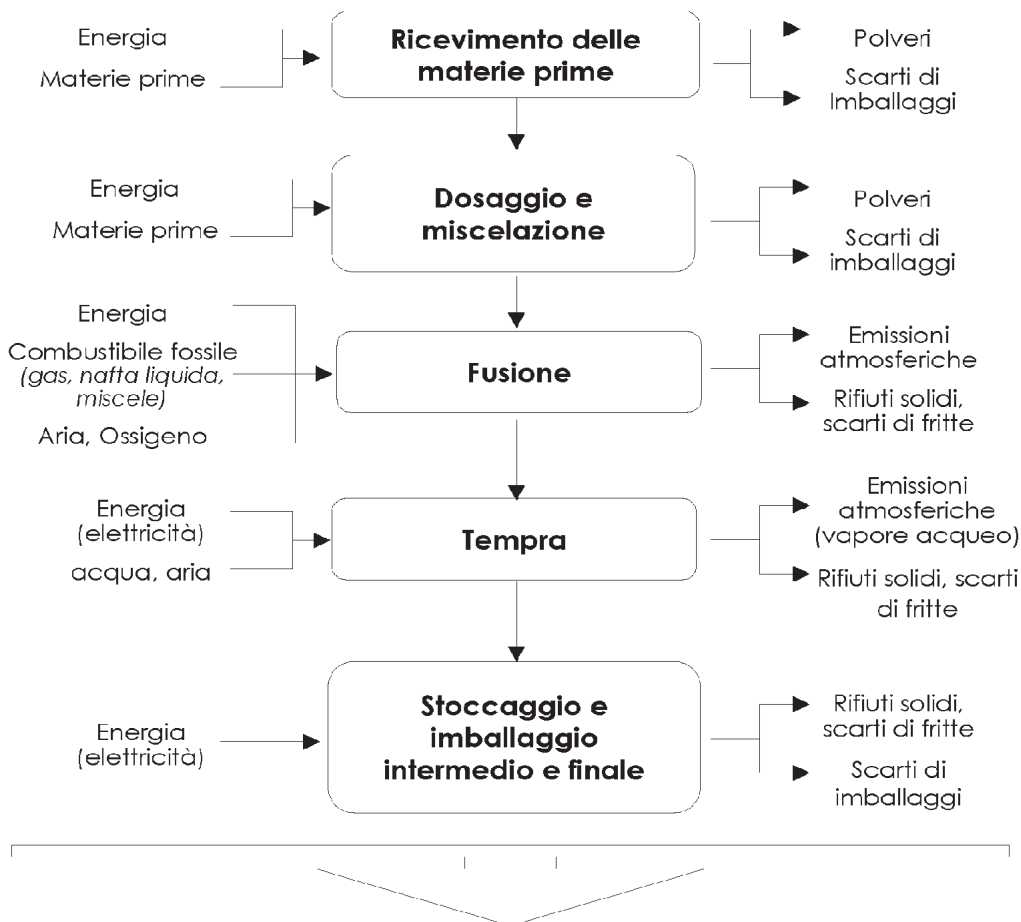
Per le motivazioni di cui sopra i valori riportati sono una stima di settore che può comunque considerarsi attendibile.

D. DESCRIZIONE DEL PROCESSO DI PRODUZIONE, DEGLI EVENTUALI SOTTOPROCESSI E DEGLI IMPIANTI PER I QUALI SONO ANALIZZATE LE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI

Le tecnologie utilizzate nei processi di produzione delle fritte possono essere a tutti gli effetti considerate da tempo mature. Tutti gli impianti italiani utilizzano le medesime tecnologie per cui le due figure seguenti possono essere considerate rappresentative della realtà attuale in termini di processi produttivi. Il diagramma di flusso riportato in figura 1 illustra in modo sintetico il processo produttivo.

Le materie prime possono essere di origine naturale o sintetica e si identificano principalmente nelle seguenti famiglie di prodotti (lista non esaustiva): ossidi metallici e di non metalli, silicati, borati, carbonati, silicati di alluminio, ecc. Esse vengono stoccate principalmente in silos; in funzione della tipologia di prodotto e della dimensione aziendale esse possono essere stoccate anche in "big bags". Tali sostanze vengono trasportate attraverso sistemi meccanici o pneumatici fino all'area in cui avviene la pesatura e la miscelazione.

Questa operazione può essere svolta sia in modo automatico sia manuale da un addetto dedicato che ha il compito di preparare un miscuglio chimicamente e fisicamente uniforme da inviare ai forni fusori. Questi possono essere di tipo "a bacino" e "rotativo", da scegliersi in base alle quantità da produrre e alla formulazione.



SMALTI CERAMICI; COMPOSTI, VETRO E SMALTO PORCELLANATO

I forni da fritta sono sostanzialmente differenti da quelli del vetro in quanto in questi ultimi si deve porre particolare attenzione all'eliminazione dei residui e delle bolle allo scopo di ottenere un vetro perfettamente limpido. Per le fritte queste caratteristiche non rivestono particolare importanza in quanto si privilegiano le condizioni di fusione, che devono essere costanti, così come le materie prime, allo scopo di ottenere un prodotto omogeneo e uguale a se stesso. Una ulteriore differenza è relativa al fatto che i forni da fritta devono operare in leggera depressione, con relativa immissione di aria falsa nel sistema, in modo da evitare re-immissioni di fumi di combustione e fusione nell'ambiente di lavoro.

Nei forni continui (a bacino) le materie prime vengono inserite attraverso un alimentatore a vite fino a formare una pila all'inizio del forno. I bruciatori, alloggiati ai lati, permettono di mantenere temperature di lavoro costanti e una appropriata stabilità. I forni più piccoli possono funzionare con un bruciatore singolo. Durante la fusione si forma uno strato di materia allo stato fluido che fuoriesce dalla parte opposta a quella del caricamento. La fritta allo stato fuso deve essere raffreddata repentinamente con acqua, mediante getto diretto sulla colata in modo da formare granuli o mediante passaggio su rulli raffreddati con acqua corrente all'interno in modo da formare un prodotto a scaglie (laminato).

Il forno è costituito da una base (suola), che può avere una superficie variabile tra i 5 e i 15 m², ed ha una altezza che può raggiungere 1,5/1,6 metri. I bruciatori possono essere in numero variabile in funzione delle dimensioni del forno medesimo (di solito tra 1 e 4).

Per ridurre al massimo gli inquinanti atmosferici che si formano durante la combustione/fusione, le emissioni devono essere convogliate a impianti di abbattimento. La tendenza è quella di dotare ogni forno di un proprio sistema di abbattimento, anche se permangono situazioni di impianto centralizzato a cui sono convogliate diverse sorgenti emissive.

Come sopra riportato, l'aria falsa entra principalmente dalle diverse fessure / aperture presenti sulla struttura (per alloggiamento bruciatori, bocca di colata, ecc.). La formazione degli ossidi di azoto avviene in fase di fusione. L'aria che entra nel forno, alla temperatura di oltre 1000°, provoca la formazione di NOx.

È importante sottolineare che spesso a valle del forno sono presenti scambiatori di calore che hanno lo scopo di ridurre la temperatura del flusso gassoso in uscita in modo da salvaguardare l'impianto di abbattimento (tessuto/non tessuto di filtrazione).

I forni discontinui (rotativi) hanno forma cilindrica e sono rivestiti internamente in materiale refrattario (pigiata). Sono montati su un supporto che ne permette la rotazione. Tali forni sono spesso dedicati alla produzione di fritte speciali o in quantitativi limitati. Le materie prime vengono caricate dall'alto tramite specifica tramoggia.

Le temperature di lavoro variano da un minimo di 800-900°C ad un massimo di 1300-1500°C. Il prodotto può essere venduto tal quale o macinato in appositi mulini e miscelato con altri prodotti quali coloranti, opacizzanti, argille ed altro per ottenere smalti e colori ceramici. A volte il prodotto viene ulteriormente asciugato.

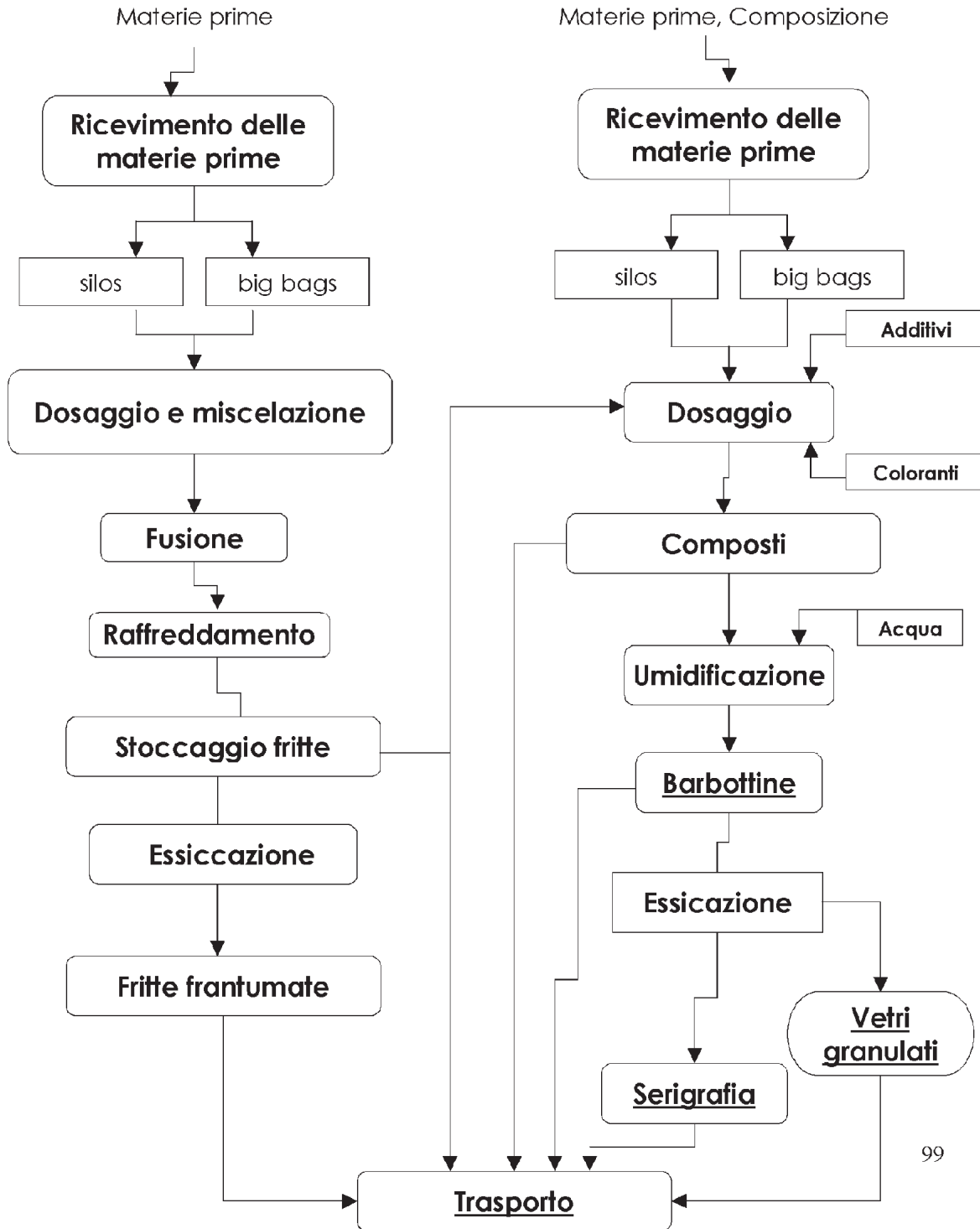
La capacità produttiva può essere così stimata:

Forni a bacino = 300 - 1300 kg/h

Forni rotativi = 150 kg/h (riferiti a un volume interno di 3 m³ ≈

Kg 4000/giorno di miscuglio)

I sistemi di abbattimento consistono in filtri a maniche in tessuto/non tessuto con sistema di iniezione di polvere alcalina (calce idrata o bicarbonato di sodio) per l'abbattimento dei fluoruri. In figura 2 viene definito in modo più approfondito il processo di produzione su alcune categorie specifiche di prodotti.



E. DESCRIZIONI DELLE ANALISI ELABORATE IN AMBITO COMUNITARIO PER LA INDIVIDUAZIONE DELLE BAT, CON PARTICOLARE RIFERIMENTO, OVE DISPONIBILI, ALLE CONCLUSIONI DEI BREF

Alcune delle principali considerazioni relative al BREF comunitario vengono di seguito riportate. Nei seguenti capitoli si procederà a fornire una indicazione generale specifica per ogni indicatore preso in considerazione, attraverso dei range che identificano le performance previste per il settore.

E.1 Concetto generale di migliori tecniche e tecnologie per lo specifico settore

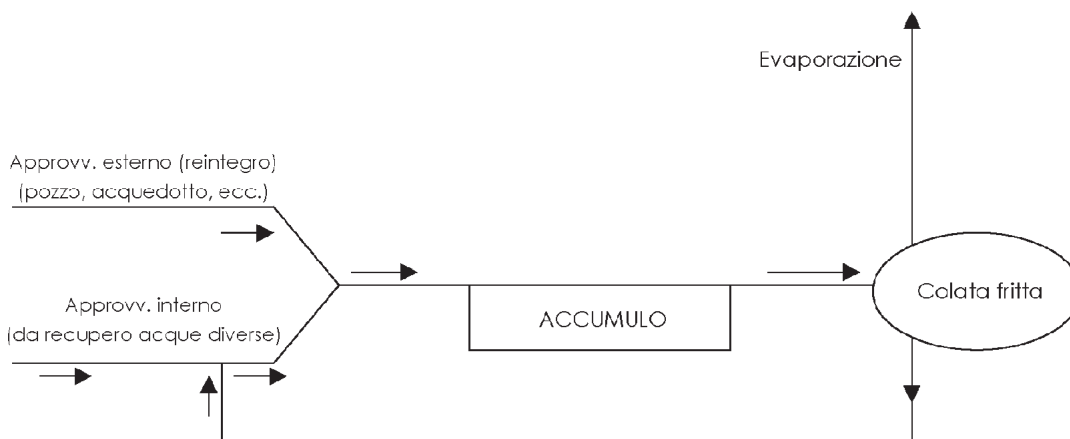
Il significato di BAT – Best Available Technique – è definito nell'art. 2 della Direttiva IPPC e dall'art. 2 comma (o) del D.Lgs. 59/05.

Nelle presenti linee guida vengono considerate quelle tecnologie in grado di minimizzare le emissioni o la produzione di rifiuti, in modo da avere sull'ambiente il minor impatto possibile.

E.2 Aspetti ambientali: consumi (energetici, idrici, di materie prime)

Come riportato nei capitoli precedenti il settore è un forte consumatore di energia: si stima che i consumi specifici di energia siano $\approx 0,2 - 0,3 \text{ Nm}^3 \text{ metano/kg frita}$.

Per quanto concerne i consumi idrici, di seguito si forniscono alcune indicazioni sui sistemi di raffreddamento a "granulazione".



Il processo produttivo "per granulazione" prevede l'impiego di acqua per il raffreddamento della frita fluida che esce dalla bocca di colata del forno, tramite getto diretto sul fluido. Una parte dell'acqua evapora e una parte viene re-immessa nell'impianto di riciclo delle acque. Il flusso sopra raffigurato è quello abitualmente adottato dalle industrie del settore, e consente di poter re-impiegare acque depurate provenienti da eventuali altre lavorazioni, destinandole alla lavorazione delle fritte piuttosto che essere smaltite come acque di scarico* o come rifiuto.

I reali consumi di acqua si riferiscono quindi esclusivamente alle necessità di reintegro da fonti esterne al ciclo produttivo adottato nell'intero insediamento.

Così, nel caso di stabilimento monoprodotto di sole fritte, la necessità di reintegro sarà piuttosto elevata e corrisponderà alla quantità che evapora nella fase di raffreddamento.

Si può stimare che le quantità di acqua evaporate siano di circa 0,6 – 0,7 m³ / ton frita.

Nel caso invece di stabilimento poli-prodotto (fritte, pigmenti inorganici di base, coloranti ceramici, smalti e colori) la necessità di reintegro con acque pubbliche sarà legata alle quantità di acque depurate, provenienti dagli altri cicli produttivi. Si può anche arrivare alla situazione in cui la necessità di reintegro è totalmente coperta da acque di recupero interne e non vi è approvvigionamento da acque pubbliche.

(* = Situazione che si riferisce al processo di raffreddamento per granulazione delle fritte perché da questo derivano acque inquinate da boro. Per questo elemento non esiste un sistema tecnologicamente adattabile al processo produttivo dei colorifici ceramici che, complessivamente, prevede grandi consumi di acqua, mentre l'unico sistema ad oggi individuato - con resine a scambio ionico - è adatto solo per la depurazione di modesti quantitativi d'acqua).

Il consumo specifico di acqua è quindi alquanto variabile fra impianto ed impianto, essendo direttamente connesso al sistema di raffreddamento della colata adottato (a getto diretto sulla colata o con flusso d'acqua interno al cilindro di laminazione). E' altresì legato alla presenza di un sistema di ricircolo e alla sua completa o parziale operatività.

E.3 Aspetti ambientali: emissioni (in atmosfera, negli scarichi idrici, termiche, sonore, da vibrazione)

Le emissioni per il settore di produzione delle fritte sono solo in parte strettamente correlate alla tipologia di prodotto.

Per quanto concerne i principali indicatori in di emissione in atmosfera si stimano le seguenti concentrazioni (con un tenore di ossigeno variabile tra il 15 e il 18%):

Emissioni in atmosfera	Conclusioni Bref	Concentrazioni misurate
	Concentrazioni (mg/Nm ³)	Concentrazioni (mg/Nm ³)
Polveri	5-30	5-10
NO _x	500-700	500 – 1500 (*)
Ossido di zolfo (SO ₂)	500 - 1000	Non significativi (**)
Cloruri (HCl)	< 10	< 10
Fluoruri (HF)	< 5	< 5
Metalli (classe 1 + 2) ***	< 5	< 5
Metalli (classe 1) ***	< 1	< 1

(*) Si sottolinea che per prodotti che contengono nitrati le concentrazioni misurate possono essere sensibilmente più elevate.

(**) Tutti i forni di produzione utilizzano metano come combustibile.

(***) Le classi dei metalli sono quelle di cui alla tabella 5.2 del Documento di Riferimento Europeo BREF. Le concentrazioni sono quelle riportate al punto 5.10.4 dello stesso documento.

Per le emissioni in acqua si stima:

Emissioni in acqua	Conclusioni BREF	Concentrazioni misurate
	Concentrazioni (mg/l)	Concentrazioni (mg/l)
Solidi sospesi	< 30	< 30
Solfati	< 1000	< 1000
Fluoruri	15 - 25	15 - 25
Antimonio	< 0,3	< 0,3
Bario	< 3	< 3
Cadmio	< 0,05	< 0,05
Cromo	< 0,5	< 0,5
Rame	< 0,5	< 0,5
Piombo	< 0,5	< 0,5
Nickel	< 0,5	< 0,5
Stagno	< 0,5	< 0,5
Zinco	< 0,5	< 0,5
Boro	2-4	2-4
PH	6.5 – 9	6.5 - 9

Rifiuti

Codice CER	Descrizione	kg rifiuto /ton prodotto
06.04.05	Rifiuti contenenti altri metalli pesanti	1,9341-2,2565
08.02.02	Fanghi acquosi contenenti materiali ceramici	10,1289 -11,8171
08.02.03	Sospensioni acquose contenenti materiali ceramici	0,3284 - 0,3832
10.01.19	Rifiuti prodotti dalla depurazione dei fumi	0,0169 - 0,0197
10.12.10	Rifiuti solidi prodotti dal trattamento dei fumi	0,7663- 0,8940
15.01.01	Imballaggi di carta e cartone	0,6982 - 0,8146
15.01.02	Imballaggi di plastica	0,7461 - 0,8704
15.01.03	Imballaggi in legno	0,8683 - 1,0130
15.01.04	Imballaggi in metallo	0,0979 - 0,1142
15.01.06	Imballaggi in materiali misti	3,6914 - 4,3066
15.02.02	Assorbenti, materiali filtranti (inclusi filtri dell'olio non specificati altrimenti) contaminati da sostanze pericolose	0,0069 - 0,0080
16.11.06	Rivestimenti e materiali refrattari provenienti da lavorazioni non metallurgiche	4,0310 - 4,7028
17.04.05	Ferro e acciaio	0,3961 - 0,4621

F. APPROFONDIMENTO, OVE NECESSARIO, DELLE TECNICHE ANALIZZATE NEI BREF COMUNITARI E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DELLE DIVERSE TECNICHE

Le migliori tecniche disponibili (BAT) analizzate nel documento di riferimento europeo BREF rappresentano le soluzioni che le aziende del settore hanno a disposizione per il controllo e la riduzione degli inquinanti. Tuttavia, tali tecnologie solo in parte possono essere applicate alle aziende produttrici di fritte, in quanto la loro dimensione e la capacità produttiva sono particolarmente ridotte.

F.1 BAT per la riduzione delle polveri totali

L'identificazione della filtrazione quale BAT per il settore è giustificata.

I livelli di prestazione dei sistemi di filtrazione variano in funzione del tipo di filtro impiegato

Filtro a maniche

I valori di concentrazione raggiungibili con l'applicazione dei filtri a maniche sono generalmente compresi tra 5 e 30 mg/Nm³

Filtro elettrostatico

I valori di concentrazione raggiungibili con l'applicazione dei filtri elettrostatici variano in funzione del numero di campi che compongono il filtro e sono, generalmente, compresi tra 20 e 50 mg/Nm³. Normalmente questa tecnologia non viene applicata al settore in quanto i volumi dei fumi da trattare sono molto ridotti rispetto alla soglia minima di validità tecnico-economica di questa tecnologia.

F.2 BAT per la riduzione delle emissioni di Ossidi di Azoto (NOx)

Le BAT individuate dal documento di riferimento europeo BREF rappresentano tutte le possibili azioni per limitare la formazione o ridurre le emissioni degli NOx dai forni per la produzione di vetro. Tuttavia, la loro applicazione al ciclo di produzione delle fritte presenta notevoli limitazioni a causa delle dimensioni molto ridotte delle aziende produttrici e, conseguentemente, dei volumi di fumi da trattare.

Va inoltre considerato che, per certi tipi di fritta, è spesso necessario utilizzare nitrati di sodio e/o potassio, con conseguente emissione di NOx dovuta alla decomposizione delle materie prime e concentrazioni nei fumi significativamente più elevate.

La soluzione tecnologica di possibile utilizzo da parte delle aziende produttrici di fritte consiste nell'ossicombustione, già applicata a circa l'80 % della produzione nazionale

F.3 BAT per la riduzione delle emissioni di fluoruri (espressi come HF)

Interventi

Gli interventi primari per la riduzione degli inquinanti gassosi possono portare a riduzioni sostanziali delle concentrazioni di HF.

Tuttavia, la necessità di impiegare determinate sostanze nella formulazione della miscela vetrificabile, rende spesso necessario un trattamento fumi con reagente alcalino per la rimozione degli inquinanti gassosi.

Tale trattamento, in particolare mediante l'impiego di idrossido di calcio è normalmente adottato dal settore per la riduzione degli inquinanti gassosi.

La scelta del tipo di reagente richiede una valutazione attenta dei seguenti aspetti:

- Concentrazione dell'inquinante gassoso da rimuovere (fluoruri, espressi come HF);
- Rapporto stechiometrico necessario per una buona efficienza di rimozione, con conseguente produzione di quantità significative di polveri da filtrare;
- Possibili reazioni di "passivazione" del reagente alcalino da parte di sostanze presenti nei fumi (es. composti del boro);
- Possibilità di riutilizzare le polveri filtrate nella miscela vetrificabile, Necessità di ottimizzare la quantità di polvere prodotta dal sistema, da destinare al riciclo al forno fusorio, con la quantità di inquinanti gassosi da rimuovere. Infatti, una sovrapproduzione di polvere comporterebbe la necessità di conferire in discarica grandi quantità.

I reagenti più utilizzati sono il carbonato di calcio CaCO_3 , l'idrossido di calcio Ca(OH)_2 e il bicarbonato di sodio NaHCO_3 . Ciascun reagente presenta un'efficienza di rimozione diversa nei confronti degli inquinanti gassosi; ad esempio, il bicarbonato di sodio ha una scarsa capacità di rimozione dei fluoruri gassosi.

Un riassunto delle prestazioni di ciascun reagente è riportato nella seguente tabella:

Reagente/condizione di impiego	
	HF
Ca(OH) ₂ a 400 °C	95 %
Ca(OH) ₂ a 200-280 °C	95 %
Ca(OH) ₂ a 130-240 °C	95 %
CaCO ₃ a secco 100-400 °C	95 %

* Si evidenzia che il raggiungimento di tali livelli di efficienza comporta, in molti casi, l'aumento del quantitativo di prodotti di reazione, superiore alle possibilità di riutilizzo, con conseguente necessità di conferimento in discarica.

G. IDENTIFICAZIONE DI EVENTUALI TECNICHE ALTERNATIVE E DEFINIZIONE, OVE POSSIBILE, DEL RANGE DI PRESTAZIONE DI TALI TECNICHE

Come sopra riportato, il settore può essere a tutti gli effetti considerato maturo, non esistono pertanto tecniche alternative.

La maggior parte dei processi produttivi del settore è stata sviluppata da lungo tempo ed, ovviamente adattata nel corso degli anni, con particolare attenzione agli aspetti ambientali e di salvaguardia della salute dei lavoratori. Alcune delle soluzioni tecniche presentate dal BREF implicherebbero variazioni sostanziali nella qualità del prodotto finito. Ogni azienda possiede uno specifico know-how che viene adattato alla necessità produttive. La modifica delle tecnologie di fabbricazione porterebbe all'ottenimento di prodotti con qualità sostanzialmente differenti.

H. DEFINIZIONE (SULLA BASE DELL'APPROFONDIMENTO E DELL'ESTENSIONE DELLE ANALISI SVOLTE IN SEDE COMUNITARIA), DELLA LISTA DELLE MIGLIORI TECNICHE DISPONIBILI PER LA PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO DELLO SPECIFICO SETTORE IN ITALIA

Il problema principale osservato dal settore riguarda le emissioni di NO_x. Infatti, le concentrazioni riscontrate sugli impianti produttivi nazionali presentano valori mediamente superiori a quelli indicati nel BREF, sia in termini di concentrazione che come fattore di emissione. Si ritiene che ciò sia dovuto principalmente al fatto che, diversamente dall'industria del vetro, per il settore di produzione della frittata non è stato considerato il contributo alle emissioni dovuto alla presenza di nitrati nella miscela vetrificabile che, nel caso delle aziende italiane può rappresentare un'aliquota non trascurabile del totale. D'altra parte, le tecnologie di tipo secondario disponibili per l'industria vetraria non sono applicabili al settore delle fritte in quanto tecnicamente ed economicamente non sostenibili. Come già illustrato, l'ossicombustione rappresenta allo stato attuale la migliore tecnologia applicabile al settore per la riduzione delle emissioni di NO_x.

I. ANALISI DELL'APPLICABILITÀ AD IMPIANTI ESISTENTI DELLE TECNICHE DI PREVENZIONE INTEGRATA DELL'INQUINAMENTO ELENCAE NEL PUNTO PRECEDENTE, ANCHE CON RIFERIMENTO AI TEMPI DI ATTUAZIONE

Con riferimento alle principali tecniche disponibili, nella seguente tabella vengono elencati i principali vantaggi e svantaggi del loro utilizzo:

Abbattimento delle polveri

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi primari			
Modifica materie prime	Praticamente non applicabile al settore fritte		- Efficienza di riduzione limitata. - Può comportare notevoli variazioni nella qualità del prodotto finito
Forno elettrico	Non è più utilizzato		Ridotta flessibilità del forno e durata limitata. Consumo di energia elettrica con emissioni indirette.
Interventi secondari			
Filtro elettrostatico	Adatto per volumi fumi elevati e pertanto difficilmente applicabile al settore	Basse perdite di carico Può operare a temperature relativamente elevate.	Bassa efficienza Produzione rifiuti solidi
Filtro a maniche	Abitualmente applicato	Elevata efficienza di abbattimento	Necessità di raffreddare i fumi. Alte perdite di carico, con consumo di energia elettrica. Emissioni indirette. Produzione di rifiuti solidi.

Fluoruri gassosi (espressi come HF)

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi secondari			
Trattamento fumi con reagente alcalino	Solo accoppiato ad un sistema di filtrazione delle polveri	In alcuni casi è possibile il riutilizzo delle polveri in sostituzione di una materia prima	Elevata produzione di polveri (rifiuti solidi).

Ossidi di Azoto (NOx)

Tecnologia	Applicabilità	Vantaggi	Svantaggi
Interventi primari			
Ossicombustione	Applicabile ai forni per fritte	Risparmio energetico e riduzione dell'impatto ambientale	Non agisce su NOx da nitrati. Costo dell'ossigeno

Applicazione delle BAT agli impianti esistenti

In Italia tutti gli impianti per la produzione di fritte hanno già adottato sistemi di controllo delle emissioni, rispondenti alle definizioni di BAT secondo la direttiva europea 96/61/CE. In particolare, hanno già applicato le migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di polveri totali, e, contemporaneamente hanno provveduto ad utilizzare sistemi per la riduzione delle emissioni di fluoruri.

Fluoruri gassosi (espressi come HF)

Normalmente, l'applicazione delle migliori tecniche per la riduzione delle emissioni di HF viene effettuata congiuntamente alla scelta ed all'installazione del filtro per la riduzione delle emissioni di polveri. Infatti, l'aggiunta di reagenti alcalini per la rimozione degli inquinanti gassosi comporta un sensibile aumento delle concentrazioni di polveri totali nei fumi, con conseguente necessità di utilizzare un sistema di filtrazione per la loro rimozione.

Ossidi di azoto (NOx)

Un numero consistente di aziende ha adottato l'ossicombustione quale tecnica per la riduzione delle emissioni di NOx da combustione.

Altre tecnologie per la riduzione delle emissioni di NOx dai forni per la produzione di fritte vetrose, in particolari i sistemi di tipo secondario, sono ritenute non applicabili dal punto di vista tecnico-economico, a causa del limitato volume fumi.

J. FATTIBILITÀ ECONOMICA DELLE TECNICHE ELENcate ANALIZZATA ATTRAVERSO ANALISI COSTI-BENEFICI

Le seguenti tabelle riassumono i dati economici delle diverse tecnologie descritte

Polveri totali

Tecnologia	Costi di investimento	Costi di esercizio	Osservazioni
Interventi secondari			
Filtro a maniche	Fino a 1.5 milioni	Da 0.1 a 0.5 milioni €/anno,	

Fluoruri gassosi (espressi come HF)

Tecnologia	Costi di investimento	Costi di esercizio	Osservazioni
Interventi secondari			
Trattamento fumi con reagente alcalino	Vedi Polveri totali	Fino a 0.15 milioni €/anno + costi relativi al sistema di filtrazione ed all'eventuale smaltimento delle polveri	Il costo del bicarbonato di sodio è significativamente superiore a quello dell'idrossido di calcio L'NaHCO ₃ presenta una scarsa efficienza di rimozione dei fluoruri gassosi.

L. PIANO DI MONITORAGGIO

La verifica dei livelli di emissione, associati al ciclo di produzione delle fritte, e delle prestazioni dei sistemi installati per il contenimento delle emissioni, può essere effettuata utilizzando diversi metodi, che possono essere impiegati singolarmente o in combinazione:

- Controllo dei parametri critici del sistema di filtrazione e trattamento fumi, al fine di verificarne il buon funzionamento:
 - Perdita di carico del filtro a maniche
- Controllo periodico delle emissioni mediante misure discontinue, compresa la misura dei parametri accessori:
 - Velocità e volume fumi
 - Temperatura fumi
 - Umidità
 - Ossigeno
 - Anidride carbonica
 - Monossido di carbonio
 - Polveri totali
 - Ossidi di azoto (NO_x)
 - Fluoruri gassosi (espressi come HF)

L.1. Controllo dei parametri critici del sistema di trattamento fumi.

Le aziende dotate di impianti di filtrazione e trattamento fumi predispongono un piano di controllo dei parametri critici del sistema, programmando la manutenzione ordinaria dell'impianto (pulizia, verifica degli elementi maggiormente deteriorabili, ecc.).

I parametri individuati quali indicatori del possibile cattivo funzionamento del sistema vengono riportati con la frequenza ritenuta necessaria su apposito registro.

Dall'osservazione dei dati, potrà essere evidenziato il progressivo decadimento del sistema oppure un suo cattivo funzionamento, predisponendo di conseguenza una manutenzione straordinaria.

L. 2. Controllo periodico delle emissioni mediante misure discontinue.

Le aziende programmano una serie di misure ai diversi punti di emissione, nel rispetto della frequenza richiesta dalla propria autorizzazione ambientale, e/o in base ad un piano aziendale di controllo.

I metodi consigliati per il prelievo e le analisi dei campioni necessari alla misura delle emissioni solide e gassose sono i seguenti:

L.2.1 Metodi consigliati per la misura delle emissioni solide e gassose

Parametro	Principio di misura	Metodo di riferimento
Velocità e portata fumi	Tubo di Pitot o Darcy e micromanometro differenziale	UNI 10169-2001
Ossigeno	Cella all'ossido di zirconio, paramagnetismo, celle elettrochimiche	US-EPA 3A – ALT 004 ASTM D 6522 – 00
Anidride carbonica	Spettrofotometria IR	US-EPA 3A – ALT 004
Monossido di carbonio	Spettrofotometria IR, celle elettrochimiche	US-EPA 3A – ALT 004 ASTM D 6522 – 00
Polveri totali	Filtrazione e determinazione gravimetrica	UNI 10263 – 1998 UNI-EN 13284-1, 2003 Metodo Unichim 494 Uso di sonda e filtro riscaldati per i camini di apprettatura ed essiccazione lana e filato di vetro
Ossidi di azoto (NO + NO ₂)	Spettrofotometria IR, chemiluminescenza	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000 UNI 10878 – 2000 ASTM D 6522 – 00
Fluoruri gassosi (HF)	Filtrazione ed assorbimento in soluzione alcalina, determinazione con cromatografia ionica, elettrodo specifico allo ione fluoro	DM 25/08/2000, G.U. n. 233 del 23/09/2000
Metalli	Filtrazione e/o assorbimento in soluzione acquosa; determinazione con AAS, ICP	Metodo Unichim n. 723 – 1986

07A04479