



CERTIFICATI BIANCHI
Allegato 2.2 alla Guida Operativa

Guide Settoriali

***IL SETTORE INDUSTRIALE
DELLA PRODUZIONE DI VETRO E PRODOTTI IN VETRO***

INDICE

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO | 3 |
| 2 | DESCRIZIONE DELLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI E DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA..... | 8 |
| 2.1 | Interventi direttamente connessi al forno fusorio | 9 |
| 2.2 | Interventi indiretti connessi al forno | 11 |
| 2.2.1 | <i>Preriscaldamento del rottame</i> | 11 |
| 2.2.2 | <i>Produzione di energia elettrica da recupero termico</i> | 11 |
| 2.3 | Ulteriori interventi di efficienza energetica | 12 |
| 3 | INDIVIDUAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CALCOLO DEI RISPARMI..... | 13 |
| 4 | METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA..... | 15 |
| 5 | BIBLIOGRAFIA..... | 17 |

1 DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO

L'industria del vetro, settore Ateco 23.1 (Fabbricazione di vetro e prodotti di vetro), rientra nell'ambito manifatturiero C della fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi (23) insieme alla produzione di prodotti refrattari, in porcellana e ceramica, in calcestruzzo, etc.

Le attività del settore vetro sono sostanzialmente suddivisibili in due filoni: la fabbricazione (di quattro differenti tipologie di vetro: piano, cavo, fibre di vetro e "altro" riferito, ad esempio, alle produzioni artistiche) e la lavorazione.

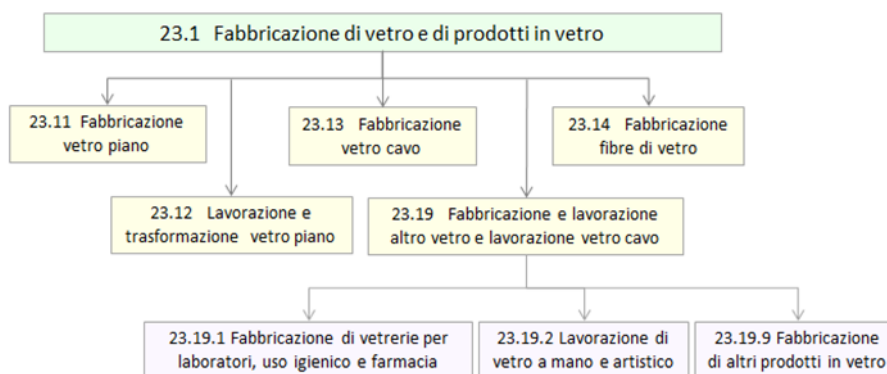


Figura 1: schematizzazione Ateco del settore vetro

Le aziende italiane produttrici di vetro e prodotti in vetro attive nel 2014 sono state 3.652, hanno occupato 30.258 addetti e hanno avuto un fatturato pari a circa 5,9 miliardi di euro complessivi. La produzione nazionale vetraria è risultata pari a 5.296.134 t, essenzialmente suddivisa tra vetro piano (966.068 t; 18,2%) e vetro cavo (3.848.557 t; 72,6%).

Dai dati ISTAT risulta che il 79% delle 3.652 imprese opera nella lavorazione dei prodotti di vetro (cod. Ateco 23.12 e 23.19.2) (Figura 2), soprattutto nella lavorazione e trasformazione del vetro piano (66,3 %), mentre quelle che fabbricano il vetro piano, cavo e fibre di vetro rappresentano complessivamente solo il 5,6% del parco totale di aziende (Figura 3).

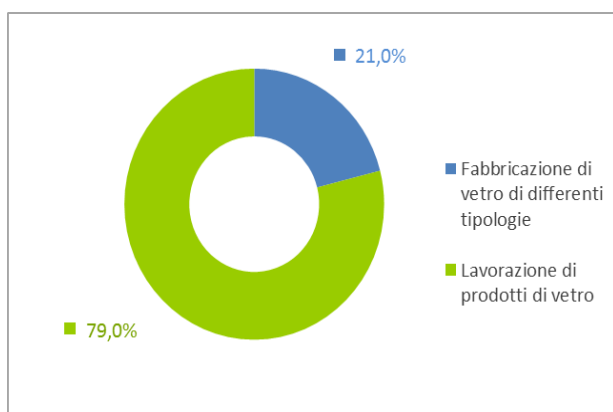


Figura 2: Ripartizione delle imprese tra attività di fabbricazione e di lavorazione del vetro

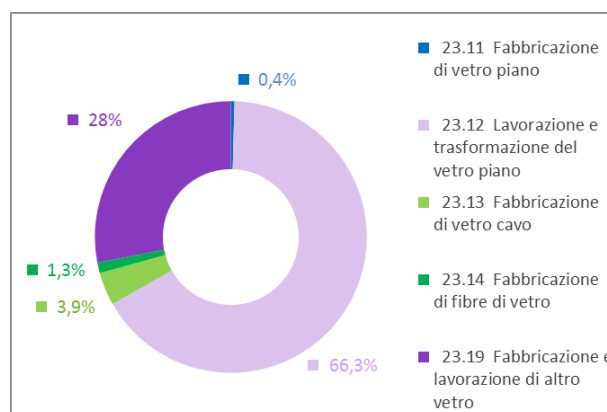


Figura 3: distribuzione percentuale delle imprese per codici Ateco

Analogamente, in Figura 4 è mostrata la ripartizione tra codici Ateco del fatturato. Il 54,4% proviene dalla fabbricazione del vetro, principalmente quello cavo, percentuale che negli anni, nonostante la crisi, si è progressivamente incrementata e che conferma il contributo rilevante fornito dalla fabbricazione del vetro.

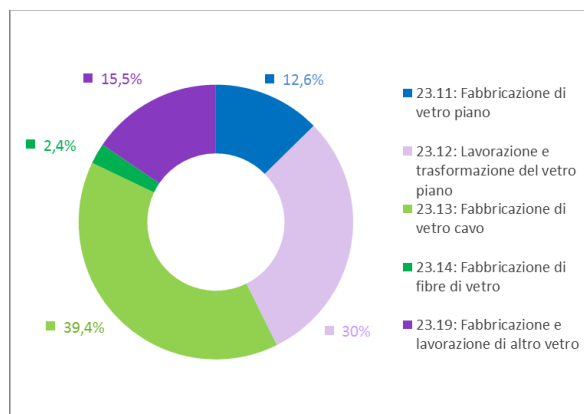


Figura 4: distribuzione percentuale del fatturato 2014 per settori di attività

Con riferimento al solo processo della fabbricazione, la Figura 5 mostra la ripartizione percentuale della produzione tra le diverse tipologie di vetro e conferma la rilevanza del vetro cavo (75,1%) la cui produzione è costituita per l'85,9% da bottiglieria.

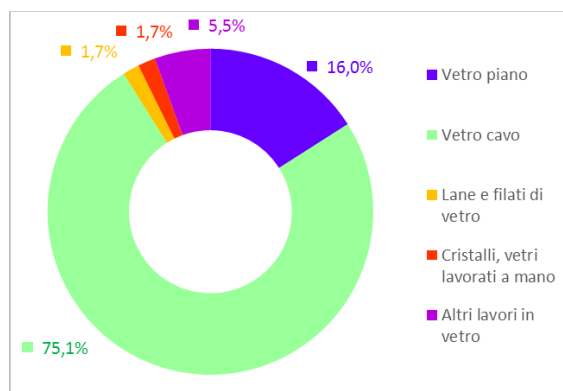


Figura 5: distribuzione percentuale della produzione tra le tipologie di vetro

In Italia, i principali processi di produzione del vetro sono: quello del vetro cavo (caratterizzato dalla produzione di bottiglie e flaconi) e quello del vetro piano (caratterizzato dalla produzione di lastre). In aggiunta a tali processi sono comunque presenti produzioni di vetri per uso domestico, vetri speciali, lana di vetro e tubi in vetro borosilicato.

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**.

Le **materie prime** necessarie per produrre vetro sono: i vetrificanti, i fondenti, gli stabilizzanti, gli affinanti, 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, mentre 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 sua superficie. Gli affinanti hanno lo scopo di favorire l'eliminazione dei gas prodotti dalla decomposizione delle materie prime e contribuiscono al processo di omogeneizzazione del vetro fuso.

Mentre i coloranti (ossidi metallici o fritte vetrose contenenti i coloranti metallici) hanno la funzione di impartire la colorazione desiderata al vetro, 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 migliorarne le caratteristiche di resistenza meccanica e/o chimica, oppure per conferire al manufatto proprietà particolari. I trattamenti possono essere eseguiti a caldo (trattamento con tetracloruro di stagno, metilbutilcloruro di stagno, solforazione, etc.), a freddo (acido oleico, polietilene) o mediante processi di polimerizzazione (apprettatura con resine termoindurenti).

Approvvigionamento delle materie prime e preparazione della miscela vetrificabile

Le materie prime 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.

Processo di fusione

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 aumentata dall'aggiunta di sostanze affinanti, principalmente i solfati di sodio e calcio. 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. 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 mantenere e garantire una distribuzione omogenea della temperatura di fusione.

Negli ultimi anni si è ridotto l'utilizzo dell'olio combustibile con un corrispondente incremento del gas naturale. Attualmente, i forni sono prevalentemente alimentati a gas metano ma sta crescendo l'utilizzo di forni a riscaldamento totalmente elettrico, soprattutto nel caso di piccole realtà produttive e particolari tipi di vetro. I forni sono controllati da sistemi di supervisione che consentono di tenere sotto controllo i parametri di funzionamento ed ottenere una corretta vetrificazione delle materie prime. 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. Nel caso di utilizzo di un sistema di preriscaldamento a rigenerazione il processo di recupero termico è discontinuo; il forno infatti, è dotato di due camere che lavorano alternativamente, in una prima fase ricevendo i fumi caldi e scaricandoli a circa 400-450 °C e 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 (ossi-combustione), la fase di preriscaldamento non viene effettuata. Oltre ai bruciatori a gas nel forno possono essere presenti dei booster elettrici, elettrodi posti alla base del forno ed immessi nel bagno di vetro allo scopo di fornire una parte dell'energia necessaria per la fusione (in genere compresa tra il 10% ed il 30% del totale). L'immissione dell'aria comburente è di tipo forzato e viene realizzata tramite l'impiego di uno o più ventilatori elettrici. I fumi in uscita dal forno e dai suoi recuperatori ad una temperatura intorno ai 400°C vengono convogliati verso l'elettrofiltro (all'uscita del quale la temperatura si porta sui 200°C) e l'estrattore di coda, nel quale avviene l'estrazione dei gas combusti in modo forzato. Prima di essere inviati alle ciminiere i fumi vengono trattati in modo da neutralizzare i gas acidi.

Processo di formatura

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. Nella produzione di vetro piano, con il processo Float, il vetro viene quindi versato su un bagno di stagno fuso, sul quale galleggia, e viene tirato per conferirgli la sua forma finale. Il vetro opportunamente raffreddato viene fatto passare tra due rulli che ne determinano lo spessore e ne imprime l'eventuale decorazione. Nel caso del vetro cavo, i processi di formatura possono essere di tre tipi:

- pressato diretto: utilizzato per articoli "a bocca larga", la lavorazione avviene solo per pressatura del vetro in un apposito stampo;
- soffiato-soffiato: viene praticata la soffiatura tramite aria compressa sia in fase iniziale che per la finitura dell'articolo in vetro; essendo particolarmente versatile viene utilizzato per produrre contenitori standard e con forme complesse;

- **pressato-soffiato:** la fase iniziale è formata mediante pressatura, in seguito la forma viene modellata tramite l'iniezione di aria compressa. È utilizzata prevalentemente per la produzione di vasellame e bottiglie.

Gli stampi, sia nella fase iniziale di abbozzatura che in quella di finitura, sono raffreddati con aria ventilata attraverso un sistema di canalizzazioni; il raffreddamento è necessario per solidificare il contenitore che altrimenti si deformerebbe appena posto sul conveyor. Usciti dalle macchine formatrici i contenitori subiscono un trattamento superficiale a caldo, quando la temperatura è intorno ai 500-600°C, prima di essere inviati ai conveyor del forno di ricottura: in questa fase gli azionamenti vengono effettuati tramite motore elettrico e aria compressa a 3,5 bar.

Processo di ricottura

Il processo di ricottura ha lo scopo di aumentare la resistenza meccanica del vetro. Questa avviene in un forno normalmente alimentato a metano per i forni più grandi, 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.

Processo di controllo, rifinitura e imballaggio

Si tratta di trattamenti superficiali eseguiti a caldo e a freddo. 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. Per il vetro piano si effettua un trattamento superficiale a caldo eseguito con SO₂ allo scopo di migliorarne la resistenza chimica agli agenti atmosferici. I trattamenti a freddo consistono in generale in operazioni di taglio, lucidatura, molatura, decorazioni, etc. ma anche operazioni più sofisticate come la vaporizzazione di acido oleico o la spruzzatura di emulsioni acquose, principalmente a base di polietilene. Il prodotto viene sottoposto ad ispezione automatica per verificarne la conformità alle specifiche di prodotto. I prodotti non idonei vengono eliminati dalla linea di scelta e riciclati nel processo produttivo per essere rifusi, mentre il prodotto conforme prosegue verso i pallettizzatori automatici ed infine imballati per essere inviati al magazzino. La figura seguente mostra uno schema semplificato con le distribuzioni dei flussi energetici nelle diverse fasi del processo.

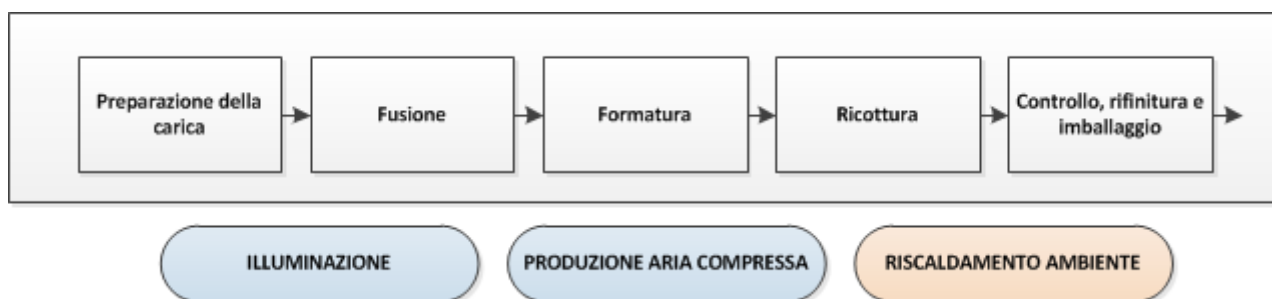


Figura 6: schema a blocchi del processo produttivo

2 DESCRIZIONE DELLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI E DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA

Con riferimento ai progetti di efficienza energetica presentati nell'ambito del meccanismo dei certificati bianchi, nonché al Bref elaborato nell'ambito delle direttive IIP e IED e [alle soluzioni](#) tecnologiche ad oggi installabili, di seguito è riportata una descrizione delle migliori tecnologie disponibili e degli interventi di efficienza energetica applicabili al settore.

In particolare, viene analizzato il forno fusorio ed i relativi interventi di efficienza energetica realizzabili. Questi ultimi possono essere suddivisi in due categorie:

1. interventi direttamente connessi al forno fusorio:
 - a. installazione, sostituzione o [efficientamento integrato](#) del forno fusorio;
 - b. sostituzione di bruciatori con bruciatori rigenerativi;
2. interventi indiretti, relativi ai sistemi di preriscaldamento del rottame e ai sistemi di recupero del calore per la produzione di energia elettrica tramite Cicli Rankine a fluido Organico (ORC).

Tali interventi, [insieme a quello relativo alle macchine formatrici per il processo di formatura a valle del forno fusorio](#), sono declinati nella Tabella 1 dell'Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii., così come di seguito riportato.

| Tipologie di intervento del settore del vetro <i>Tabella 1 Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.</i> | Vita utile | | |
|---|---------------------|--------------|---------------------------|
| | Nuova installazione | Sostituzione | Efficientamento integrato |
| Forni di fusione | 10 | 7 | 5 |
| Impianti a Cicli Rankine Organico (ORC) in assetto non cogenerativo e non alimentati da calore prodotto da impianti di produzione di energia termica ¹ | 10 | 7 | 5 |
| Bruciatori rigenerativi | 7 | 5 | - |
| Sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro | 7 | 5 | 5 |
| Macchine formatrici | 10 | 7 | 5 |

Tabella 1: tipologie di intervento del settore del vetro Tabella 1 dell'Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.

Inoltre si precisa che, l'adozione congiunta degli interventi relativi ai bruciatori rigenerativi e ai sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro, costituisce un esempio di efficientamento integrato dei forni di fusione. Nei casi di efficientamento integrato, ovvero qualora si effettui un intervento relativo alla la nuova installazione o la sostituzione di uno dei succitati componenti, il calcolo dei risparmi dovrà essere effettuato con riferimento al consumo specifico del "Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento". Tale condizione è da applicare, [ad esempio](#), anche ai sistemi di automazione e controllo che rientrano tra le misure comportamentali "adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti". Pertanto, la realizzazione dei succitati interventi verrà incentivata in relazione alla riduzione dei consumi specifici rispetto alle condizioni ex ante del componente primario di riferimento.

Ulteriori esempi di efficientamento integrato per il forno fusorio riguardano:

- l'installazione di un sistema di controllo innovativo e la riprogettazione della camera di combustione per migliorare l'efficienza di combustione;

¹ Sulla base di quanto disposto dall'art. 5 comma 4 del D.M. 20 luglio 2004 "non sono ammissibili i progetti orientati al miglioramento dell'efficienza energetica relativi agli impianti di generazione di energia elettrica".

- l'installazione di uno scambiatore aggiuntivo o la sostituzione dello scambiatore esistente con uno più efficiente e la contestuale ottimizzazione del circuito di preriscaldamento del rottame di vetro.

| Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento | Tipologie di intervento secondo la Tabella 1, dell'Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii. |
|---|--|
| Forni di fusione | Bruciatori rigenerativi |
| | Sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro |
| | Misure comportamentali: adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti |
| | Misure comportamentali: variazione delle materie in ingresso nel processo produttivo, compreso l'utilizzo di materiale di scarto della lavorazione, a parità di prodotto finito o semilavorato |

Tabella 2: correlazione tra "sistema tecnologico assunto come punto di riferimento" e tipologie di intervento

Si rappresenta che, qualora l'operatore dimostri, mediante opportuna documentazione, che quota parte dei componenti utilizzati per la realizzazione del progetto non risultano strettamente riconducibili all'intervento oggetto del PC ma rientrano nella manutenzione ordinaria dello stabilimento (ad esempio componenti di ricambio), questi possono non concorrere alla definizione della data di avvio della realizzazione del progetto.

2.1 Interventi direttamente connessi al forno fusorio

Al fine di effettuare una corretta analisi del consumo energetico del forno è necessario considerare i seguenti fattori: la formula della composizione della materia prima in ingresso al forno che determina il prodotto finale (es. materie prime, colore), la temperatura del vetro in uscita dal forno, la producibilità giornaliera del forno stesso e la quantità di rottame utilizzato.

Nella presentazione di un progetto relativo a interventi direttamente connessi al forno fusorio è necessario presentare il bilancio energetico del forno nella situazione ex ante e in quella ex post dal quale sia possibile verificare il miglioramento del rendimento del forno stesso.

Al fine di dimostrare che il consumo ex ante sia rappresentativo delle reali condizioni di funzionamento sarà necessario fornire tutti i dati di consumo del forno dalla data di avvio alla data di realizzazione dell'intervento. Infatti, si stima che il consumo energetico del forno durante il suo ciclo possa aumentare di circa lo 0,1% per ogni mese di funzionamento.

L'utilizzo di rottame nella composizione della miscela delle materie prime ricopre un ruolo importante nell'ambito dei consumi energetici in quanto consente la riduzione del consumo di energia primaria sia in modo indiretto (sostituzione di materia prima), sia in modo diretto, data la riduzione dell'energia di fusione. Si specifica però, che tali riduzioni possono essere contabilizzate per la rendicontazione dei risparmi ai fini del rilascio dei Titoli di Efficienza Energetica **esclusivamente nell'ambito della tipologia di intervento "Variazione delle materie in ingresso nel processo produttivo, compreso l'utilizzo di materiale di scarto della lavorazione, a parità di prodotto finito o semilavorato"** la cui durata della vita utile è di 3 anni. Per tutte le altre tipologie di intervento che insistono sul forno fusorio non è possibile rendicontare i risparmi riconducibili alla variazione dell'utilizzo della quantità di rottame in quanto tale risparmio risulta legato alla variazione delle condizioni di esercizio del forno e non alla modifica del forno stesso.

Pertanto, nel caso sia presente una variazione del consumo di rottame tra la situazione di baseline e post intervento sarà necessario tenerne adeguatamente conto. L'incremento dell'utilizzo di rottame nella produzione di vetro consente di ridurre i consumi energetici di circa 2,5 punti percentuali ogni 10% di rottame

riutilizzato. Per la correzione del consumo di energia di un forno con un consumo di rottame diverso dal 50% è possibile utilizzare la relazione riportata di seguito.

$$Ep_{50} = \frac{Ep}{1 + \frac{(50 - R) \cdot 0,025}{10}}$$

essendo:

- Ep = Energia primaria misurata;
- Ep₅₀ = Energia primaria al 50% di rottame;
- R = percentuale di rottame [valore in %].

Nella tabella riportata di seguito sono indicati i valori dei consumi di riferimento di energia primaria di forni di fusione non dotati di sistema di preriscaldamento del rottame e considerando l'utilizzo di 50% di rottame.

| Tipologia di forno | Bottiglie [GJ/t] | Flaconeria [GJ/t] | Casalingo [GJ/t] | Piano [GJ/t] |
|--|------------------------|----------------------|---------------------|-----------------|
| <i>Elettrico</i> < 50 t/g 50-100 t/g | | 8,6 7,9 | 8,6 7,8 | |
| <i>End part</i> 50-100 t/g 100-250 t/g 250-400 t/g >400t/g | 5,6 5 4,4 4,2 | 5,8 5,4 | 6,4 4,6 | |
| <i>Unit melter</i> 50-100 t/g 100-300 t/g 300-400 t/g | 5,3 5,1 4,9 | 6 | | |
| <i>Side part</i> 250-400 t/g 400-600 t/g ≥ 600t/g | 4,9 4,7 | | | 6,7 6,2 |

Tabella 3: Consumi specifici di riferimento dei forni

Ossi-combustione

L'ossi-combustione, ovvero la combustione di gas naturale con ossigeno in sostituzione dell'aria ambiente, rappresenta un intervento di efficienza energetica che consente la riduzione dell'energia primaria utilizzata dal forno di fusione. Tale sistema comporta un aumento dell'efficienza di combustione dei bruciatori data l'assenza di azoto nell'aria comburente con la produzione di una fiamma caratterizzata da temperature più elevate che consentono un migliore trasferimento del calore al vetro. Data la migliore combustione e la riduzione delle emissioni in atmosfera l'intervento comporta anche una riduzione del consumo energetico dei sistemi di abbattimento delle emissioni.

Si specifica che il calcolo del risparmio di energia primaria dovrà essere effettuato al netto dell'energia primaria utilizzata per la produzione di ossigeno puro. La contabilizzazione dell'energia primaria relativa

all'ossigeno utilizzato dovrà avvenire sulla base della reale configurazione del sistema di alimentazione. In particolare:

- ossigeno prodotto all'interno dello stabilimento produttivo: misura diretta dell'energia primaria necessaria per la produzione di ossigeno (kWh/Nm³);
- fornitura ossigeno allo stato liquido (es, trasporto tramite autobotti): deve essere considerata l'energia primaria necessaria per la separazione e la liquefazione (es. consumo tipico degli impianti ASU). Sulla base dei dati a disposizione del GSE nel caso di ossigeno il valore del consumo specifico da utilizzare deve essere pari almeno a 1 kWh/Nm³;
- fornitura ossigeno allo stato gassoso (es. gasdotto): misura diretta dell'energia primaria necessaria per la produzione di ossigeno (kWh/Nm³) allo stato gassoso dall'impianto centralizzato.

Il calcolo del risparmio di energia primaria nel caso di nuova installazione di un forno ad ossi-combustione deve avvenire considerando il consumo di riferimento di un forno "end port".

2.2 Interventi indiretti connessi al forno

2.2.1 Preriscaldamento del rottame

Il calore presente nei fumi provenienti dai forni di fusione può essere recuperato per il preriscaldamento del rottame in ingresso al forno stesso. Tale sistema consente di recuperare parte del calore disperso andando a ridurre il consumo di energia primaria del forno di fusione.

L'intervento consiste nel predisporre il silo di deposito del rottame di vetro con un sistema di scambio termico con i fumi provenienti dal forno di fusione.

I fumi in uscita dal forno di fusione che si trovano solitamente ad una temperatura di circa 1400 °C vengono miscelati con aria esterna per arrivare a temperature più basse fino a 400-450 °C per essere utilizzati a contatto diretto con il rottame. In tal modo il rottame riesce a raggiungere temperature tra i 350- 400 °C consentendo un risparmio di energia primaria nel forno di fusione. Il risparmio di energia primaria dato dal preriscaldamento dell'intera quantità di rottame può variare tra il 10 e il 15% del consumo del forno di fusione.

2.2.2 Produzione di energia elettrica da recupero termico

Il calore presente nei fumi provenienti dai forni di fusione può essere recuperato per la produzione di energia elettrica tramite impianti a ciclo Rankine a fluido organico (ORC). I fumi provenienti dai forni di fusione, come nel caso dei sistemi di preriscaldamento del rottame vengono miscelati con aria esterna ed inviati ad appositi scambiatori che consentono il trasferimento di calore ad un circuito ad olio diatermico.

Allo stato attuale sono stati presentati due progetti, uno applicato su un forno float per la produzione di vetro piano ed uno su due forni per la produzione di vetro cavo. Nel primo caso viene utilizzata una portata di fumi di circa 76.000 Nm³/h ad una temperatura di 550 °C mentre nel secondo caso sono utilizzati i fumi da due forni di fusione di tipo "end port" ad una temperatura di circa 450 °C e portate di 40.000 Nm³/h e 28.000 Nm³/h ciascuno. Tali parametri hanno permesso l'installazione di moduli ORC con una potenza elettrica compresa tra 1,2 e 1,5 MWe.

2.3 Ulteriori interventi di efficienza energetica

Ulteriori interventi di efficienza energetica riportati in Tabella 1, [dell'Allegato 2](#) al D.M. [11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.](#), che non riguardano strettamente il processo produttivo del vetro e che dunque risultano essere trasversali a tutta l'industria in generale, sono relativi all'installazione o sostituzione di:

- sistemi di power quality;
- [Motori elettrici, anche accompagnati dall'installazione o sostituzione dei relativi inverter](#);
- impianti per la climatizzazione degli ambienti in ambito industriale con sistemi radianti ad alta temperatura;
- impianti di produzione di energia termica;
- economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica;
- generatori di aria calda;
- sistemi di trattamento [per gli](#) effluenti gassosi;
- gruppi frigo e pompe di calore, ivi compresi gli impianti di surgelazione e refrigerazione;
- impianti di produzione dell'aria compressa;
- Sistemi per l'illuminazione;
- sistemi di pompaggio;
- forni di trattamento termico;
- forni di lavorazioni secondarie.

3 INDIVIDUAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CALCOLO DEI RISPARMI

Nel seguente capitolo sono indicati gli algoritmi da utilizzare per il calcolo dei risparmi energetici addizionali per ciascuna tipologia di intervento.

Si precisa che, nei casi in cui nelle seguenti tabelle le formule non sono espressamente esplicitate, l'algoritmo dovrà essere indicato dal soggetto proponente.

| Sistema tecnologico assunto come punto di riferimento | Intervento secondo la Tabella 1, dell'Allegato 2 al D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii. | Formula |
|---|--|---------|
| Forni di fusione | Forni di fusione | 1 |
| | Bruciatori rigenerativi | 1 |
| | Sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro | 1 |
| | Misure comportamentali: adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti | -- |
| | Misure comportamentali: variazione delle materie in ingresso nel processo produttivo, compreso l'utilizzo di materiale di scarto della lavorazione, a parità di prodotto finito o semilavorato | 2 |
| Rete elettrica nazionale | Impianti a Cicli Rankine Organico (ORC) in assetto non cogenerativo e non alimentati da calore prodotto da impianti di produzione di energia termica | 3 |
| Macchine formatrici | Macchine formatrici | -- |

Tabella 4: Corrispondenza tra interventi e formule da adottare per il calcolo dei risparmi

Per le installazioni riferite alla Tabella 4, gli algoritmi di calcolo dei risparmi da utilizzare sono i seguenti:

| Formula | Algoritmo |
|---------|---|
| 1 | $RISP = (C_{S_{baseline}} - C_{S_{expost}}) \cdot P$ |
| 2 | $RISP = (C_{S_{baseline}} - C'_{S_{expost}}) \cdot P$ |
| 3 | $RISP = E_{ORC} \cdot f_e$ |

Tabella 5: Algoritmi di calcolo dei risparmi

*Tale algoritmo è da utilizzare qualora l'intervento consista in una variazione della percentuale di rottame, pertanto il consumo ex post dovrà essere calcolato senza riportarlo alla percentuale di rottame utilizzata nelle condizioni di baseline. Per gli altri casi di intervento andrà valutato l'algoritmo di calcolo più opportuno a seconda delle caratteristiche dell'intervento stesso.

dove:

- $C_{S_{baseline}}$ è il consumo specifico di baseline in energia primaria per tonnellata di vetro cavo o vetro piano prodotto [GJ/t];
 - $C_{S_{expost}}$ è il consumo specifico ex post in energia primaria per tonnellata di vetro cavo o vetro piano prodotto, calcolato alla percentuale di rottame della situazione di baseline [GJ/t];
 - $C'_{S_{expost}}$ è il consumo specifico di energia elettrica ex post in energia primaria per tonnellata di vetro cavo o vetro piano prodotto [GJ/t];
 - P = tonnellate di vetro cavo o vetro piano prodotto [t];
 - E_{ORC} = energia elettrica prodotta dall'impianto ORC. [MWh]
- Si specifica che:

- l'energia elettrica deve essere esclusivamente consumata in sito;
 - il modulo ORC non può essere esercito in assetto cogenerativo;
 - è necessaria la misurazione continua degli ausiliari connessi al funzionamento del modulo ORC.
- f_e = fattore di conversione pari a 0,187 tep/MWh, in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale;

Per le macchine formatrici, l'algoritmo di calcolo da utilizzare prevede la moltiplicazione della quantità di prodotto trattata per la differenza di consumo specifico nella configurazione di baseline e post intervento. La rendicontazione dei risparmi dovrà essere effettuata per singola tipologia di prodotto, tenendo in considerazione le eventuali variabili operative che influiscono sui consumi energetici. Il consumo di baseline, nei casi di "Sostituzione" ed "Efficientamento integrato", è pari al consumo specifico della macchina nelle condizioni ex ante, normalizzato rispetto ai valori di produzione ex post ed eventualmente differenziato per le diverse tipologie di prodotto. In caso di "Nuova installazione" il consumo di baseline sarà invece pari al consumo specifico di riferimento che dovrà essere individuato per una macchina formatrice con caratteristiche analoghe alla macchina oggetto di intervento (ad esempio con capacità produttiva analoga e stessi prodotti ottenibili).

Il calcolo dell'energia primaria risparmiata tramite gli impianti ORC, basato sulla produzione di energia elettrica da recupero termico, dovrà essere effettuato al netto di tutti gli ausiliari necessari per il funzionamento del sistema di produzione di energia elettrica (es. sistema di raffreddamento, pompe di circolazione). Nei casi di sostituzione di un ORC, la quota di energia elettrica incentivabile corrisponde alla quota di energia elettrica prodotta in eccesso rispetto alla massima quota producibile nella situazione ex ante.

4 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA

La presente guida vuole fornire le metodologie di calcolo dei risparmi di energia primaria relativi agli interventi previsti dal [D.M. 11 gennaio 2017 e ss.mm.ii.](#), nonché i valori di consumo di riferimento nel caso l'intervento riguardi la nuova installazione di un componente.

I valori dei consumi di riferimento per i forni fusori del vetro inseriti nella Tabella 3 sono stati distinti, analogamente a quanto indicato nel documento *“Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013”* (di seguito, Bref) e nella *“Guida Operativa per il settore di produzione del vetro, ENEA, 2014”* (di seguito, Guida Operativa ENEA), per:

- a) tipologia di forno;
- b) producibilità del forno;
- c) tipologia di prodotto in uscita.

Ai fini della determinazione del consumo di riferimento sono stati utilizzati i seguenti dati:

- i dati di consumo energetico ex ante ed ex post dei forni, presenti nel database del GSE, con data di rifacimento/installazione tra il 2013 e il 2016;
- i dati forniti dalla Stazione Sperimentale del Vetro (SSV), incaricata da ASSOVBETRO di condurre una campagna di raccolta dati finalizzata all'individuazione dei consumi energetici specifici dei forni fusori per la produzione di vetro cavo. I dati forniti dalla SSV sono stati verificati e confrontati con i dati presenti nel database GSE al fine di validare i valori forniti. Si specifica che non sono stati considerati i forni ad ossi-combustione ed i forni con sistema di recupero misto (es. centauro). I dati analizzati forniti dalla SSV sono relativi all'energia primaria utilizzata dai forni fusori negli anni di esercizio 2014, 2015 e 2016;
- i dati della Guida Operativa ENEA;
- i dati del Bref riportati in energia primaria.

Nello specifico i consumi di riferimento dei **forni “end port”** sono stati definiti come di seguito:

- **bottiglie:** i consumi di riferimento sono stati determinati tenendo conto dei dati della SVV e di quelli ex ante dei forni presenti nel database GSE, in quanto allineati tra di loro. I valori di consumo ex post presenti nel database GSE hanno permesso di validare i dati proposti;
- **flaconeria:**
 - per forni con producibilità tra 50 e 100 t/g, in mancanza di dati della SVV e dell'ex ante nel database GSE, il consumo di riferimento è stato determinato moltiplicando il consumo di riferimento del forno “end port” per produzione di bottiglie con producibilità tra 50 e 100 t/g di cui al precedente punto per il rapporto tra il consumo del forno “end port” per produzione di bottiglie e flaconeria con producibilità tra 50 e 100 t/g riportato nella Guida Operativa di ENEA. I valori di consumi ex post presenti nel database GSE hanno permesso di validare il dato proposto;
 - per forni con producibilità tra 100 e 250 t/g, in mancanza di dati della SVV e dell'ex ante nel database GSE, considerando l'elevata differenza tra i consumi proposti dalla Guida Operativa

ENEA e quelli ex post presenti nel database GSE (pari a circa la metà), il consumo di riferimento è stato posto pari al valore proposto dal Bref, convertito in energia finale;

- *casalingo*: in mancanza di dati della SVV e dell'ex ante nel database GSE, i consumi di riferimento sono stati posti pari a quelli della Guida Operativa ENEA. In diversi casi, i valori di consumo ex post nel database GSE hanno permesso di validare i dati proposti;

I consumi di riferimento dei **forni "unit melter"** sono stati definiti come di seguito:

- *bottiglie*:
 - per forni con producibilità tra 100 e 300 t/g, considerando l'elevata differenza tra i consumi proposti dalla Guida Operativa ENEA e SVV e quelli ex post presenti nel database GSE, il consumo di riferimento è stato posto pari alla media tra i dati ex ante ed ex post presenti nel database del GSE;
 - per forni con producibilità tra 50 e 100 t/g, nonché tra 300 e 400 t/g, in mancanza di dati della SVV e dell'ex ante nel database GSE, considerando l'elevata differenza tra i consumi proposti dalla Guida Operativa ENEA e SVV e quelli ex post presenti nel database GSE, i consumi di riferimento sono stati determinati moltiplicando il consumo di riferimento per bottiglie del forno "unit melter" con producibilità tra 100 e 300 t/g di cui al precedente punto per le medesime variazioni percentuali esistenti tra i valori indicati nella Guida Operativa di ENEA dei consumi dei forni "unit melter" per la produzione di bottiglie con producibilità tra 100 e 300 t/g e i rispettivi valori di consumo dei forni "unit melter". I valori di consumi ex post presenti nel database GSE hanno permesso di validare i dati proposti.
- *flaconeria*: in mancanza di dati dell'ex ante nel database GSE, per forni con producibilità tra 100 e 300 t/g, il consumo di riferimento è stato posto pari a quello della Guida Operativa ENEA.

In mancanza di dati della SVV e dell'ex ante nel database GSE, i consumi di riferimento dei **forni "elettrico" e "side port"** sono stati posti pari a quelli della Guida Operativa ENEA. In diversi casi i valori di consumo ex post nel database GSE hanno permesso di validare i dati forniti.

Nel caso di produzione di filati e tubi, non avendo dati a disposizione, si è deciso di non inserire i valori di consumo di riferimento in Tabella 3.

Infine, si precisa che:

- i dati indicati nella Tabella 3 sono espressi in energia primaria e normalizzati rispetto al 50% di rottame. La formula di correzione del consumo di energia del forno con un consumo di rottame diverso dal 50% è stata ricavata da pagina 101 del Bref;
- il valore di PCI del gas naturale utilizzato è pari a 8.250 kcal/Sm³;
- il valore di PCI dell'olio combustibile utilizzato è pari 9.800 kcal/kg;
- il fattore di conversione di energia elettrica in energia primaria utilizzato è pari a 0,187 tep/MWh;
- il fattore di conversione in energia primaria utilizzato è pari a 41,86 GJ/tep; il valore di energia primaria da considerare per la produzione di ossigeno, pari a 1 kWh/Nm³, è stato ricavato sulla base dei progetti presentati.

5 BIBLIOGRAFIA

- L’efficienza energetica nell’industria: potenzialità di risparmio energetico e impatto sulle performance economiche e sulla competitività delle imprese”, RSE, RdS n 17001209, 2017;
- Guida Operativa per il settore di produzione del vetro, ENEA, 2014;
- Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass, 2013.