



CERTIFICATI BIANCHI
Allegato 2.2 alla Guida Operativa

Guide Settoriali

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

2026

INDICE

1	DESCRIZIONE DEL PROCESSO PRODUTTIVO	3
2	DESCRIZIONE DELLE MIGLIORI TECNOLOGIE DISPONIBILI E DEGLI INTERVENTI DI EFFICIENZA ENERGETICA.....	7
2.1	Interventi direttamente realizzati sul forno fusorio	9
2.2	Interventi connessi al forno e alla restante parte del processo di produzione del vetro	11
2.2.1	<i>Preriscaldamento del rottame</i>	11
2.2.2	<i>Produzione di energia elettrica da recupero termico</i>	11
2.2.3	<i>Forni di lavorazioni secondarie</i>	11
2.2.4	<i>Macchine formatrici</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 rientra nell'ambito manifatturiero della fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi 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 del settore del vetro

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°C 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.

Prodotti chimici ausiliari possono essere utilizzati per trattamenti superficiali 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 ad anidride carbonica, 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 principalmente 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 energetica 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 verso 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 versato su un bagno di stagno fuso, sul quale galleggia, dove 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. Il vetro, essendo particolarmente versatile, viene utilizzato per produrre contenitori standard e con forme complesse;
- pressato-soffiato: la fase iniziale è realizzata mediante pressatura, mentre quella successiva tramite iniezione di aria compressa. Il vetro viene utilizzato 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. Questo avviene in un forno normalmente alimentato a metano oppure a 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 anidride solforosa (SO_2) 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 in 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 e, infine, viene imballato per essere inviato al magazzino. La figura seguente mostra uno schema semplificato con le distribuzioni dei flussi energetici nelle diverse fasi del processo.

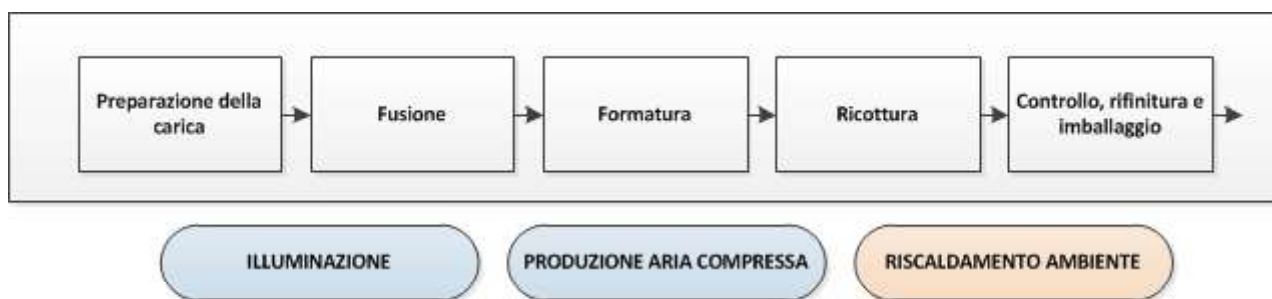


Figura 2: schema a blocchi del processo produttivo

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, i principali interventi di efficienza energetica realizzabili possono essere suddivisi nelle seguenti categorie:

1. interventi direttamente realizzati sul forno fusorio:
 - a. installazione, sostituzione o efficientamento integrato del forno fusorio;
 - b. sostituzione di bruciatori con bruciatori rigenerativi;
2. interventi connessi al forno fusorio, relativi ai sistemi di preriscaldamento del rottame e ai sistemi di recupero del calore, ivi compresi quelli per la produzione di energia elettrica tramite Cicli Rankine a fluido Organico (ORC);
3. interventi connessi alla restante parte del processo di produzione del vetro, relativi ai forni di lavorazioni secondarie, alle macchine formatrici;
4. interventi riconducibili alle misure comportamentali applicabili al settore della produzione del vetro.

Per gli ulteriori interventi di efficienza energetica si rimanda al paragrafo 2.3.

Tipologie di intervento del settore del vetro <i>Allegato 2, Tabella 1, del D.M. 21 luglio 2025</i>	Vita utile		
	Nuova installazione	Sostituzione	Efficientamento integrato
Forni di fusione	10	10	5
Impianti a Cicli Rankine Organico (ORC) in assetto non cogenerativo e non alimentati da calore prodotto da impianti di produzione di energia elettrica ¹	10	10	5
Bruciatori rigenerativi	7	7	-
Sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro	7	7	5
Macchine formatrici	10	10	5
Forni di lavorazioni secondarie	10	10	5
Altri sistemi di recupero del calore	5	5	-
Componenti per il recupero di calore, qualora non tecnicamente possibile nella situazione ex ante, anche a servizio di reti di teleriscaldamento e/o teleraffrescamento	7	-	-
Misure comportamentali: Adozione di sistemi di segnalazione e gestione efficienti	3	-	-
Misure comportamentali: Adozione di sistemi di analisi dati sui consumi di singoli impianti, utenze e veicoli	3	-	-
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	5	-	-
Misure comportamentali: Variazione del processo produttivo per la realizzazione di prodotti finiti o semilavorati funzionalmente analoghi	5	-	-
Misure comportamentali: Impiego di risorse a minor impatto energetico	5	-	-
Misure comportamentali: Elettificazione dei consumi attraverso l'impiego di sistemi alimentati da energia elettrica proveniente da FER	5	-	-

Tabella 1 : tipologie di intervento del settore del vetro dell'Allegato 2, Tabella 1 del D.M. 21 luglio 2025

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".

Tra i possibili interventi di efficientamento energetico integrato dei forni di fusione del vetro si citano, a titolo di esempio, quelli ottenuti dalla combinazione di almeno due delle seguenti iniziative di efficienza:

- adozione di bruciatori rigenerativi;
- adozione di sistemi di preriscaldamento del rottame di vetro;
- installazione di un sistema di controllo innovativo;
- interventi di re-layout della camera di combustione mirati a migliorare l'efficienza di combustione;
- installazione di uno scambiatore aggiuntivo o sostituzione dello scambiatore esistente con uno più efficiente e la contestuale ottimizzazione del circuito di preriscaldamento del rottame di vetro.

In relazione alle misure comportamentali, si evidenzia l'intervento di *"Variazione del processo produttivo per la realizzazione di prodotti finiti o semilavorati funzionalmente analoghi"*. A titolo esemplificativo, potrebbe essere riconducibile a tale tipologia la conversione del processo produttivo o parte di esso finalizzata all'alleggerimento dei prodotti a parità di capacità.

Si precisa che, per la realizzazione degli interventi riportati nella seguente **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**, il calcolo dei risparmi potrà essere effettuato in relazione al consumo specifico del *"sistema tecnologico assunto come riferimento"*, ovvero sia del componente primario. Tale condizione è da applicare agli interventi di installazione/sostituzione di componenti "secondari" su componenti "primari" (ad esempio: bruciatori rigenerativi - secondario - per forni di fusione - primario; sistemi di automazione e controllo - secondario - su un macchinario - primario; etc.).

L'applicazione di differenti modalità di calcolo dei risparmi verrà valutata dal GSE nell'ambito dell'iter istruttorio, qualora sia comunque garantita la corretta quantificazione dei risparmi sul componente assunto come riferimento.

Sistema tecnologico assunto come riferimento	Tipologie di intervento secondo l'Allegato 2, Tabella 1 del D.M. 21 luglio 2025
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 riferimento" e tipologie di intervento

Ai fini dell'identificazione della data di avvio della realizzazione del progetto, si rappresenta che, qualora il soggetto proponente dimostri, mediante opportuna documentazione, che quota parte dei componenti utilizzati per la realizzazione del progetto non risultano strettamente riconducibili allo stesso, ma sono funzionali alle normali attività di manutenzione ordinaria (ad esempio componenti di ricambio, etc.), la consegna degli stessi può non concorrere all'individuazione della data di avvio della realizzazione del progetto.

2.1 Interventi direttamente realizzati sul 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 realizzati sul forno fusorio è necessario presentare il bilancio energetico del forno nella situazione di baseline e post intervento dal quale sia possibile verificare il miglioramento del consumo specifico del forno stesso.

L'utilizzo di rottame nella composizione della miscela delle materie prime in ingresso al forno di fusione ricopre un ruolo importante nell'ambito della riduzione dei consumi energetici. In particolare, l'impiego di rottame consente di avere una riduzione del consumo di energia primaria sia in modo indiretto (data la riduzione di materia prima vergine impiegata), sia in modo diretto (data la riduzione dell'energia di fusione). Si specifica che, la tipologia di intervento *"Impiego di risorse a minor impatto energetico"*, qualora applicabile, consente di rendicontare i suddetti risparmi indiretti di energia primaria². Mentre, la 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"* consente di rendicontare i suddetti risparmi diretti².

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, se non con le misure comportamentali sopra citate, 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 anche una variazione del consumo di rottame tra la situazione di baseline e post intervento sarà necessario tenerne adeguatamente conto attraverso la normalizzazione del consumo specifico rispetto alla percentuale di rottame impiegato. L'incremento dell'utilizzo di rottame nella produzione di vetro consente di ridurre i consumi energetici di circa 2,5 punti percentuali per 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, espressa in [tep];
- Ep_{50} energia primaria al 50% di rottame, espressa in [tep];
- R la percentuale di rottame [valore in %].

Nella Tabella 3 riportata di seguito sono indicati i valori dei consumi specifici di riferimento di energia primaria di diverse tipologie di forni di fusione non dotati del sistema di preriscaldamento del rottame e con un utilizzo di rottame pari al 50%.

2 Secondo quanto previsto dall'Allegato 3 alla Guida Operativa

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

Tabella 3: Consumi specifici di riferimento dei forni fusori

Si specifica che è data facoltà di proporre, in sede di istruttoria, valori differenti di consumo specifico, derivanti da indagini di settore volte ad individuare lo standard di mercato per la specifica condizione di esercizio del forno oggetto di intervento. Tali indagini di settore sono necessarie per l'individuazione dei valori di consumo specifico di riferimento per i casi in cui la Tabella 3 non riporta alcuna indicazione.

Ossi-combustione

L'ossi-combustione, ovverosia 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. In particolare, il suo impiego comporta un aumento dell'efficienza di combustione dei bruciatori dato dall'assenza di azoto nel comburente, con la produzione di una fiamma caratterizzata da temperature più elevate che consentono un migliore trasferimento del calore al vetro. Il ricorso all'ossi-combustione, dato il miglioramento dell'efficienza di combustione, consente anche una riduzione del consumo energetico associato ai sistemi di abbattimento degli inquinanti.

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 impiegato. La contabilizzazione dell'energia primaria relativa all'ossigeno utilizzato dovrà avvenire sulla base della reale configurazione del sistema di alimentazione. In particolare:

- per gli stabilimenti in cui l'ossigeno è prodotto in sito, deve essere considerata l'energia primaria necessaria per la sua produzione (espressa in tep/Nm³), che può essere determinata tramite misura diretta, o, alternativamente, a partire dal valore di consumo specifico elettrico pari almeno a 0,504 kWh/Nm³;
- per la fornitura di 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 elettrico da utilizzare deve essere pari almeno a 1 kWh/Nm³;
- per la fornitura di ossigeno allo stato gassoso (es. da gasdotto), deve essere considerata l'energia primaria necessaria per la sua produzione allo stato gassoso dall'impianto centralizzato (espressa in tep/Nm³), che dovrà essere opportunamente comprovata da documentazione.

Il calcolo del risparmio di energia primaria per i casi di nuova installazione di un forno ad ossi-combustione potrà avvenire considerando, quale consumo di riferimento, quello di un forno "end port".

2.2 Interventi connessi al forno e alla restante parte del processo di produzione del vetro

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. Il recupero di parte del calore disperso riduce il consumo di energia primaria del forno di fusione. L'intervento consiste nell'adeguamento del silo di deposito del rottame di vetro al fine di rendere possibile lo scambio termico tra questo e 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, e 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, che 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.

2.2.3 Forni di lavorazioni secondarie

Tra gli interventi riconducibili ai forni di lavorazioni secondarie ci sono gli interventi relativi ai sistemi di condizionamento del vetro a valle del forno fusorio, come ad esempio il rifacimento del comparto working end e i relativi canali. Tale comparto consente il raggiungimento e il mantenimento della temperatura e della viscosità ottimali del vetro fuso, prima che questo venga distribuito alle macchine che lo modelleranno, in funzione del particolare prodotto da realizzare. Per questi sistemi gli interventi realizzabili al fine di ridurre al minimo le dispersioni termiche possono essere, ad esempio, l'ottimizzazione del design, l'utilizzo di materiali refrattari di alta qualità e l'isolamento efficace delle strutture dei bruciatori.

2.2.4 Macchine formatrici

La macchina formatrice è il cuore del processo di produzione, dove il vetro fuso proveniente dai canali viene plasmato nella sua forma definitiva. Esistono diversi tipi di macchine formatrici, ciascuna specializzata nella produzione di specifici prodotti come ad esempio:

- macchine IS (Individual Section) per la produzione di vetro cavo come bottiglie, barattoli e flaconi;
- macchine per la produzione di vetro piano utilizzato nell'edilizia, nell'arredamento e in altri settori;
- macchina per presso-soffio per la produzione di vetro cavo con tecniche di pressatura e soffiatura;
- altre macchine per la produzione di vetreria specializzata, ad esempio dell'industria farmaceutica.

2.3 Ulteriori interventi di efficienza energetica

Ulteriori interventi di efficienza energetica riportati nell'Allegato 2, Tabella 1 del D.M. 21 luglio 2025, che non riguardano strettamente il processo produttivo del vetro ma che risultano essere trasversali a tutta l'industria riguardano:

- efficientamento reti di alimentazione elettrica tramite 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, ivi compresi gli impianti solari termici;
- economizzatori sulla linea fumi di impianti di produzione di energia termica;
- sistemi per il trattamento degli effluenti gassosi;
- gruppi frigo e pompe di calore, centrali frigorifere, anche accompagnati dall'installazione di sistemi di free-cooling;
- impianti di produzione dell'aria compressa;
- sistemi per l'illuminazione;
- sistemi di pompaggio, anche accompagnati dall'installazione o sostituzione dei relativi inverter;
- forni di trattamento termico;
- realizzazione e riqualificazione profonda di edifici;
- isolamento termico di superfici disperdenti opache e/o trasparenti degli edifici;
- sistemi di free-cooling;
- impianti di depurazione delle acque reflue;
- isolamento termico di componenti.

Si rappresenta che l'elenco sopra riportato non è esaustivo degli interventi di efficienza energetica ammissibili al meccanismo dei Certificati Bianchi.

3 INDIVIDUAZIONE DEGLI ALGORITMI DI CALCOLO DEI RISPARMI

Nel presente capitolo sono indicati gli algoritmi da utilizzare per il calcolo dei risparmi energetici aggiuntivi per le principali tipologie di intervento del settore. 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 riferimento	Tipologie di intervento secondo l'Allegato 2, Tabella 1, del D.M. 21 luglio 2025	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
Forni di lavorazioni secondarie	Forni di lavorazioni secondarie	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	*
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 elettrica	3
Macchine formatrici	Macchine formatrici	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	*

* In sede di presentazione del progetto, il soggetto proponente dovrà proporre un algoritmo di calcolo idoneo per determinare i risparmi energetici aggiuntivi conseguibili sulla base della specifica configurazione dell'impianto oggetto di intervento. A tal fine, si rimanda a quanto contenuto nell'Allegato 3 alla Guida Operativa.

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

Sono di seguito esplicitate nella Tabella 5 le formule richiamate nella precedente Tabella 4

Formula	Algoritmo
1	$RISP = (CS_{baseline} - CS_{expost}) \cdot P$
2	$RISP = (CS_{baseline} - CS'_{expost}) \cdot P$
3	$RISP = (E_{ORC} - E_{aux} - E_{imm}) \cdot f_e$

Tabella 5: Algoritmi di calcolo dei risparmi

dove:

- $CS_{baseline}$ è il consumo specifico di baseline in energia primaria per tonnellata di prodotto, espresso in [GJ/t];
- CS_{expost} è il consumo specifico post intervento in energia primaria per tonnellata di prodotto, calcolato alla percentuale di rottame della situazione di baseline, espresso in [GJ/t];
- CS'_{expost} è il consumo specifico post intervento in energia primaria per tonnellata di prodotto, espresso in [GJ/t]. Si specifica che, qualora l'intervento sia relativo alla sola variazione della

percentuale di rottame, tale consumo specifico dovrà essere calcolato senza riportarlo alla percentuale di rottame utilizzata nelle condizioni di baseline;

- P è la quantità di prodotto, espresso in [t];
- E_{ORC} è l'energia elettrica prodotta dall'impianto ORC, espresso in [MWh];
- E_{aux} è l'energia elettrica consumata dagli ausiliari necessari al funzionamento dell'impianto ORC (es. sistema di raffreddamento, pompe di circolazione, etc.), espresso in [MWh];
- E_{imm} è l'eventuale quota parte di energia elettrica immessa in rete attribuibile all'impianto oggetto di intervento, espressa in [MWh];
- f_e è il fattore di conversione in energia primaria pari a 0,187 tep/MWh, in caso di prelievo di energia elettrica dalla rete elettrica nazionale.

Riguardo gli interventi che prevedono l'installazione di impianti ORC, si segnala che:

- l'energia elettrica deve essere esclusivamente consumata in sito;
- l'impianto ORC non può essere esercito in assetto cogenerativo;
- 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 ante intervento;
- l'ammissibilità al meccanismo dei Certificati Bianchi dell'impianto ORC è subordinata al rispetto di quanto previsto dall'Art. 4-bis, comma 8, del D.Lgs 199/2021, come modificato dal D.Lgs. n. 5/2026.

Si specifica che l'applicazione di differenti modalità di calcolo rispetto a quanto sopra riportato verrà valutata dal GSE nell'ambito dell'iter istruttorio, al fine di verificare che sia comunque garantita la corretta quantificazione dei risparmi.

Il consumo specifico di baseline da utilizzare per il calcolo dei risparmi corrisponde al consumo specifico di riferimento nei casi di nuova installazione, mentre corrisponde al consumo specifico ante intervento ovvero al consumo specifico di riferimento³ nei casi di sostituzione o di efficientamento energetico integrato. Tale consumo specifico, ai fini della determinazione del consumo di baseline, dovrà essere normalizzato rispetto alle variabili operative assunte nella configurazione post intervento quali, ad esempio, i valori di produzione e le diverse tipologie di prodotto trattate.

Qualora in sede di rendicontazione si registri una variazione significativa dei valori di produzione rispetto a quelli ipotizzati in sede di presentazione del progetto, per i casi in cui sia possibile assumere che la configurazione impiantistica ante intervento avrebbe comunque potuto garantire i nuovi livelli di produzione verificatisi, potrà essere previsto un fattore di normalizzazione del consumo specifico della situazione di baseline rispetto ai nuovi valori di produzione registrati in sede di rendicontazione. Qualora possibile, tale fattore di normalizzazione potrà essere determinato a partire da una misura degli effetti che la suddetta variazione di produzione ha avuto sulle prestazioni energetiche dei componenti post intervento, assumendo che tali effetti sarebbero stati riscontrati anche sui componenti che caratterizzano la situazione di baseline.

³ Secondo quanto previsto dal punto 1.3 dell'Allegato 1 al D.M. 21 luglio 2025

4 METODOLOGIA ADOTTATA PER LA PRESENTE GUIDA

Sono di seguito riportate le metodologie adottate per la determinazione dei consumi specifici di riferimento.

I valori dei consumi specifici di riferimento per i forni fusori del vetro inseriti nella Tabella 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 dei valori del consumo specifico di riferimento, sono stati consultati:

- 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, per i forni “**end port**”, i consumi di riferimento 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 quello per la produzione di flaconeria, con producibilità tra 50 e 100 t/g, riportati 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 primaria;

- *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.

Per i forni **“unit melter”**, i consumi di riferimento 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.

Per i forni di tipo **“elettrico”** e **“side port”**, 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 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 .

Infine, si precisa che:

- i dati indicati nella Tabella 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 dal 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 di energia primaria in tep utilizzato è pari a 41,86 GJ/tep. Il valore di energia primaria da considerare per la produzione di ossigeno allo stato liquido, pari a 1 kWh/Nm³, è stato ricavato sulla base dei progetti presentati, mentre il valore di 0,504 kWh/Nm³ per la produzione di ossigeno in sito è stato ricavato sulla base del documento Report RdS/PAR2018/083 ENEA **“Dalla diagnosi alla caratterizzazione energetica di processi industriali: metodi per la valutazione e la promozione degli interventi di riqualificazione energetica”**.

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”, EC, 2013
- “Dalla diagnosi alla caratterizzazione energetica di processi industriali: metodi per la valutazione e la promozione degli interventi di riqualificazione energetica”, ENEA, RdS/PAR2018/083, 2018