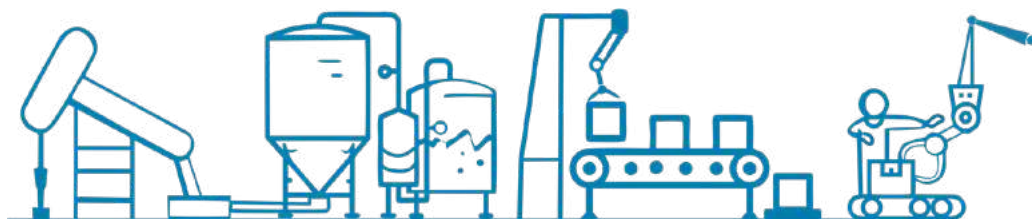


VETRO



Efficienza
Energetica
nei Settori
Economici



QUADERNI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

AGENZIA NAZIONALE
EFFICIENZA ENERGETICA





VETRO

ENEA DUEE-SPS-ESE

QUADERNI DELL'EFFICIENZA ENERGETICA

VETRO

Prima edizione Aprile 2021

ISBN Edizione digitale: 978-88-8286-413-2

Autori

Chiara Martini, Fabrizio Martini, Marcello Salvio, Claudia Toro

Hanno collaborato

Per ENEA: G. Bruni, A. De Santis, C. Herce, L. Leto, F.A. Tocchetti
Per l'Università degli Studi di Firenze: Prof. F. De Carlo, A. Cantini, L. Leoni

Si ringrazia per il prezioso supporto fornito

Assovetro e la Stazione Sperimentale del Vetro (SSV)



Questa pubblicazione è stata realizzata nell'ambito della
Ricerca di Sistema PTR 2019-2021, progetto 1.6 “Efficienza energetica
dei prodotti e dei processi industriali”, finanziato dal
Ministero dello Sviluppo Economico

Editing grafico Giorgio Scavino

Tipografia La Commerciale

V E T R O

Sommario

Premessa	4
Presentazione	6
1. Quadro normativo di riferimento	10
2. Obiettivo della pubblicazione	14
3. L'industria del vetro	18
4. Metodologia di Analisi dei dati	22
5. La diagnosi energetica	30
5.1 Linea guida per la stesura del protocollo di monitoraggio	40
5.2 Rendicontazione dei consumi energetici	42
6. Vetro Piano o vetro Float (codice Ateco 23.11.00 e 23.12.00)	48
6.1 Struttura Energetica vetro piano	48
6.2 Analisi dei consumi energetici	56
6.3 Risultanze delle diagnosi energetiche: ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica	57
7. Vetro Cavo per la produzione di imballaggi alimentari (Sottogruppo Ateco 23.13.00)	66
7.1 Struttura Energetica vetro cavo	66
7.2 I vettori energetici	69
7.3 Analisi dei consumi energetici	70
7.4 Risultanze delle diagnosi energetiche: ripartizione consumi ed indici di prestazione energetica	71
8. Vetro casalingo e vetro bianco di qualità (Sottogruppo Ateco 23.13.00)	82
8.1 Struttura energetica vetro casalingo e vetro bianco di qualità	82
8.2 I vettori energetici	85
8.3 Analisi dei consumi energetici	85
9. Fabbricazione di Fibre di Vetro (Sottogruppo Ateco 23.14.00)	90
9.1 Struttura Energetica fabbricazione di fibre di vetro	90
9.2 I vettori energetici	93
9.3 Analisi dei consumi energetici	94
10. Interventi di efficientamento energetico e soluzioni tecnologiche per il settore del vetro	98
10.1 Attività principali	98
10.2 Impianti ausiliari	120
11. Analisi degli interventi individuati ed effettuati nelle diagnosi energetiche	130
11.1 Metodologia di analisi	130
11.2 Risultati complessivi della Divisione Ateco 23	133
11.3 Risultati per il settore vetro	138
APPENDICE: Schede settoriali degli interventi effettuati e individuati	144
13. Bibliografia	168

Premessa

Il presente lavoro è stato svolto all'interno dell'attività di ricerca finanziata con il **“Piano della Ricerca di sistema elettrico per il triennio 2019-2021”³** e regolamentata attraverso l'Accordo di Programma⁴ tra MiSE, RSE, ENEA e CNR.

L'attività individuata dall'accordo di programma, come previsto dall'articolo 15 della legge 241 del 1990, attraverso la cooperazione tra il Ministero dello sviluppo economico e gli Enti firmatari (ENEA, RSE e CNR) ha lo scopo di sviluppare nuove conoscenze e tecnologie in grado di contribuire alla transizione energetica del Paese e, allo stesso tempo, per gli Enti firmatari rappresenta un campo di indagine primario per lo svolgimento delle attività istituzionali di ricerca e sviluppo nel settore dell'energia.

L'attività è finanziata dal **“Fondo per il finanziamento delle attività di ricerca”** (art. 11 del decreto 26 gennaio 2000). Tale fondo è alimentato dal gettito, versato mensilmente a CSEA dai distributori elettrici, della componente tariffaria A5RIM della bolletta dei clienti finali, la cui entità è stabilita trimestralmente dall'Autorità di Regolazione per Energia Reti e Ambiente (ARERA).

L'attività oggetto di questa pubblicazione è parte integrante del **Work Package 4 del Progetto di ricerca I.6. “Definizione di best practices e di indicatori di performance per interventi di efficienza energetica”** ha lo scopo di valorizzare la banca dati costituita dalle diagnosi energetiche pervenute ad ENEA ai sensi dell'articolo 8 del D.Lgs. 102/2014. Il progetto prevede la determinazione e la valutazione di indici di prestazione energetica di riferimento per il settore produttivo manifatturiero. Inoltre, per i principali settori manifatturieri, sono previste caratterizzazioni e analisi specifiche dei processi produttivi caratteristici del settore. Per la realizzazione del WP4

¹ <http://www.ricercadisistema.it>

² <https://www.mise.gov.it/index.php/it/energia/energia-elettrica/ricerca-di-sistema-elettrico-nazionale/17-energia/energia-elettrica/2041222-piano-della-ricerca-di-sistema-elettrico-per-il-triennio-2019-2021-accordo-di-programma-tra-mise-e-rse-enea-e-cnr>

ENEA si è avvalsa della collaborazione di cinque Università:

- ✦ Alma Mater Studiorum - Università di Bologna (Dipartimento di Ingegneria Civile, Chimica, Ambientale e dei Materiali);
- ✦ Università degli Studi di Roma Tor Vergata (Dipartimento di Ingegneria dell'Impresa);
- ✦ Università degli Studi di Salerno (Dipartimento di Ingegneria Industriale);
- ✦ Università degli Studi della Tuscia (Centro Interuniversitario per l'innovazione Tecnologica e lo sviluppo del territorio);
- ✦ Università degli Studi di Firenze (Dipartimento di Ingegneria Industriale).

Il WP4 del Progetto di ricerca I.6. si colloca all'interno di un contesto più ampio individuato dal **Progetto di ricerca I.6 “Efficienza energetica dei prodotti e dei processi industriali”**. L'obiettivo del progetto è la realizzazione di strumenti e metodologie per la promozione e diffusione delle tecnologie ad alta efficienza energetica, allo scopo di favorire il mercato di prodotti più performanti sia a livello di componenti sia a livello di sistemi energetici e contribuire alla riduzione della bolletta energetica nazionale aumentando la competitività del settore produttivo rispetto ai mercati internazionali. La finalità è quella di produrre un incremento dell'impatto di misure di efficientamento note alla comunità scientifica, ma in molti casi poco esplorate da un punto di vista ingegneristico, e che presentano notevoli barriere alla diffusione di tipo conoscitivo, gestionale ed economico.

Presentazione

Con la direttiva 2012/27/UE l'Unione europea ha rimarcato il ruolo dell'efficienza energetica, in quanto capace di garantire un sistema energetico meno esposto ai rischi e alla volatilità che la crescita economica globale inevitabilmente determina e di contribuire alla riduzione di emissioni di CO₂ e inquinanti locali per una crescita sostenibile. La direttiva è stata recepita in Italia nel luglio 2014 con il Decreto Legislativo 102/2014 che, tra le altre cose, ha introdotto per una parte del sistema produttivo italiano (le grandi imprese e le imprese energivore) l'obbligo di effettuare una diagnosi energetica ogni quattro anni, a partire dal dicembre 2015. In tal modo il decreto recepisce l'indirizzo e lo spirito della Direttiva 2012/27/UE sull'Efficienza Energetica, che individua nella diagnosi energetica uno strumento efficace per la promozione dell'efficienza energetica nel mondo produttivo al fine di una corretta gestione dell'energia sia dal punto di vista tecnico sia economico.

In tale contesto il decreto assegna ad ENEA il ruolo di gestore del meccanismo delle diagnosi energetiche obbligatorie e di supporto al Ministero, nella verifica e controllo del corretto adempimento agli obblighi previsti per i soggetti obbligati.

Dall'entrata in vigore dell'obbligo di diagnosi energetica previsto dal D.Lgs.102, ENEA è stata il collettore, ad oggi, di circa 30.000 diagnosi energetiche tramite il proprio portale dedicato Audit 102. Una imponente raccolta di dati che ENEA ha ritenuto doveroso valorizzare con il fine di restituire agli stakeholder utili riferimenti in termini di: consumi specifici, best practice, opportunità di miglioramento, analisi di scenario etc.

Il piano della Ricerca di Sistema elettrico, programma di ricerca finanziato dal MiSE, si è quindi rivelato lo strumento più opportuno all'interno del quale collocare questa attività di analisi dei dati. In particolare nel triennio 2019-2021, ENEA si è posta come obiettivo quello di analizzare tutti i settori merceologici afferenti al settore industriale manifatturiero al fine di individuare degli indici di riferimento per i consumi energetici e le principali best practices.

Inoltre, per alcuni di questi settori è stato svolto un approfondimento maggiore, andando ad individuare, laddove dove i dati lo hanno permesso, sia indici specifici di consumi con livelli di dettaglio crescente (entrando quindi

nelle fasi del processo produttivo) che i principali interventi di efficientamento energetico per ciascuna di queste fasi. Per portare avanti questa analisi di approfondimento ci si è anche avvalsi del supporto e della competenza di cinque Università Italiane quali: Università di Roma Tor Vergata, Università degli Studi della Tuscia, Università degli studi di Salerno, Università degli studi di Firenze e Università di Bologna. Oltre ai partner Universitari, come consuetudine ENEA, non poteva mancare il coinvolgimento di esperti del settore come ad esempio le associazioni di categoria.

Questa attività ha quindi permesso la nascita di una collana di monografie settoriali che hanno il doppio fine di guidare da un lato l'auditor energetico nella realizzazione della diagnosi energetica e dall'altro fornire alle imprese degli spunti per individuare eventuali interventi di efficientamento energetico e per “confrontarsi” con il resto del settore industriale italiano.

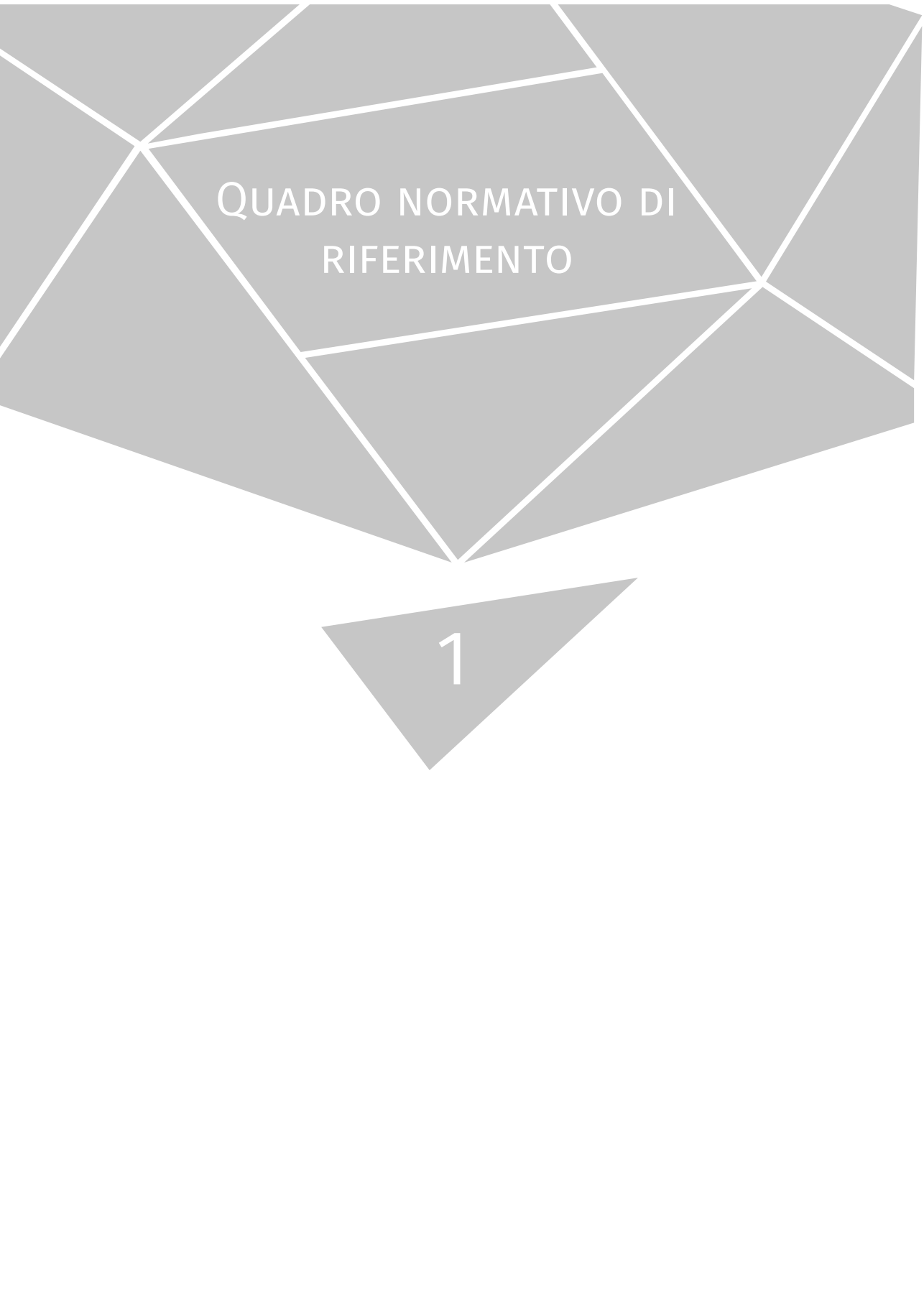
Ritengo doveroso, quindi, ringraziare tutti gli attori coinvolti per il prezioso supporto fornito che ha permesso di valorizzare ed arricchire l'attività di analisi di ENEA.

Ilaria Bertini

Capo Dipartimento

Unità efficienza energetica Enea





QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

1

I. Quadro normativo di riferimento

In attuazione delle Direttive sull'efficienza energetica emanate dal Parlamento Europeo l'Italia ha recepito prima con il **Decreto Legislativo n° 102 del 4 luglio 2014** (G.U. Serie Generale n.175 del 14-07-2020) la Direttiva 2012/27/UE e successivamente con il **Decreto Legislativo n° 73 del 14 luglio 2020** (G.U. Serie Generale n.175 del 14-07-2020) la Direttiva 2018/27/UE che ha modificato ed adeguato alcune parti della direttiva 2012/27/UE.

L'art. 8 del D.Lgs. 102/2014 prima e del D.Lgs. 73/2020 dopo, individua i soggetti obbligati che a partire dal 5 dicembre 2015 debbono svolgere, con cadenza quadriennale, una diagnosi energetica presso i propri siti produttivi.

I soggetti obbligati sono:

- ✓ le grandi imprese³ (comma 1);
- ✓ le imprese a forte consumo di energia⁴ (comma 3).

La diagnosi energetica è lo strumento più qualificato per analizzare il quadro della gestione energetica di un'attività (industriale, servizi, primario e terziario) e rappresenta una valutazione sistematica di come venga utilizzata l'energia dal punto in cui essa viene acquisita al suo punto di utilizzo finale.

La diagnosi energetica è una procedura sistematica volta a fornire un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o di servizi pubblici o privati, ad individuare e quantificare le opportunità risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e riferire in merito ai risultati.

³ Ogni entità, a prescindere dalla forma giuridica, che eserciti un'attività economica con più di 250 occupati e con un fatturato annuo che superi i 50 milioni di euro, oppure il cui totale di bilancio annuo superi i 43 milioni di euro, i cui effettivi e soglie finanziarie sono calcolabili secondo i criteri e i principi stabiliti dalla raccomandazione 2003/362/CE della Commissione europea del 6 maggio 2003.

⁴ Le imprese che si avvalgono delle agevolazioni alle imprese energivore previste dal Decreto Ministeriale del 21 dicembre 2017 attuazione dell'articolo 19 della legge 20 novembre 2017, n. 167 recante Disposizioni per l'adempimento degli obblighi derivanti dall'appartenenza dell'Italia all'Unione europea.

Il D. Lgs. 102/2014 affida ad ENEA l'attività di gestione del meccanismo attraverso:

- la realizzazione di una banca dati in grado di permettere il controllo dell'applicazione dell'obbligo (Art. 8 comma 5);
- Il controllo sulla conformità delle diagnosi all'allegato 2 dei sopracitati decreti, realizzabile anche tramite attività in situ (Art. 8 comma 6);
- La realizzazione e la pubblicazione di un rapporto di sintesi sulle attività diagnostiche complessivamente svolte e sui risultati raggiunti (Art. 8 comma 8).







OBIETTIVO DELLA PUBBLICAZIONE

2

2. Obiettivo della pubblicazione

L'obiettivo di questa pubblicazione è quello di fornire alle imprese operanti nel settore della fabbricazione e trasformazione del vetro ed ai professionisti uno strumento di ausilio nella redazione di una diagnosi energetica di qualità.

Obiettivo principale di una diagnosi energetica è **l'individuazione e la quantificazione delle opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici, attraverso l'analisi della distribuzione e della gestione dei vettori energetici nel sito sottoposto ad analisi.**

Per poter individuare delle opportunità di efficientamento energetico sono necessari tre presupposti fondamentali:

- ♦ una corretta analisi dei flussi energetici;
- ♦ una conoscenza degli indici/parametri di riferimento per confrontare i propri risultati (in termini di indicatori prestazionali) con lo stato dell'arte presente per lo specifico settore sia nella letteratura scientifica che in quella tecnica;
- ♦ una conoscenza delle possibili opportunità di miglioramento caratteristiche del settore che si sta analizzando.

La presente pubblicazione, attraverso l'analisi delle diagnosi energetiche pervenute ad ENEA nel dicembre 2019 per l'ottemperamento degli obblighi previsti dall'Art.8 del D. Lgs. 102/2014, e grazie al supporto di Assovetro⁵ e dei gruppi di ricerca universitari coinvolti nel progetto vuole proporsi come un utile strumento per redigere la diagnosi energetica in modo più consapevole fornendo indicazioni relative ai tre presupposti fondamentali sopra citati.

Nella prima parte del documento è presente una descrizione generale del settore produttivo oggetto della presente pubblicazione, successivamente si entra nel merito dell'oggetto del documento:

- verrà quindi descritta la metodologia di approccio alle informazioni ricavabili sia dalle diagnosi energetiche che da pubblicazioni tecniche e da esperti del settore.

⁵ Associazione Nazionale degli Industriali del Vetro, <https://www.assovetro.it/>

- Verrà illustrato come dovrebbe essere condotta una diagnosi energetica di qualità tenendo conto anche delle prescrizioni normative legate alla presenza di dati misurati e come, seguendo le linee guida generali per la redazione della diagnosi energetica realizzate da ENEA, questi dati dovrebbero essere rappresentati.
- Dopo l'illustrazione degli elementi fondamentali per redigere una diagnosi energetica di qualità e conforme a quanto previsto dall'allegato 2 del D.Lgs.102/2014 (e successivi aggiornamenti), si entrerà nello specifico dei differenti processi e prodotti delle tipologie di vetro. Pertanto verranno rappresentati i flow chart di diverse tipologie di prodotto/processo dettagliandone le fasi principali, con i relativi parametri caratteristici da prendere in considerazione nella diagnosi. Per alcune tipologie di processo verranno fornite indicazioni su come generalmente i consumi energetici si ripartiscono all'interno delle differenti aree funzionali. Lì dove i dati delle diagnosi energetiche pervenute nel 2019 lo abbiano permesso verranno forniti indici di prestazione energetica sia di primo che di secondo livello (scendendo cioè nelle fasi del processo).
- La pubblicazione si concluderà con un elenco ed un'analisi delle principali opportunità di miglioramento. In particolare saranno prima riportati tutti gli specifici interventi che possono insistere sulle diverse fasi del processo ricavabili in letteratura e successivamente un'analisi tecnico-economica degli interventi proposti nelle diagnosi energetiche.





L'INDUSTRIA DEL VETRO

3

3. L'industria del vetro

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

Le attività del settore vetro sono sostanzialmente suddivisibili in due ambiti: la fabbricazione (di quattro differenti tipologie di vetro: piano, cavo, lane e filati di vetro e "altro", riferito – per esempio – alle produzioni artistiche) e la lavorazione (Figura 1).



Figura 1 – Schematizzazione della classificazione Ateco del "settore vetro"

Al 31.12.2018, come riporta il Rapporto di Sostenibilità 2020 redatto da Assovetro [1], le Aziende italiane che si occupano della fabbricazione di vetro piano (23.11), vetro cavo (23.13) e lana e filati di vetro (23.14) sono 28 e, più precisamente:

- 6 per il vetro piano;
- 19 per il vetro cavo;
- 3 per lana e filati di vetro.

Per quanto riguarda la produzione italiana 2018 di vetro piano e cavo, conferma il trend costante di crescita degli ultimi anni con un aumento del 10% rispetto al 2014. In particolare per il 2018 si è attestata intorno ai 5,3 milioni di tonnellate di vetro prodotto con una prevalenza di vetro netto nella produzione di vetro cavo (circa 4,3 milioni di tonnellate) rispetto al vetro piano.

L'Italia risulta essere uno dei principali produttori di vetro europei con circa un settimo della produzione totale di vetro dell'EU28. L'industria del vetro è composta per la gran parte da Grandi Imprese ed Imprese Energivore, quindi categorie obbligate, come previsto dal D.Lgs. 102/2014, a realizzare una diagnosi energetica ed inviarla ad ENEA.

ENEA nel corso dell'annualità 2020 ha analizzato le diagnosi presentate dalle industrie appartenenti al codice Ateco 23.1 (codice che ricomprende tutte le attività afferenti al settore "Vetro"). Il campione di aziende tra quelle che hanno presentato la diagnosi energetica tra il 2018 ed il 2019 costa di 89 partite IVA che hanno presentato 129 diagnosi energetiche in totale, suddivise tra fabbricazione e lavorazione del vetro. Nel Grafico di *Figura 2* è possibile vedere come sono distribuite le diagnosi energetiche tra i vari sottogruppi Ateco afferenti al settore del vetro. Il grafico rispecchia quanto evidenziato nel Rapporto di Sostenibilità di Assovetro in quanto le aziende che producono vetro piano (23.11), cavo (23.13) e filati di vetro (23.14) rappresentano rispettivamente solamente il 4%, il 34% ed il 4% di tutte le diagnosi presentate riconducibili al settore. Una grossa fetta delle diagnosi, circa il 40%, riguardano la lavorazione e trasformazione del vetro piano (23.12), il restante 18% è imputabile a diagnosi relative ad altre fabbricazioni e lavorazioni di vetro (23.19).

Ripartizione percentuale delle diagnosi afferenti al settore del "Vetro" sui differenti sottogruppi Ateco

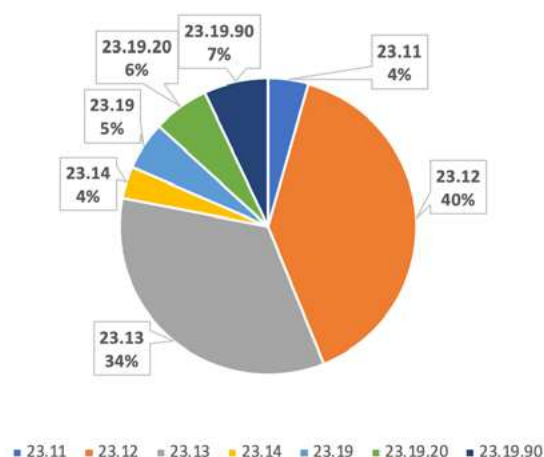
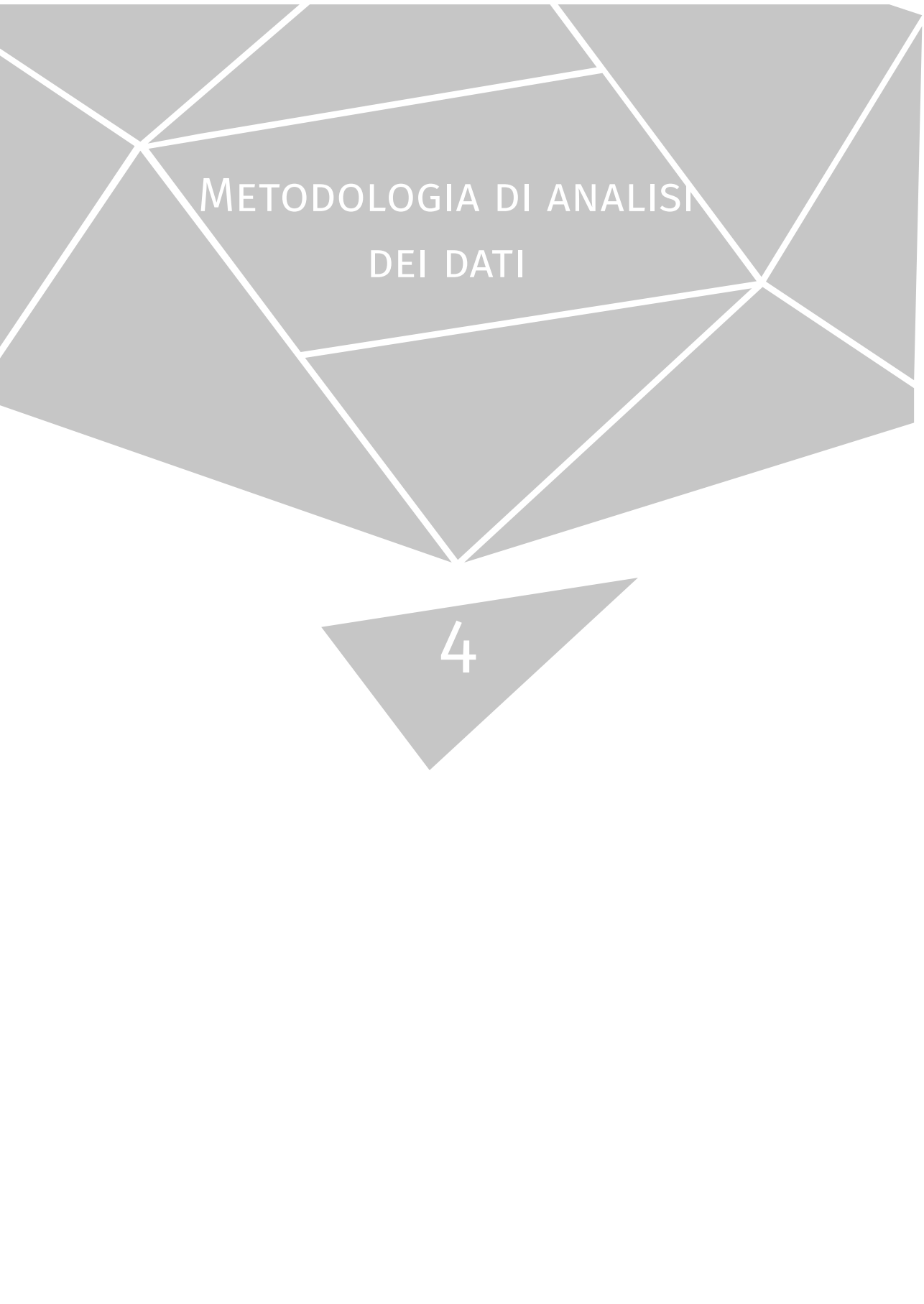


Figura 2 – Ripartizione delle diagnosi sui differenti sottogruppi Ateco afferenti al settore del Vetro





METODOLOGIA DI ANALISI DEI DATI

4

4. Metodologia di Analisi dei dati

Le aziende afferenti all'industria del vetro si differenziano sia per tipologia di attività (produzione e/o lavorazione) che di prodotto (piano, cavo, filati, etc.), queste differenziazioni, come visto nel paragrafo precedente, sono rappresentate dalle differenti sottocategorie Ateco a 6 cifre.

Tuttavia, questa suddivisione non è sufficiente a caratterizzare le differenze sostanziali in termini di processo e consumi energetici che vi possono essere tra le differenti tipologie di prodotto.

Ad esempio, andando ad analizzare nel dettaglio cosa è ricompreso nel codice Ateco 23.13.00 "Fabbricazione di vetro cavo", nel documento ISTAT "Classificazione delle attività economiche Ateco 2007" [2], si ritrova che questo sottogruppo ricomprende due ulteriori famiglie di prodotti:

- fabbricazione di bottiglie ed altri contenitori sia di vetro che in cristallo;
- fabbricazione di bicchieri ed altri articoli di vetro o cristallo per la casa.

Andando, inoltre, ad analizzare i processi con i relativi consumi energetici, del sottogruppo Ateco 23.13.00, risulta subito evidente come questa classificazione non si presti ad una analisi energetica omogenea, in quanto vi sono importanti differenze legate alla tipologia di vetro cavo che si intende realizzare. Vi sono, infatti, forti differenze di consumo specifico tra la produzione di vetro cavo per il food and beverage e, ad esempio, la produzione di vetro per scopi farmaceutici o profumeria.

Un'analisi della bibliografia ed in particolare del report del JRC "Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Manufacture of Glass" [3] individua otto settori riconducibili al settore del vetro:

1. *Contenitori di vetro;*
2. *Vetro piano;*
3. *Fibre di vetro;*
4. *Vetro domestico;*
5. *Vetri speciali;*
6. *Lana di vetro;*

7. *Lane di vetro per isolamenti ad alta temperatura;*

8. *Fritte di vetro.*

All'interno di questi otto settori il documento del JRC, rappresenta ulteriori suddivisioni, in particolare per i contenitori di vetro (o vetro cavo) si esplicita chiaramente la differenza che intercorre tra i “prodotti comuni” come quelli utilizzati nell'industria alimentare e le produzioni a più alto valore e qualità riconducibili all'industria farmaceutica e dei profumi e cosmesi.

Sulla base delle premesse, ed analizzando la documentazione pervenuta, si sono suddivise le diagnosi in modo tale che potessero presentare prodotti e processi sufficientemente omogenei, rimanendo all'interno dei confini dettati dalla suddivisione Ateco [2].

Pertanto, le diagnosi pervenute nel secondo ciclo d'obbligo sono state così suddivise:

- Ateco 23.11.00: fabbricazione di vetro piano;
- Ateco 23.12.00: lavorazione e trasformazione di vetro piano;
- Ateco 23.13.00: fabbricazione di vetro cavo per “food and beverage”;
- Ateco 23.13.00: fabbricazione di vetro cavo per produzione di “vetro ad alto valore e qualità”;
- Ateco 23.13.00: fabbricazione di vetro cavo per “uso casalingo”;
- Ateco 23.14.00: fabbricazione di fibre di vetro;
- Ateco 23.19.00: altre fabbricazioni di vetro.

Per ciascuno di questi gruppi è stata valutata la consistenza del campione e verificata l'omogeneità dei processi produttivi e nel caso si è proceduto all'individuazione di indici di prestazione energetica caratteristici, sia di primo livello che di secondo livello.

Per indici di primo livello si intendono gli indici calcolati andando a considerare l'energia totale consumata dei singoli vettori energetici rispetto al parametro caratteristico di produzione (ed. tonnellate, metri quadri, etc.). Riprendendo la struttura energetica proposta da ENEA sono gli indici ricavati dai dati forniti al livello B (Figura 3).

Per indici di secondo livello si intendono invece gli indici specifici che per ciascun vettore energetico scendono nel dettaglio del processo (es. fase di fusione, fasi di formatura, consumi ausiliari, etc). Questa tipologia di indice è di più difficile determinazione in quanto dipende strettamente dal processo e da come il consumo è misurato ed imputato al processo stesso. Facendo riferimento alla struttura energetica proposta da ENEA [4], questa tipologia di indice si basa sui dati forniti al livello D (Figura 3).

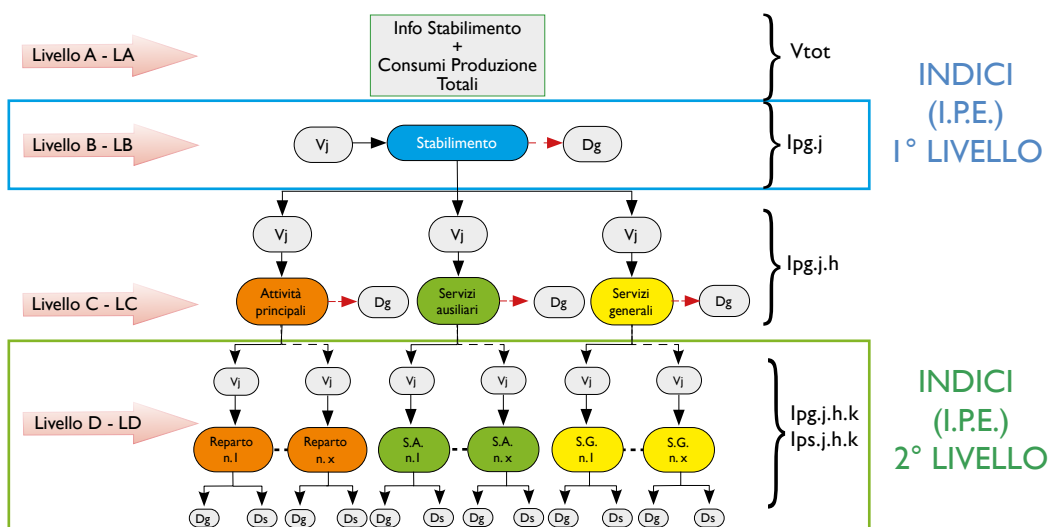


Figura 3 - Schematizzazione della struttura energetica aziendale e caratterizzazione del livello degli IPE

Sinteticamente la metodologia di analisi utilizzata può essere schematizzata nelle seguenti fasi:

Fase I Selezione del campione statistico: consiste nell'analisi numerica dei consumi di ogni sito per ciascun sottogruppo Ateco presente nella banca dati ENEA (detta popolazione di riferimento) e nella selezione del campione statistico utile all'implementazione matematica del modello. A tal fine, vengono studiati sia i file dei rapporti tecnici che i fogli di calcolo di riepilogo dei consumi allegati al rapporto tecnico (laddove presenti). È importante sottolineare l'ingente lavoro di omogeneizzazione

effettuato preventivamente per eliminare dalla popolazione analizzata tutti gli elementi considerati non utili (perché aventi unità di produzione (U.P) non coerenti con il resto della popolazione, oppure per mancanza di dati o errori di caricamento, o ancora incongruenze riferibili alla non pertinenza del sito in esame con il sottogruppo considerato). Inoltre, è stata definita una soglia numerica minima di siti rappresentativi, pari a 5, al di sotto della quale la modellizzazione risulta essere non rappresentativa.

- Fase 2** Ricerca della correlazione tra consumo e produzione: viene effettuata un'analisi di regressione lineare al fine di valutare “la bontà” della relazione che c'è tra i consumi ed il parametro di aggiustamento (es. produzione) utilizzato. Questa valutazione viene fatta attraverso l'analisi dei principali indici statistici come R^2 , l'indice di Pearson ed il valore di P-value. Il controllo della correlazione rappresenta un passaggio importante per capire se effettivamente il consumo energetico sia legato al parametro di aggiustamento o vi sia la presenza di altri fattori in gioco più influenti.
- Fase 3** Aggregazione dati: l'analisi precedente, in alcuni casi, permette di individuare la presenza di gruppi o cluster di siti, che possono dare indicazioni su tipologie di prodotti o processi differenti. Oppure è possibile individuare macro raggruppamenti legati ai volumi di produzione.
- Fase 4** Individuazione IPE di riferimento: ultima fase, qualora le fasi precedenti suggeriscano un legame tra il consumo energetico ed il parametro di influenza si passa all'individuazione degli IPE di riferimento, che potranno essere differenziati per specifiche tecnologie, processi, prodotti o intervalli di produzione.

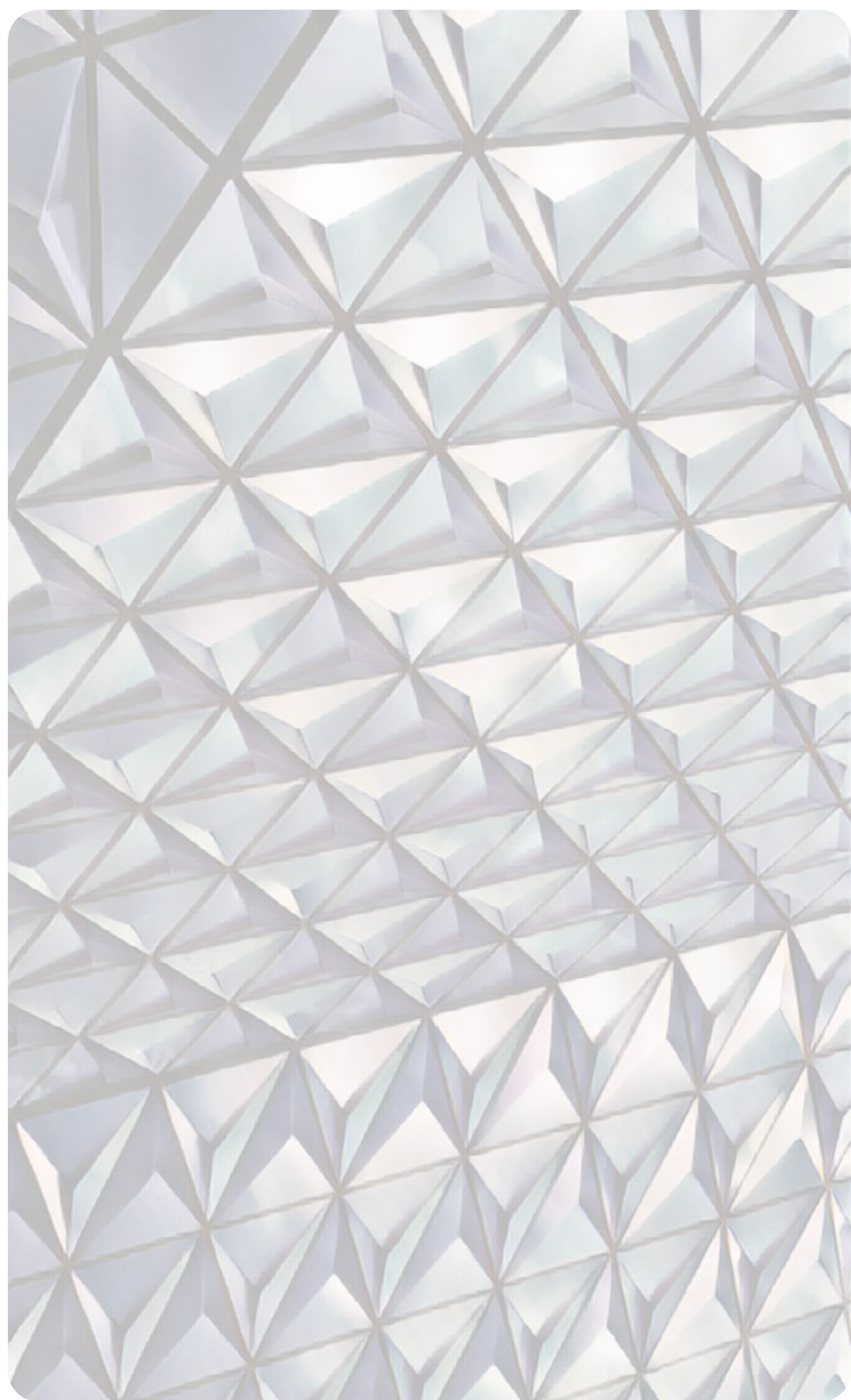
La bontà degli indici di prestazione individuati dipende, quindi, da come i dati riportati in diagnosi siano confrontabili tra loro con confini, limiti di batteria ben determinati.

L'analisi delle diagnosi con la categorizzazione sopra individuata per i differenti settori merceologici e tipologia di prodotto e la collaborazione pluriennale con Assovetro[5] ha portato all'individuazione di una suddivisione che rispondesse alle peculiarità del panorama produttivo italiano:

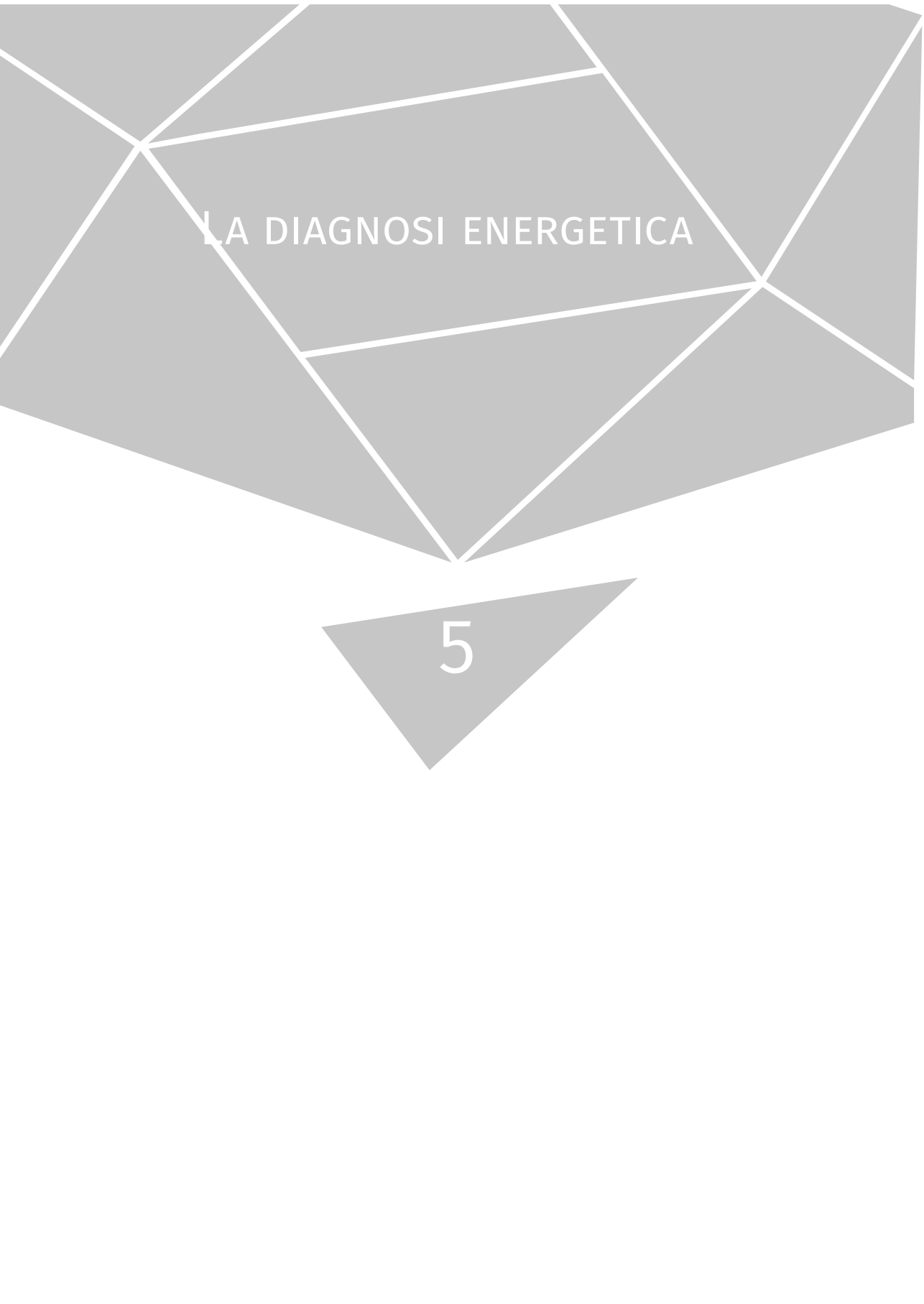
- I. Vetro piano** (produzione vetro piano per automotive e building);
- II. Vetro cavo** (produzione contenitori per food and beverage);
- III. Vetro casalingo e vetro bianco di qualità** (produzione di articoli per la casa, profumeria e cavo farmaceutico);
- IV. Fibra di vetro** (produzione filamento continuo e lana di vetro).

Nota informativa:

Nel presente lavoro l'individuazione degli indici di prestazione energetica caratteristici è stata possibile solamente per alcuni dei processi sopra individuati, in particolare: sul processo del vetro cavo per utilizzo food and beverage (Ateco 23.13.00) e sul processo per la produzione del vetro piano (Ateco 23.11.00 e 23.12.00).







LA DIAGNOSI ENERGETICA

5

5. La diagnosi energetica

In questo capitolo si entra nel merito di come deve essere condotta una diagnosi energetica di qualità, ed in particolare come questa dovrebbe essere affrontata nel settore del vetro.

Dopo una panoramica generale sulla metodologia di approccio e sui contenuti minimi che debbono essere soddisfatti per redigere un rapporto di diagnosi conforme ai dettami del D.Lgs. 102/2014, si entra nello specifico del settore del vetro, suggerendo struttura energetica, strategia di monitoraggio ed indici di prestazione energetica (IPE).

Per la stesura di un rapporto di diagnosi energetica di qualità e conforme ai dettami legislativi è necessario seguire le indicazioni presenti:

- nell'allegato 2 del decreto legislativo 102/2014 aggiornato nel luglio 2020 con il D.Lgs. 73/2020;
- nei chiarimenti del MISE [6];
- nelle linee guida generali elaborate da ENEA [4];
- nelle linee guida settoriali elaborate da ENEA (quali questo documento);
- nella normativa tecnica, pacchetto UNI CEI EN 16247 [7].

Redazione del rapporto di diagnosi energetica

Diagnosi Energetica o Audit energetico: procedura sistematica finalizzata a ottenere un'adeguata conoscenza del profilo di consumo energetico di un edificio o gruppo di edifici, di una attività o impianto industriale o commerciale o di servizi pubblici o privati, a individuare e quantificare le opportunità di risparmio energetico sotto il profilo costi-benefici e a riferire in merito ai risultati.

Come riportato nella norma tecnica UNI CEI EN 16247-1 l'esecuzione di una diagnosi energetica può essere suddivisa nelle seguenti fasi (vedi Figura 4):

- ☐ Contatti preliminari;
- ☐ Incontro di avvio;
- ☐ Raccolta dati;
- ☐ Attività in campo;

- ❑ *Analisi dati ed individuazione delle opportunità di efficientamento energetico;*
- ❑ *Rapporto;*
- ❑ *Incontro finale.*

Nell'incontro di avvio vengono informate tutte le parti interessate su obiettivi, scopo, confini e accuratezza della diagnosi energetica e concordate le disposizioni pratiche. Vengono pianificate le attività, nominate le persone dell'organizzazione che faranno da interfaccia all'auditor.

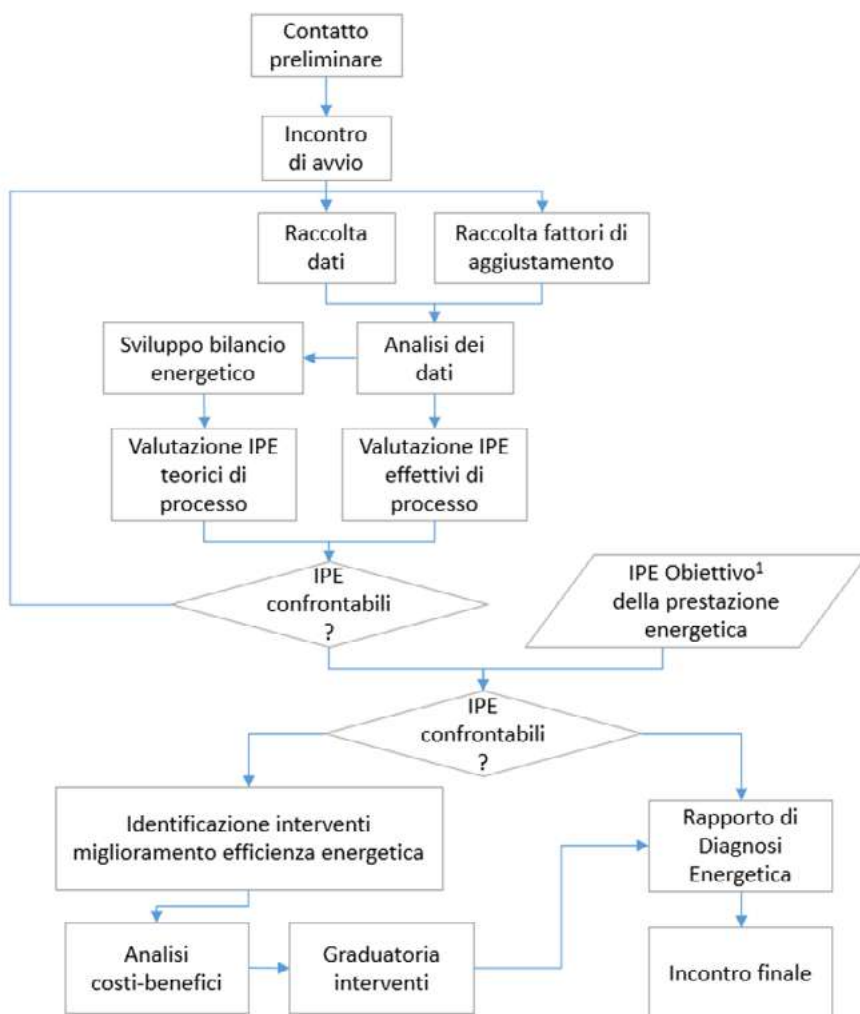


Figura 4 - Schema esecuzione diagnosi energetica secondo la UNI CEI EN 16247-1
 (¹ media di settore, benchmark, riferimento di legge oppure un miglioramento quantitativo rispetto alla situazione ex ante).

In fase di raccolta dati l'auditor, in cooperazione con l'organizzazione, deve raccogliere tutte le informazioni necessarie ed utili per comprendere il processo produttivo, le fonti di approvvigionamento energetico e di materie prime, le modalità di gestione del sito produttivo/impianto in termini energetici, economici e organizzazione del lavoro.

L'auditor energetico deve poi ispezionare in campo l'oggetto della diagnosi, valutarne gli usi energetici secondo le finalità, lo scopo ed accuratezza della diagnosi energetica, comprendere le modalità operative, i comportamenti degli utenti e il loro impatto sui consumi e l'efficienza energetica, formulare idee preliminari per le opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica e redigere un elenco di aree e processi per i quali necessitino ulteriori dati quantitativi per successiva analisi.

L'auditor deve assicurarsi che le misure ed i rilievi siano effettuati in maniera conforme a quanto previsto dal D.Lgs 102/2014, dai chiarimenti del MISE e dalle linee guida ENEA, affidabile e in condizioni che siano rappresentative delle ordinarie condizioni di esercizio.

In fase di analisi l'auditor **deve determinare il “livello di prestazione energetica” corrente dell'oggetto sottoposto a diagnosi**. Questo rappresenta il riferimento sulla base del quale possono venire misurati i miglioramenti e deve comprendere:

- a. una *scomposizione dei consumi energetici* suddivisi per uso e fonte;
- b. i **flussi energetici** ed un bilancio energetico dell'oggetto sottoposto a diagnosi;
- c. i **flussi di massa** (prodotti, semilavorati, materie prime) dell'oggetto sottoposto a diagnosi;
- d. il diagramma temporale della domanda di energia;
- e. le **correlazioni tra consumo energetico e fattori di aggiustamento** (i fattori che incidono sul consumo energetico come, solo a titolo di esempio, la produzione);
- f. uno o più **indicatori di prestazione energetica** adatti a valutare l'oggetto sottoposto a diagnosi;
- g. le **opportunità di miglioramento dell'efficienza energetica sulla base della prestazione energetica corrente dell'oggetto sottoposto a diagnosi**

valutandone l'impatto sulla base dei risparmi economici ottenibili, degli investimenti necessari, del tempo di ritorno, dei vantaggi non energetici e delle interazioni tra le diverse misure di efficientamento proponibili. Le azioni di risparmio energetico devono essere elencate secondo una graduatoria basata sui criteri concordati con l'organizzazione.

Nell'incontro finale l'auditor energetico deve:

- h. consegnare il rapporto di diagnosi energetica;
- i. presentare i risultati della diagnosi energetica in maniera da agevolare il processo decisionale dell'organizzazione;
- j. essere in grado di spiegare i risultati.

Uno dei punti chiave nella valutazione delle prestazioni energetiche di un sito, di un processo, etc. è il confronto delle sue prestazioni con quelle di impianti/processi simili.

Questa fase di confronto però non può prescindere da una chiara standardizzazione delle caratteristiche del processo che permetta confronti omogenei con, ad esempio, indici di prestazione energetica presenti in letteratura, o anche più semplicemente confronti con impianti simili di proprietà della stessa azienda. In quest'ottica di standardizzazione, nel 2018 ENEA, in collaborazione con Assovetro e la Stazione Sperimentale del Vetro, ha redatto una prima linea guida settoriale [5] che ha permesso di approcciarsi alla diagnosi energetica in maniera strutturata, andando ad evidenziare le singole fasi di processo da prendere in considerazione nell'analisi dei consumi, come monitorarli e come rappresentarli nel rapporto di diagnosi.

Uno dei primi output evidenziati nella linea guida è stato quello di individuare le differenti tipologie di processo e prodotti prevalentemente presenti sul mercato nazionale. Questo ha permesso di individuare quattro sotto-settori:

- I. **Vetro piano** (produzione vetro piano per automotive e building).
- II. **Vetro cavo** (produzione contenitori per food and beverage).
- III. **Vetro casalingo e vetro bianco di qualità** (produzione di articoli per la casa, profumeria e cavo farmaceutico).
- IV. **Fibra di vetro** (produzione filamento continuo e lana di vetro).

Per ciascun sotto-settore è stata individuata una struttura energetica aziendale tipo.

Per ognuno dei sotto-settori analizzati è stata predisposta una linea guida dedicata, con l'indicazione della struttura energetica aziendale di riferimento, da tenere in considerazione durante la preparazione delle Diagnosi Energetiche. La struttura energetica per ogni sotto-settore è suddivisa in diverse aree funzionali secondo un flowchart. Per ogni area funzionale è stato esplicitato l'ambito di pertinenza (attività principali, servizi ausiliari o generali), i tipici vettori energetici associati, il livello indicativo di incidenza rispetto al consumo totale aziendale di ciascun vettore energetico (maggiore o minore del 5%) e la destinazione d'uso da prendere a riferimento nel calcolo dell'indice di prestazione energetica.

Contestualmente alla definizione della struttura energetica è stata anche proposta una metodologia per definire una strategia di monitoraggio dei consumi energetici principali e delle variabili che su di essi incidono.

La definizione della struttura energetica aziendale tipo, quindi, si è basata sulle seguenti considerazioni:

- possibilità di raccolta dei dati energetici, anche con strumenti di misurazione in linea;
- omogeneità tra le diverse realtà industriali;
- confrontabilità dei dati tra le diverse realtà industriali;
- peso energetico relativo dei vari vettori, con particolare riferimento alla soglia minima di rilevanza del 5% rispetto ai consumi totali per ogni singolo vettore energetico;
- obbligo di fornire dati ricavati a partire da misure, secondo determinate percentuali, per ogni singolo vettore energetico avente incidenza superiore al 10% rispetto al consumo totale (d'ora in poi definito come "non marginale");
- obbligo per ogni singolo vettore energetico "non marginale" (i.e. maggiore del 10% del totale consumi) di quantificare tramite misure almeno l'85 % dei consumi energetici afferenti al gruppo "attività principali";
- obbligo per ogni singolo vettore energetico "non marginale" di quantificare tramite misure almeno il 50% dei consumi energetici afferenti al gruppo "servizi ausiliari";
- obbligo per ogni singolo vettore energetico "non marginale" di quantificare tramite misure almeno il 20% dei consumi energetici afferenti al gruppo "servizi generali".

Sono state definite anche le unità di misura con cui debbono essere raccolti e quindi rendicontati i dati di consumo energetico:

- *Energia elettrica in kWh;*
- *Gas naturale in Sm³;*
- *Eventuale Calore acquistato dall'esterno (es teleriscaldamento) in kWh;*
- *Eventuale energia frigorifere (Freddo) acquistata dall'esterno in kWh;*
- *Biomassa in tonnellate, si prega in questo caso di riportare anche il potere calorifico inferiore della biomassa;*
- *Olio combustibile in tonnellate;*
- *GPL in tonnellate;*
- *Gasolio in tonnellate;*
- *Coke di petrolio in tonnellate.*

Il monitoraggio dei consumi energetici

Nei CHIARIMENTI IN MATERIA DI DIAGNOSI ENERGETICA NELLE IMPRESE del novembre 2016 pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico [6], e in particolare al punto 4.1: Quali sono i requisiti minimi che la diagnosi energetica deve rispettare ai fini dell'adempimento dell'obbligo? si afferma quanto segue: "...In primis l'azienda viene suddivisa in aree funzionali. Si acquisiscono quindi i dati energetici dai contatori generali di stabilimento e, qualora non siano disponibili misure a mezzo di contatori dedicati, **per la prima diagnosi**, il calcolo dei dati energetici di ciascuna unità funzionale viene ricavato dai dati disponibili...".

Nell'Allegato II dello stesso documento si prevede: "Una volta definito l'insieme delle aree funzionali e determinato il peso energetico di ognuna di esse a mezzo di valutazioni progettuali e strumentali, si dovrà definire l'implementazione del piano di monitoraggio permanente in modo sia da tener sotto controllo continuo i dati significativi del contesto aziendale, che per acquisire informazioni utili al processo gestionale e dare il giusto peso energetico allo specifico prodotto realizzato o al servizio erogato." In tale modo si intende che **nelle diagnosi successive alla prima** per le aree funzionali devono esserci contatori dedicati, ovvero non tanto un sistema di monitoraggio completo ad esse dedicate ma una "strategia di monitoraggio" che, attraverso un'opportuna copertura di sistemi di strumentazione, di controllo e di gestione, faccia in modo che i parametri energetici ad esse relativi possano avere un'affidabilità crescente con la progressiva implementazione di detti sistemi.

Nei CHIARIMENTI IN MATERIA DI DIAGNOSI ENERGETICA NELLE IMPRESE del novembre 2016, pubblicati dal Ministero dello Sviluppo Economico [6], e in particolare al punto 4.1: Quali sono i requisiti minimi che la diagnosi energetica deve rispettare ai fini dell'adempimento dell'obbligo? Si afferma quanto segue: "...In primis l'azienda viene suddivisa in aree funzionali. Si acquisiscono quindi i dati energetici dai contatori generali di stabilimento e, qualora non siano disponibili misure a mezzo di contatori dedicati, per la prima diagnosi, il calcolo dei dati energetici di ciascuna unità funzionale viene ricavato dai dati disponibili...". Nell'Allegato II dello stesso documento si prevede: "Una volta definito l'insieme delle aree funzionali e determinato il peso energetico di ognuna di esse a mezzo di valutazioni progettuali e strumentali, si dovrà definire l'implementazione del piano di monitoraggio permanente in modo sia da tener sotto controllo continuo i dati significativi del contesto aziendale, che per acquisire informazioni utili al processo gestionale e dare il giusto peso energetico allo specifico prodotto realizzato o al servizio erogato." In tale modo si intende che nelle diagnosi successive alla prima per le aree funzionali devono esserci contatori dedicati, ovvero non tanto un sistema di monitoraggio completo ad esse dedicate ma una "strategia di monitoraggio" che, attraverso un'opportuna copertura di sistemi di strumentazione, di controllo e di gestione, faccia in modo che i parametri energetici ad esse relativi possano avere un'affidabilità crescente con la progressiva implementazione di detti sistemi.

Per facilitarne la rendicontazione e la conversione in tep dei differenti vettori energetici ENEA mette a disposizione sia la Linea guida [4] dove sono indicati i coefficienti di trasformazione che differenti tool, tra cui il foglio excel chiamato foglio "F" specifico per il settore del vetro disponibile sul sito ENEA.

Consumo anno di riferimento (tep/anno)		Attività Principali	Servizi Ausiliari	Servizi Generali
> 10.000		85%	50%	20%
8.900	10.000	80%	45%	20%
7.800	8.899	75%	40%	20%
6.700	7.799	70%	35%	20%
5.600	6.699	65%	30%	20%
4.500	5.599	60%	25%	10%
3.400	4.499	55%	20%	10%
2.300	3.399	50%	15%	10%
1.200	2.299	45%	10%	5%
100	1.199	40%	5%	5%

Tabella I - Soglie percentuali di copertura dei piani di misurazione e/o monitoraggio nel settore industriale

In ottemperanza a quanto richiesto dalla normativa cogente e successivamente sulla base di quanto riportato nel documento ENEA “*Diagnosi Energetiche art. 8 del D.Lgs. 102/2014 - Linee Guida e Manuale Operativo: Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio*” [4] le aziende che presentano consumi superiori ai 10.000 tep annui, come schematizzato nella *Tabella 1* devono garantire un livello di copertura tramite misurazioni pari ad almeno l’85% per le attività principali, il 50% per i servizi ausiliari e il 20% per i servizi generali.

Il soddisfacimento dei criteri minimi relativi alla copertura del sistema di monitoraggio delle differenti aree funzionali può essere raggiunto attraverso differenti approcci:

- ✓ *attraverso l'utilizzo di misuratori continui in linea operativi per tutto l'anno;*
- ✓ *attraverso misuratori continui o misure spot, effettuate con campagne di misura “ad-hoc” per periodi inferiori all'anno purché queste ultime si siano sviluppate in modo da tenere in considerazione la variabilità intrinseca delle grandezze misurate (stagionalità ambientale e della produzione).*

Le campagne di misurazione possono essere effettuate nel caso dei consumi di energia elettrica grazie a strumentazioni portatili “*clamp on*”, come per es. le pinze amperometriche, mentre risultano di ben più problematica realizzazione nel caso dei flussi di combustibile. In questo caso, infatti, le strumentazioni portatili da applicare all'esterno delle tubazioni per rivelare le portate istantanee di fluido sono caratterizzate da un livello di affidabilità non sempre adeguato, specialmente nel caso del gas naturale.

Indipendentemente dalla tipologia di vettore, la definizione di un protocollo di monitoraggio discontinuo deve essere fatta in funzione delle variabilità del consumo dello stesso nel tempo e dell'entità di tale variazione. Per quanto riguarda i consumi elettrici, sono state individuati 2 principali gruppi di cause di variabilità, uno di origine ordinaria e uno straordinaria.

Tra le cause ordinarie si collocano, a titolo di esempio:

- **Cause produttive:** stagionalità dei volumi produttivi in ragione delle richieste di mercato; frequenza delle operazioni di cambio formato/ cambio stampi legata alla domanda o alla specificità produttiva e/o settore di appartenenza;

- **Cause ambientali:** periodicità giorno/notte, che per es. influenza le temperature di ingresso dell'aria comburente o dell'aria di raffreddamento per stampi e/o altre sezioni delle macchine di formatura; periodicità inverno/estate sulle temperature dell'aria in ingresso ai compressori e al forno fusorio, o anche sul livello di umidità della miscela vetrificabile in ingresso al forno (che aumenta i consumi di fusione).

Tra le cause straordinarie invece si collocano le fermate per manutenzione a freddo o per incidente sulla linea (guasto macchinari, perdite di vetro dal forno, ecc), le operazioni di *hot-repair*, lo *shut down* e *start up* di forni e linee produttive, ecc, che vanno tenute in debita considerazione nelle operazioni di contabilizzazione.

Per alcuni sub-settori dell'industria vetraria, come la produzione di vetro piano (processo *float*) o, in misura minore, di vetro cavo per imballaggi, è stato osservato che i volumi e le tipologie di articoli prodotti, e quindi i consumi energetici in senso lato, hanno un certo livello di stabilità nell'arco dell'anno, per cui le più rilevanti fonti di variabilità risultano quelle ambientali e straordinarie.

Per altri sub-settori, come per es. la profumeria o il vetro casalingo, la vasta gamma di forme e dimensioni degli articoli producibili e le fluttuazioni stagionali nella domanda del mercato rendono piuttosto variabile la stessa produzione industriale, e quindi anche i consumi ad essa associati.

Per garantire una fotografia il più possibile rappresentativa della variabilità dei consumi energetici delle aree funzionali sprovviste di monitoraggio in linea è pertanto necessario che le rilevazioni siano non solo caratterizzate da adeguata frequenza, ma anche in alcuni casi estese su un periodo di tempo di idonea durata.

Laddove sia presente una variabilità ambientale stagionale rilevante, per es. tra estate e inverno, o tra stagione piovosa e stagione asciutta (es. essiccatoio sabbia in presenza di parco minerali all'aperto, sala compressori, ventilatori di combustione o di raffreddamento, centrale termica, ecc), è necessario prevedere che le campagne di misurazioni sperimentali coprano con adeguata frequenza sia periodi invernali che estivi.

Laddove in aggiunta alla stagionalità sia presente una rilevante variabilità giornaliera dei consumi (es. ventilatori di raffreddamento stampi macchine IS,

climatizzazione), con massimi e minimi che differiscono in modo significativo, è necessario effettuare le operazioni di rilevamento previste dalle campagne di misura sia in corrispondenza ai picchi massimi che ai minimi di consumo, per es. effettuando letture sia durante la notte (T_{amb} minima) che nel pieno del pomeriggio (T_{amb} massima).

In presenza di aree funzionali o macchinari a **funzionamento discontinuo**, le operazioni di misura dovranno essere effettuate in corrispondenza a momenti di attività dello stesso, e per il computo dei consumi annuali di competenza sarà necessario disporre di un sistema di **misurazione dei tempi di effettivo funzionamento** del sistema.

Nella Tabella 2 si riportano a titolo di esempio le principali aree funzionali e sotto sistemi comuni al processo produttivo della maggior parte dei settori dell'industria vetraria, ciascuno associato ai livelli di variabilità che tipicamente lo caratterizzano.

Tabella 2 – Tipologia di variabilità da prendere in considerazione nelle misure a “spot” in funzione della tipologia di sistema che si intende monitorare.

Sotto-sistema	Variabilità con i volumi produttivi	Variabilità estate/inverno	Variabilità giorno / notte
Composizione			
Sollevatori	x		
Nastri	x		
Bilance	x		
Frantoio rottame	x		
Fusione			
Boosting elettrico	x		
Formatura			
Canali / feeder	x		
Macchine di formatura	x		
Hot end coating	x		
Tunnel di ricottura e tin bath	x		
Cold end e quality control	x		
Imballaggio e stoccaggio	x		

Sotto-sistema	Variabilità con i volumi produttivi	Variabilità estate/inverno	Variabilità giorno / notte
Servizi Ausiliari			
Compressori d'aria	x	x	x
Ventilatori di raffreddamento macchine di formatura (cavo)	x	x	x
Ventilatori di raffreddamento forno fusorio	x	x	x
Chiller acque di cooling forno	x	x	
Preriscaldamento stampi (cavo)	x		
Ventilatore di combustione	x	x	x
Impianto filtrazione fumi	x		
Servizi Generali			
Centrali termiche		x	x
Climatizzazione		x	x
Illuminazione		x	x
Gruppi elettrogeni			

Per l'esecuzione delle campagne di misurazione mediante rilievi discontinui con strumentazioni “*clamp-on*” è necessario pertanto che ogni azienda definisca un adeguato protocollo di monitoraggio in relazione al proprio ciclo produttivo.

A titolo di esempio si riporta di seguito una linea guida per la stesura del protocollo di monitoraggio.

5.1 Linea guida per la stesura del protocollo di monitoraggio

Assovetro con il supporto del Stazione sperimentale ha concordato con ENEA una linea guida per la stesura di un protocollo di monitoraggio energetico, che abbia il duplice scopo di rispondere a quanto previsto dalla normativa cogente e dalle Linee Guida ENEA [4], [5], ma anche e soprattutto che permetta un'analisi dei consumi energetici che sia efficace ed efficiente rispondendo alle peculiarità del settore del vetro.

Pertanto si suggerisce di seguire i seguenti accorgimenti nella stesura del

protocollo di monitoraggio:

- Dare tempestivamente inizio alle campagne di misurazione già nel periodo estivo (possibilmente da luglio), in special modo per i sotto-sistemi caratterizzati da variabilità stagionale dei consumi energetici, così da poter disporre di un numero adeguato di dati misurati anche per il periodo caldo dell'anno.
- Per i sotto-sistemi i cui consumi specifici non manifestano rilevante variabilità stagionale o giornaliera (vedasi tabella 2), iniziare con 2 misurazioni a settimana a orari prefissati per il primo mese di campagna; se i dati sperimentali così acquisiti risultano avere oscillazioni inferiori a $\pm 30\%$ rispetto al valor medio, ridurre la periodicità di misura a 1 volta a settimana per i successivi 2 mesi; se i nuovi risultati “settimanali” rimangono entro l'intervallo del $\pm 30\%$, continuare ad effettuare misurazioni regolarmente 1 volta ogni mese. Qualora in qualsiasi momento si riscontrino valori che escono dal summenzionato intervallo di “stabilità” dei consumi, monitorabile attraverso una carta di controllo, ritornare al livello di periodicità precedente per un mese, e poi ripetere la verifica.
- Per i sotto-sistemi i cui consumi specifici manifestano rilevante variabilità stagionale (vedasi tabella sopra), ma non giornaliera, iniziare con 2 misurazioni a settimana a orari prefissati per il primo mese di campagna; se i dati sperimentali così acquisiti risultano avere oscillazioni inferiori a $\pm 30\%$ rispetto al valor medio, ridurre la periodicità di misura a 1 volta alla settimana per i mesi successivi. In corrispondenza all'avvicinarsi della stagione fredda, e.g. a novembre, riprendere con le misurazioni 2 volte la settimana per almeno un mese. Qualora in qualsiasi momento si riscontrino valori che escono dal summenzionato intervallo di “stabilità” dei consumi, ritornare al livello di periodicità precedente per un mese, e poi ripetere la verifica.
- Per i sotto-sistemi i cui consumi specifici manifestano rilevante variabilità giornaliera, oltre che stagionale, iniziare la prima settimana di campagna con 2 misurazioni al giorno, effettuate a orari prefissati una durante la notte e una durante il giorno; se i dati sperimentali così acquisiti (confrontati separatamente tra notte e giorno) risultano avere oscillazioni inferiori a $\pm 30\%$ rispetto al valor medio, ridurre la periodicità di misura a 2 volte alla settimana

- (sempre notte + giorno) per il resto del primo mese. Se i nuovi risultati “bi-settimanali” rimangono entro l'intervallo del $\pm 30\%$, continuare ad effettuare misurazioni 1 volta alla settimana (notte+giorno) per i mesi successivi. In corrispondenza all'avvicinarsi della stagione fredda (ad es. a novembre), riprendere con le misurazioni 2 volte la settimana. Prevedere all'inizio del mese di dicembre almeno una settimana di misurazioni giornaliere (notte + giorno). Qualora in qualsiasi momento si riscontrino valori che escono dal summenzionato intervallo di “stabilità”, ritornare al livello di periodicità precedente per un mese, e poi ripetere la verifica.
- La campagna di misurazioni dovrà coprire adeguatamente sia il periodo caldo che quello freddo dell'anno. Per valutare la differenza dei consumi legata alla stagionalità e in particolare alla temperatura dell'aria è possibile un approccio ingegneristico.

I dati sperimentali di consumo così raccolti in modo discontinuo, ciascuno associato al proprio cavato e tipologia di prodotto, verranno elaborati per ottenere un valore di consumo specifico medio giornaliero di riferimento, a seconda dei casi da ritenersi valido a livello annuale, oppure per un determinato mese, o una determinata stagione (invernale o estiva); grazie alla frequenza delle misurazioni consigliate e alla conoscenza dei livelli produttivi giornalieri, sarà possibile ricostruire a posteriori in modo affidabile i livelli di consumo complessivo lungo tutto l'arco del periodo coperto da campagna di misura, e da qui estrapolarli, se necessario, all'anno intero.

5.2 Rendicontazione dei consumi energetici

Per la rendicontazione dei consumi energetici è necessario attenersi alla suddivisione sia per differenti vettori energetici che differenti aree funzionali e processi come illustrato nelle Linee Guida ENEA [4] (Figura 5). Inoltre, ENEA in accordo con Assovetro ha sviluppato appositi strumenti, come ad esempio un foglio di calcolo, per facilitare ed uniformare la metodologia di rendicontazione dei consumi energetici del sito produttivo.

La rendicontazione dei consumi si struttura su diversi livelli (Figura 5) [4]:

- Livello A: dove devono essere riportate le informazioni principali del sito

oggetto di analisi quali:

- Dati identificativi dello stabilimento e della diagnosi (es.: P.IVA, località, settore merceologico a sei cifre, periodo di riferimento, etc.)
 - Produzione annua;
 - Vettori energetici in ingresso allo stabilimento nell'anno di riferimento, come da fatture di acquisto o contatori fiscali.
- Livello A1: trasformazioni di energia o energia autoprodotta. In questo livello debbono essere inseriti sia riferimenti a sistemi di autoproduzione di energia (ad esempio: impianti fotovoltaici ed eolici, che le trasformazioni dei vettori acquistati (ad esempio: la cogenerazione che trasforma il gas naturale in ingresso in energia elettrica e calore).
 - Livello B: qui vanno riportati i valori del consumo energetico, suddiviso per ciascun vettore energetico, effettivamente imputabili al sito produttivo. Si differenziano dal livello A nel caso vi siano sistemi di autoproduzione o trasformazione dell'energia (es. Cogenerazione).
 - Livello C: prevede la suddivisione dei consumi energetici per vettore e per area funzionale (Attività Principali, Servizi Ausiliari, Servizi Generali).
 - Livello D: riporta il dettaglio di come il consumo energetico si suddivide nelle "fasi principali del processo". Ad esempio qui per la produzione di vetro, nelle attività principali dovranno essere riportati sia i consumi della fase di preparazione, di quella di fusione, etc etc.. che i relativi output (es. vetro cavato).

Nota metodologica: laddove a valle del forno fusorio siano presenti più linee di produzione dello stesso prodotto, è necessario distinguere i consumi e la destinazione d'uso (i.e. il quantitativo di vetro lavorato) per ciascuna di esse (sono ammesse stime).

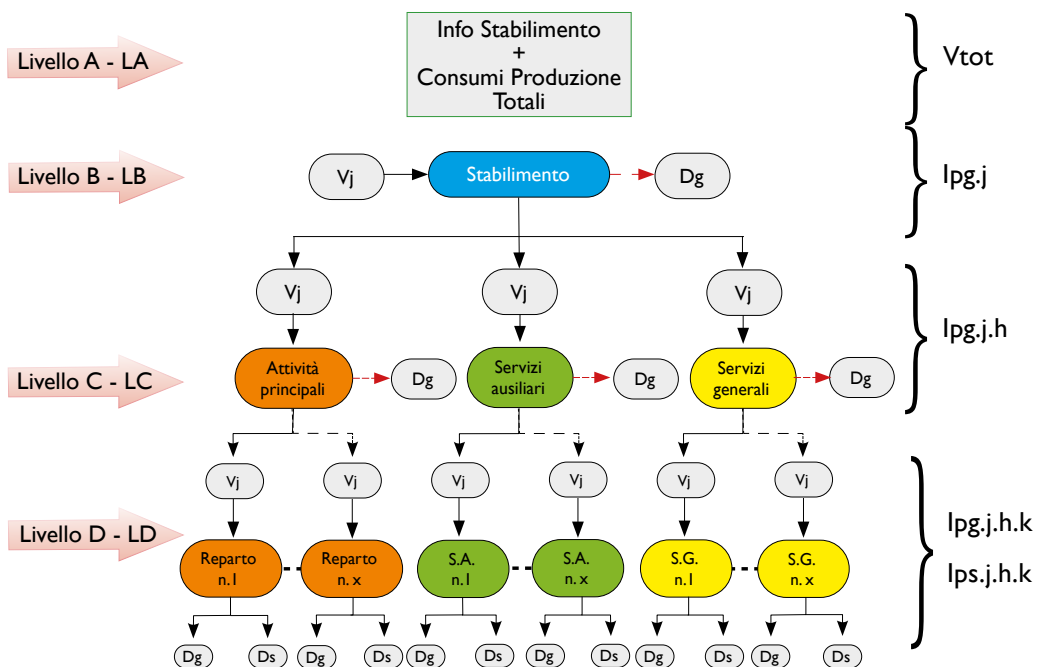
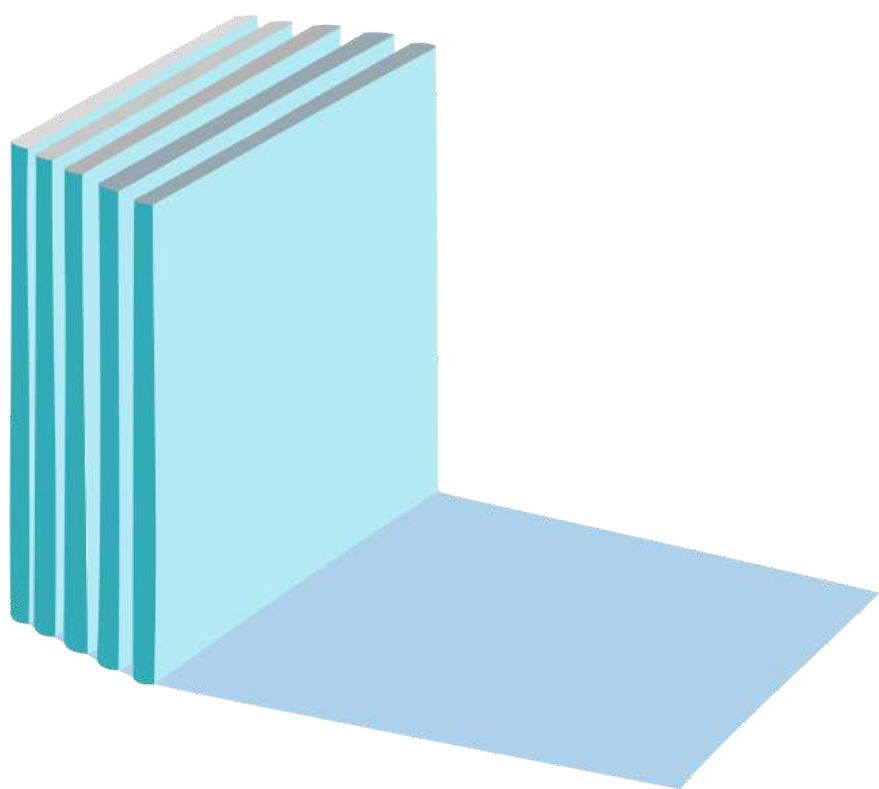


Figura 5 - Schematizzazione della struttura energetica aziendale

Come riportato sulle Linee Guida ENEA [4] è possibile trascurare nei livelli B, C e D i vettori energetici utilizzati in stabilimento che abbiano un'incidenza inferiore al 5% sui consumi globali. Tra questi ad esempio il gasolio per autotrazione l'acetilene, ecc, i quali dovranno comunque essere sempre riportati almeno nel Livello A.





6. VETRO PIANO O VETRO FLOAT

(CODICE ATECO 23.11.00 E 23.12.00)

6

6. Vetro Piano o vetro Float (codice Ateco 23.11.00 e 23.12.00)

In questo paragrafo viene definita la struttura energetica che dovrebbe essere presa in considerazione nel momento in cui si affronta la diagnosi energetica in stabilimenti produttivi relativi alla produzione e lavorazione del vetro piano.

Benché le aziende riconducibili al vetro piano possono appartenere a due sotto gruppi merceologici differenti:

- Sottogruppo Ateco 23.11.00 produzione di vetro piano;
- Sottogruppo Ateco 23.12.00 lavorazione di vetro piano.

La filiera può essere considerata come un unico processo produttivo che va dalla produzione del vetro alla sua successiva lavorazione. In quest'ottica è stata realizzata la struttura energetica qui proposta. Chi poi affronterà la diagnosi energetica non dovrà far altro che eliminare le parti di processo che non appartengono al sito produttivo.

6.1 Struttura Energetica vetro piano

La struttura energetica all'interno dell'industria del vetro piano risulta abbastanza omogenea e standardizzabile (Figura 6). Alcune differenze possono esistere soprattutto sulle seconde lavorazioni con riferimento al settore commerciale di indirizzo (building o automotive) o alla tipologia di articolo prodotto (laminato, temprato, ecc.).

Nel processo di produzione di vetro piano gli usi energetici significativi sono (Figura 6):

- la fusione e la formatura del vetro (prime lavorazioni);
- la tempra, la stratificazione e la curvatura (seconde lavorazioni);
- incapsulaggio, estrusione termoplastica e *add on* (terze lavorazioni);
- in misura minore, ma comunque non trascurabile, la produzione di aria compressa (quando non fornita da parti terze) per la movimentazione dei macchinari (trasferitori aerei, *handling*, presse...) e la produzione del vuoto (con i sistemi a effetto Venturi) quando non prodotto direttamente dalle pompe.

Dal diagramma di *Figura 7* risulta evidente quanto l'energia elettrica ed il gas naturale (o in alternativa l'olio combustibile) siano importanti, poiché intervengono, praticamente, in quasi tutte le principali fasi produttive.

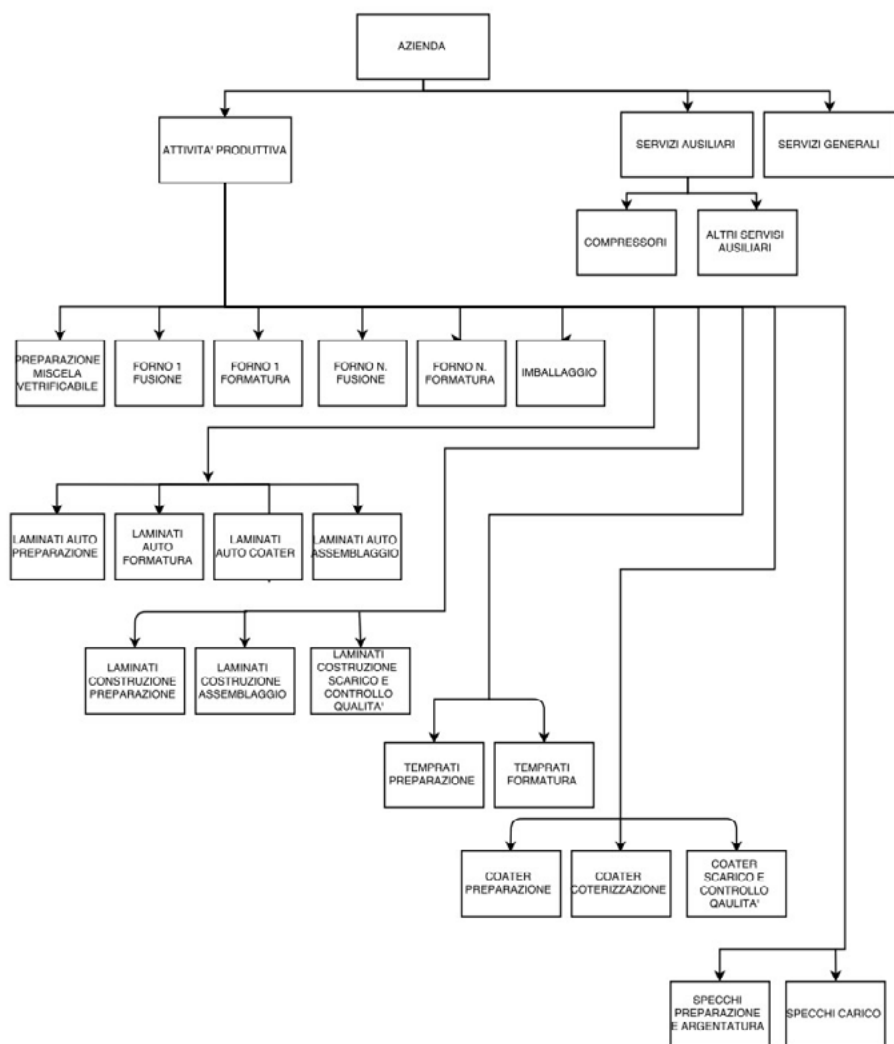


Figura 6 – Diagramma di flusso nel processo di produzione del vetro piano

Per quanto riguarda gli altri processi (es.: l'imballaggio, i servizi ausiliari diversi dall'aria compressa, alcune delle aree funzionali afferenti alle seconde lavorazioni, i servizi generali, etc) presentano spesso consumi energetici trascurabili e comunque inferiori al 5% del consumo energetico totale. Analogamente possono essere trascurati i consumi energetici legati a vettori secondari quali l'acetilene, i gas tecnici, vapore, acqua calda, il gpl e il gasolio.

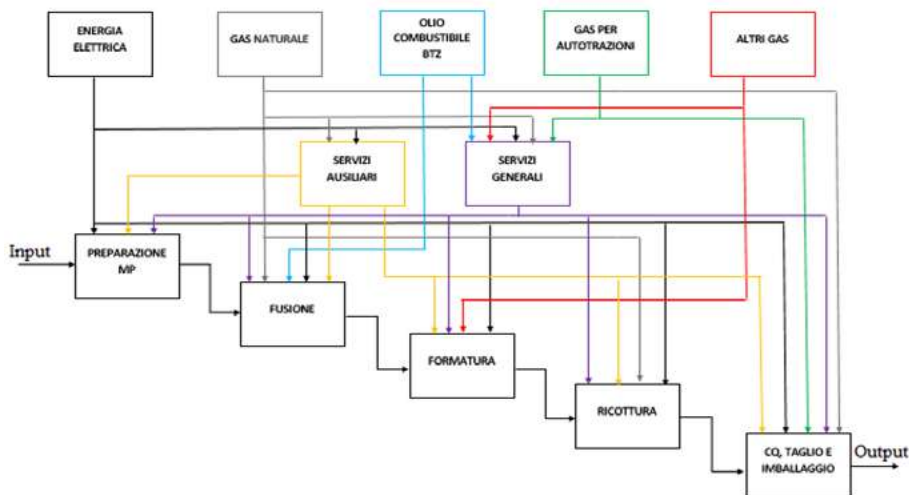


Figura 7 – Ripartizione dei vettori energetici nella produzione di vetro piano

Dettagliando le fasi principali della struttura energetica possiamo trovare:

A. ATTIVITÀ PRINCIPALI:

I. Preparazione miscela vetrificabile:

- ✓ ambito: dal carico delle materie prime;
- ✓ infornaggio, compreso rottame [sollevatori, nastri trasportatori, bilance, impianto trasporto e recupero rottame interno, ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame).

II. Forno n-esimo: Fusione

- ✓ ambito: dall'infornaggio all'uscita del bacino del forno [elettrodi; bruciatori metano o olio combustibile BTZ];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio combustibile BTZ;
- ✓ consumo energetico previsto: >20% tep (stima nel caso di forno singolo da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il

consumo energetico normalizzato al 50% di rottame); nel caso di fusione ad ossicombustione si deve dichiarare anche il consumo di ossigeno al fine di ottenere un quadro comparabile tra combustione tradizionale e ossicombustione.

III. Forno n-esimo: Formatura

- ✓ ambito: dall'uscita della colata all'uscita del tunnel di ricottura [bagno stagno; solforazione; raffreddamenti; forno di ricottura; ecc.];
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica, metano, idrogeno;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (escluso i FEEDERS e non normalizzato).

IV. Imballaggio

- ✓ ambito: dall'uscita della formatura al magazzino, compreso trasporto e movimentazione [controllo qualità; nastri; termo retrazione; taglio; mezzi per movimentazione di proprietà, ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gasolio per autotrazione;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro buono.

V. Laminati Auto: Preparazione

- ✓ ambito: preparazione vetro alle successive fasi di formatura [CBG (*Cut, Break, Grind*), lavaggio, serigrafia, ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico : energia elettrica, metano, acqua calda e vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro.

VI. Laminati Auto: Formatura

- ✓ ambito: curvatura vetri [carico, forni di curvatura];
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica, metano;

- ✓ consumo energetico previsto: >5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro.

VII. Laminati Auto: Coater

- ✓ ambito: coatizzazione;
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro.

VIII. Laminati Auto: Assemblaggio

- ✓ ambito: assemblaggio [camere bianche, deaerazione cristallini nei forni a borse/mangani e autoclavi];
- ✓ possibile fonte energetica : energia elettrica, metano, vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro laminato.

IX. Laminati Costruzione: Preparazione

- ✓ ambito: preparazione vetro alle successive fasi di trasformazione [Scarico del prodotto di base, lavaggio, trasporto in camera di assemblaggio];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, acqua calda e vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro accoppiato uscito dopo lo scarico.

X. Laminati Costruzione: Assemblaggio

- ✓ ambito: assemblaggio [assemblaggio in camere bianche, sistema di raffreddamento camera bianca, deaerazione cristallini nei forni a mangani e processo di autoclave compreso produzione vapore per

autoclave];

- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica, metano, vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro accoppiato uscito dopo lo scarico.

XI. Laminati Costruzione: Scarico e Controllo Qualità

- ✓ ambito: assemblaggio [Trasporto sulla linea di scarico, scarico, del vetro, controllo qualità, carico del vetro];
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica, metano, vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: : >5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro accoppiato uscito dopo lo scarico.

XII. Temperati: Preparazione

- ✓ ambito: preparazione vetro alle successive fasi di formatura [CBG (Cut, Break, Grind), lavaggio, serigrafia];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, acqua calda e vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro.

XIII. Temperati: Formatura

- ✓ ambito: curvatura vetri [carico, forni di tempera];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro.

XIV. Specchi: Preparazione e Argentatura

- ✓ ambito: preparazione vetro alle successive fasi di trasformazione [Scarico del prodotto di base, lavaggio, preparazione chimica della

superficie deposizione dell'argento, verniciatura argento, cottura della vernice];

- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, acqua calda e vapore;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro argentato.

XV. Specchi: Carico

- ✓ ambito: assemblaggio [CBG, Carico e movimentazione a magazzino];
- ✓ possibile fonte energetica : energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro argentato.

XVI. Coater: Preparazione

- ✓ ambito: preparazione vetro alle successive fasi di trasformazione [Scarico del prodotto di base, lavaggio, asciugatura e trasporto in camera di coaterizzazione];
- ✓ possibile vettore energetico : energia elettrica, acqua calda;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro coterizzato.

XVII. Coater: Coterizzazione

- ✓ ambito: Coater [Energia del tunnel di coterizzazione, compreso gli ausiliari del solo processo di coterizzazione];
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro coterizzato.

XVIII. Coater: Scarico e Controllo Qualità

- ✓ ambito: assemblaggio [Controllo qualità e carico del vetro];
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica;

- ✓ consumo energetico previsto: <5% (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro cotizzata.

B. SERVIZI AUSILIARI

I. IMPIANTO ARIA COMPRESSA

- ✓ ambito: compressori produzione aria compressa;
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro (inteso come somma di tutto il vetro prodotto; float, stratifica, argentatura, coater, dalle linee + vetro esterno acquistato e lavorato in stabilimento; è escluso il vetro comprato e rivenduto direttamente).

II. ALTRI SERVIZI AUSILIARI

- ✓ ambito: impianto acque di raffreddamento e di lavaggio vetri dal prelievo dell'acqua al trattamento finale e riciclo; impianto filtrazione emissioni in atmosfera, compreso ventilatore; raffreddamenti; aria comburente, ecc.
- ✓ possibile fonte energetica: energia elettrica, metano;
- ✓ consumo energetico previsto: < 5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: superficie vetro (inteso come somma di tutto il vetro prodotto; float, stratifica, argentatura, coater, dalle linee + vetro esterno acquistato e lavorato in stabilimento; è escluso il vetro comprato e rivenduto direttamente).

C. SERVIZI GENERALI

III. SERVIZI GENERALI

- ✓ ambito: centrali termiche ; condizionamento; illuminazione, gruppo elettrogeno, ecc.
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio BTZ,

- carburanti per autotrazione, ecc.
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
 - ✓ destinazione d'uso: superficie vetro (inteso come somma di tutto il vetro prodotto; *float*, stratifica, argentatura, *coater*, dalle linee + vetro esterno acquistato e lavorato in stabilimento; è escluso il vetro comprato e rivenduto direttamente).

6.2 Analisi dei consumi energetici

Per analizzare i consumi energetici di un qualsivoglia stabilimento produttivo è necessario che questi vengano normalizzati con i fattori di aggiustamento o “*driver di consumo*” corretti in modo tale da individuare degli Indici di Prestazione Energetica che siano realmente rappresentativi e confrontabili.

Questi “*driver di consumo*” possono essere differenti in funzione del livello energetico ed in funzione dello specifico processo che si va ad analizzare.

In particolare, è possibile individuare i seguenti parametri correttivi o “*driver di consumo*” per i differenti Livelli della struttura energetica proposta da ENEA:

- Livelli A, B e C, quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno).
- Livello D – Attività Principale: Preparazione e fusione quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno). In particolare:
 - Formatura quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno);
 - Altre lavorazioni (seconde e terze lavorazioni) quantità di vetro trattato (tonnellate/anno) in alternativa, ma fortemente sconsigliato superficie di vetro lavorata ($m^2/anno$);
 - Imballaggio quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di vetro imballato (tonnellate/anno).
- Livello D – Servizi ausiliari: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) o quantità di vetro lavorato (tonnellate/anno) e se disponibile quantità di aria compressa prodotta ed utilizzata ($Nm^3/anno$).
- Livello D – Servizi generali: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e superficie locali climatizzati.

Per la determinazione degli Indici di Prestazione Energetica Specifici (IPS) per la fase di preparazione della miscela vetrificabile e di fusione, come anche indicato nelle BAT di settore [3], bisogna ricondursi ad un consumo energetico normalizzato al 50% di rottame. Questa normalizzazione permette un confronto prestazionale oggettivo tra le diverse realtà produttive, non influenzato da componenti esterne quali la quantità di rottame introdotto nel forno. La riduzione del consumo energetico legato all'aumento dell'uso del rottame non è infatti legata alle prestazioni della macchina, ma alla possibilità di approvvigionamento di rottame di qualità e alla qualità di vetro prodotto.

Nel calcolo dell'Indice Prestazionale Specifico (IPS) relativo al livello LD della struttura energetica proposta da ENEA deve essere applicata la seguente formula:

$$IPE50\% = \frac{\frac{\text{Consumo energetico totale}}{1 + \frac{(50 - \text{percentuale rottame\%}) \cdot 0,025}{10}}}{\text{Cavato}}$$

6.3 Risultanze delle diagnosi energetiche ripartizione dei consumi ed indici di prestazione energetica

Come evidenziato precedentemente i codici Ateco che riguardano la produzione e lavorazione del vetro piano sono rispettivamente il 23.11.00 ed il 23.12.00. I siti che hanno presentato la diagnosi energetica afferenti alla produzione e lavorazione di vetro piano sono circa il 44% del totale dei siti riconducibili alla produzione del vetro. Bisogna però evidenziare come nel panorama italiano [1], i siti che producono vetro float sono meno del 10% dei siti che lavorano il vetro piano.

6.3.1 Codice Ateco 23.11.00 “Fabbricazione del vetro piano”

Per quanto riguarda il codice Ateco 23.11.00 “Fabbricazione del vetro piano” l’analisi delle diagnosi ha evidenziato come i consumi energetici legati al processo produttivo del vetro piano abbiano una netta prevalenza nell’utilizzo del calore. In particolare, nel diagramma riportato in *Figura 8*, è possibile osservare come l’energia termica richiesta abbia un’incidenza del 91% rispetto ai consumi totali ed il rimanente 9% è imputato al consumo di energia elettrica. Andando ad analizzare la suddivisione dei consumi energetici per le differenti aree funzionali (*Figura 9*), è possibile osservare come circa il 94% del consumo totale di energia è imputabile alle attività principali, il restante 6% risulta imputabile ai servizi ausiliari per il 4% ed ai servizi generali per il 2%.

Codice Ateco 23.11.00: Incidenza dei vettori energetici

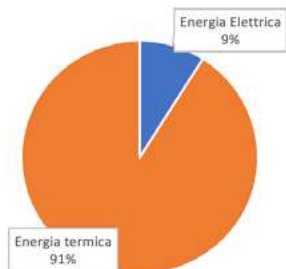


Figura 8 – Codice Ateco 23.11.00: Incidenza dei vettori energetici

Ripartizione consumi energetici totali

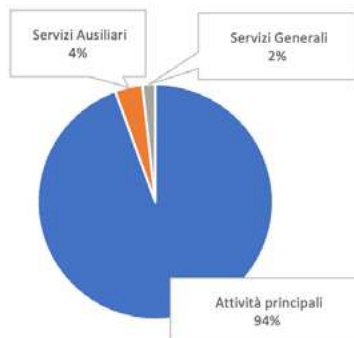


Figura 9 - Codice Ateco 23.11.00: Ripartizione dei consumi energetici tra le aree funzionali

Di questi, come evidenziano i diagrammi riportati in *Figura 10*, le attività principali sono caratterizzate da una netta prevalenza (circa il 95% del consumo totale dell'attività principale) del consumo termico (GN o Olio combustibile) e al contrario i servizi ausiliari presentano una predominanza del consumo elettrico (88% del consumo totale dei servizi ausiliari) rispetto al consumo termico.

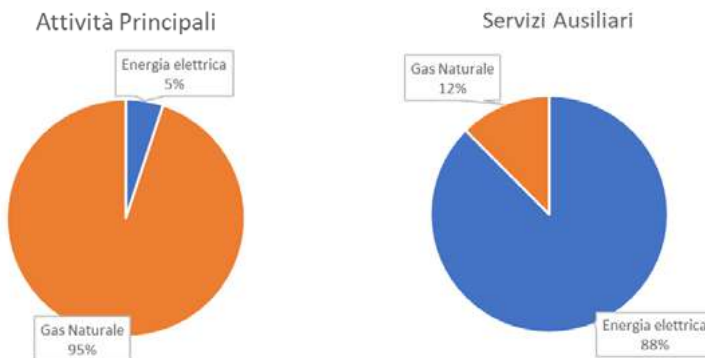


Figura 10 - Codice ATECO 23.11.00: Incidenza dei vettori energetici nelle attività principali e sui servizi ausiliari

Benchè per il codice Ateco 23.11.00 il numero delle diagnosi energetiche presenti nella banca dati ENEA fosse esiguo è stato possibile determinare con buona affidabilità degli indici di prestazione energetica di primo livello (*Tabella 3*).

Gli indici individuati di prestazione energetica individuati debbono considerarsi riferiti ai consumi finali di energia e non a consumi primari.

Tabella 3 – Sottogruppo Ateco 23.11.00 – Indici di primo livello: Globale, Elettrico e Termico

23.11.00: IPE Globale				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
170.000	250.000	7.039 ± 367	5,2 %	ALTA
23.11.00: IPE Elettrico				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
170.000	250.000	592 ± 186	31,4 %	MEDIA
23.11.00: IPE Termico				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
170.000	250.000	6.445 ± 370	5,7%	ALTA

Osservazione sul campione statistico: il campione dati è limitato, tuttavia l'analisi dati delle diagnosi relative alla produzione di vetro piano ha permesso di determinare degli indici di prestazione energetici caratteristici con una buona affidabilità nel campo di esistenza riportato.

Si fa però presente che i siti produttivi presentano produzioni di due tipologie differenti, intesi per usi e mercati differenti. Ciascuna produzione potrebbe risentire di specializzazioni produttive che potrebbero rendere l'analisi poco significativa in termini di media per tutto il codice merceologico che si intende rappresentare.

Analizzando nel dettaglio le diagnosi energetiche afferenti al codice Ateco 23.11.00 è stato possibile isolare il consumo energetico afferente alla fase di fusione, è stato quindi individuato un indice di prestazione energetico della fase di fusione relativo ai forni "Side Port". Anche in questo caso l'indice di prestazione energetico individuato deve essere considerato come un indice relativo ai consumi finali di energia e non consumi primari (Tabella 4).

23.11.00: IPE globale medio forni Side Port				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t/g	t/g	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
480	660	6.320 ± 620	10,2 %	ALTA

Tabella 4 - Sottogruppo Ateco 23.11.00 – Indice globale di secondo livello:
fase di fusione - forni side-port

6.3.2 Codice Ateco 23.12.00 “Lavorazione e trasformazione del vetro piano”

L'analisi delle diagnosi energetiche del sottogruppo Ateco 23.12.00 “Lavorazione e trasformazione del vetro piano” ha evidenziato una forte eterogeneità sia nei prodotti che nei processi. Tale eterogeneità viene evidenziata anche dall'utilizzo, nella rappresentazione della produzione, di differenti unità di misura. Le 45 diagnosi energetiche pervenute sono state pertanto così suddivise:

- 28 diagnosi energetiche con produzione espressa in metri quadri [m²];
- 8 diagnosi energetiche con produzione espressa in massa [t];
- 4 diagnosi energetiche con produzione espressa in numero di pezzi [pz];
- 2 diagnosi energetiche con produzione espressa in volume [m³];
- 3 diagnosi energetiche con produzioni espresse in ore lavorate [h].

L'analisi si è pertanto concentrata sui primi due gruppi di diagnosi energetiche e cioè quelle con produzione espressa in metri quadri ed in massa. Il sottogruppo Ateco 23.12.00 è caratterizzato principalmente da seconde o terze lavorazioni. Tale peculiarità comporta una netta predominanza del consumo di energia elettrica rispetto a quella termica. Nel grafico di *Figura 11* è possibile osservare come il consumo elettrico incida per circa l'80% sui consumi totali e solo il restante 20% è relativo ad un consumo termico. In *Figura 12* è riportata la ripartizione dei consumi termici ed elettrici nelle diverse aree funzionali, in particolare il consumo elettrico è concentrato principalmente sulle attività principali con un'incidenza di circa il 78% e sui servizi ausiliari con un'incidenza del 16% con solo un 6% del consumo elettrico imputabile ai servizi generali. Situazione completamente diversa per il consumo termico dove risulta essere concentrato in egual maniera, con un'incidenza del 45% sia sulle attività principali che sui servizi generali, mentre i servizi ausiliari presentano solamente una quota di consumo termico pari al 10%.

Incidenza dei vettori energetici

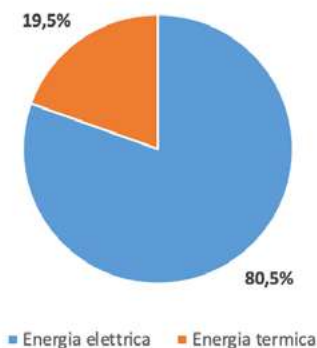


Figura 11 – Codice Ateco 23.12.00: Incidenza dei vettori energetici sul processo di lavorazione del vetro

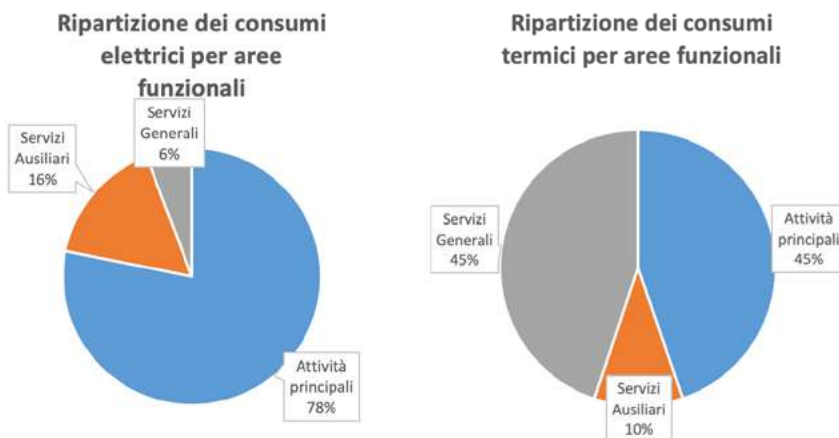


Figura 12 – Codice Ateco 23.12.00: Ripartizione dei consumi elettrici e termici sulle differenti aree funzionali

Per quanto riguarda la determinazione degli indici di prestazione energetica, questi sono stati calcolati sia rispetto alla lavorazione del vetro in tonnellate che in metri quadri.

Causa l'elevata eterogeneità del campione dati non è stato possibile individuare indici di prestazione energetica di secondo livello per il sotto-gruppo Ateco 23.12.00.

6.3.3 Indici di prestazione energetica riferiti alle tonnellate di vetro lavorato

Per quanto riguarda la lavorazione del vetro con produzione espressa in tonnellata è stato possibile ricavare l'indice di prestazione energetica di primo livello, globale, elettrico e termico (Tabella 5).

Gli indici individuati di prestazione energetica individuati debbono considerarsi riferiti ai consumi finali di energia e non a consumi primari.

23.12.00: IPE Globale				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
1.500	7.500	2.367 ± 787	33,2%	MEDIA
23.12.00: IPE Elettrico				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
1.500	7.500	2.414 ± 567	23,5%	MEDIA
23.12.00: IPE Termico				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
1.500	7.500	169 ± 142	84,0%	BASSA

Tabella 5 - Sottogruppo Ateco 23.12.00 – Indici di primo livello per produzioni espresse in tonnellate: Globale, Elettrico e Termico

Osservazione sul campione statistico: il campione dati ricavato risulta essere poco omogeneo in quanto presenta una notevole varietà di seconde e terze lavorazioni che non è stato possibile aggregare ulteriormente.

6.3.4 Indici di prestazione energetica riferiti ai metri quadri di vetro lavorato

Per quanto riguarda la lavorazione del vetro con produzione espressa in metri quadri è stato possibile ricavare l'indice di prestazione energetica di primo livello riferito solo al consumo globale e al consumo elettrico (Tabella 6).

I dati relativi al consumo termico presentano un'elevata eterogeneità non correlata con i livelli di produzione.

Gli indici individuati di prestazione energetica individuati sono riferiti ai consumi finali di energia e non a consumi primari.

23.12.00: IPE Globale				
Campo di variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
m²	m²	MJ/m²	Coeff. di Variazione	Affidabilità
30.000	99.999	127 ± 56	44,1%	MEDIA
100.000	900.000	53 ± 26	49,1%	MEDIA
23.12.00: IPE Elettrico				
Campo di variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
m²	m²	MJ/m²	Coeff. di Variazione	Affidabilità
30.000	290.000	63,2 ± 37,2	58,9%	MEDIA
640.000	890.000	45,9 ± 19,2	41,8%	MEDIA

Tabella 6 - Sottogruppo Ateco 23.12.00 – Indici di primo livello per produzioni espresso in metri quadri: Globale ed Elettrico

Osservazione sul campione statistico: il campione dati ricavato risulta essere poco omogeneo in quanto presenta una notevole varietà di seconde e terze lavorazioni che non è stato possibile aggregare ulteriormente. Inoltre la produzione espressa solamente in metri quadri crea un'ulteriore difficoltà nel rendere omogenei i dati.

Questa elevata eterogeneità del campione dati non ha permesso l'individuazione di un indice di prestazione energetica termico riferito alle produzioni in metri quadri.



VETRO CAVO PER LA
PRODUZIONE DI IMBALLAGGI
ALIMENTARI

(SOTTOGRUPPO ATECO 23.13.00)

7

7. Vetro Cavo per la produzione di imballaggi alimentari (Sottogruppo Ateco 23.13.00)

In questo capitolo viene definita la struttura energetica che dovrebbe essere presa in considerazione nel momento in cui si affronta la diagnosi energetica in stabilimenti produttivi relativi alla produzione di vetro cavo per la produzione di imballaggi alimentari.

7.1 Struttura Energetica vetro cavo

La struttura energetica dell'industria del vetro cavo (Figura 13) risulta abbastanza omogenea e standardizzabile.

I principali consumi energetici derivano dalla fusione e formatura del vetro e, in misura minore, ma comunque significativa, dalla produzione di aria compressa per la movimentazione e funzionamento dei macchinari, in particolare per le macchine di formatura.

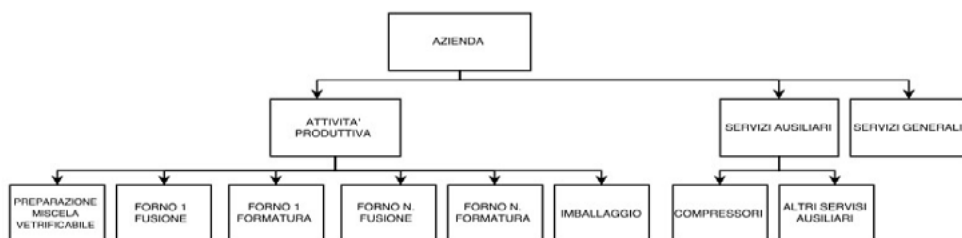


Figura 13 - Diagramma di Flusso nel processo di produzione del vetro cavo

Dettagliando le fasi principali della struttura energetica possiamo trovare:

A. ATTIVITÀ PRINCIPALI

I. Preparazione miscela vetrificabile

- ✓ ambito: dal carico delle materie prime all'infornaggio, compreso rottame [sollevatori, nastri trasportatori, bilance, impianto trasporto e recupero rottame interno, ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, combustibile per autotrazione (marginale);
- ✓ consumo energetico previsto: <5% del totale (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);

- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame).

II. Forno n-esimo: Fusione

- ✓ ambito: dall'infornaggio all'uscita del bacino del forno [elettrodi; bruciatori metano o olio combustibile BTZ];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio combustibile BTZ, ossigeno;
- ✓ consumo energetico previsto: >60% del totale (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame); nel caso di fusione ad ossicombustione si deve contabilizzare anche il consumo di ossigeno acquistato (i.e. non autoprodotta in situ), al fine di ottenere un quadro comparabile tra combustione tradizionale e ossicombustione.

III. Forno n-esimo: Formatura

- ✓ ambito: dall'uscita del bacino del forno all'uscita del forno di ricottura [canali di condizionamento; macchine formatura; scivolatura automatica; bruciatori per riscaldamento trasportatori; trattamento a caldo; forni preriscaldamento stampi; forni di ricottura; trattamento a freddo] possibile vettore energetico: energia elettrica, metano; gas tecnici;
- ✓ consumo energetico previsto: >10% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

IV. Imballaggio

- ✓ ambito: dall'uscita del trattamento a freddo al magazzino, compreso trasporto e movimentazione [controllo qualità; nastri; termo retrazione; mezzi per movimentazione di proprietà; ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gasolio per autotrazione;

- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

B. SERVIZI AUSILIARI

I. Impianto aria compressa

- ✓ ambito: compressori produzione aria compressa;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

II. Altri servizi ausiliari

- ✓ ambito: impianto acque di raffreddamento formatura, dal prelievo al trattamento finale e riciclo; raffreddamenti; aria comburente; impianto filtrazione emissioni in atmosfera, compreso ventilatore; ecc.
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gas tecnici;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

C. SERVIZI GENERALI

- ✓ ambito: centrali termiche; condizionamento; illuminazione, gruppo elettrogeno, ecc.
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio BTZ, carburanti per autotrazione, ecc.
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

La preparazione della miscela vetrificabile, l'imballaggio e i servizi generali risultano tutti generalmente inferiori al 5% del consumo energetico complessivo,

e pertanto non sono stati suddivisi in ulteriori aree funzionali. Allo stesso modo non sono stati “approfonditi” i consumi energetici legati a vettori secondari quali l’acetilene, i gas tecnici, vapore, acqua calda, il gpl e il gasolio, in quanto singolarmente inferiori al 5% del consumo totale di stabilimento.

7.2 I vettori energetici

La tipologia di vettori energetici impiegati nella produzione del vetro cavo dipende dal tipo di azienda e dalle singole scelte di politica energetica adottate: tipicamente si tratta di energia elettrica, metano ed olio combustibile BTZ. Gli altri vettori hanno un peso minore sul consumo energetico complessivo (generalmente marginale, i.e. < 5%), e comprendono principalmente gasolio per autotrazione e per i generatori di emergenza, e gas tecnici (e.g. acetilene per stampi e saldature, ossigeno). In rari casi possono essere presenti anche forniture di energia da fonti esterne, quali vapore e acqua calda.

Nel caso di forni ad ossicombustione in cui l’ossigeno comburente non venga totalmente autoprodotta in situ, il quantitativo di ossigeno acquistato deve essere specificato nella diagnosi, affinché i consumi di energia primaria (tep) associati alla sua generazione possano essere debitamente contabilizzati.

L’autoproduzione di elettricità dai cascami energetici del forno fusorio o mediante altri mezzi (e.g. solare o eolico) risulta al momento sostanzialmente marginale, seppur in progressiva diffusione.

I vettori energetici individuabili all’interno dell’industria del vetro cavo sono pertanto:

1. *Energia elettrica;*
2. *Metano;*
3. *Olio combustibile BTZ;*
4. *Ossigeno per ossicombustione (se acquistato);*
5. *Gasolio per autotrazione;*
6. *Altri (gas tecnici, vapore, acqua calda, ecc.).*

7.3 Analisi dei consumi energetici

Per analizzare i consumi energetici di un qualsivoglia stabilimento produttivo è necessario che questi vengano normalizzati con i fattori di aggiustamento o “driver di consumo” corretti in modo tale da individuare degli Indici di Prestazione Energetica che siano realmente rappresentativi e confrontabili.

Questi “driver di consumo” possono essere differenti in funzione del livello energetico ed in funzione dello specifico processo che si va ad analizzare.

In particolare, è possibile individuare i seguenti parametri correttivi o driver energetici per i differenti Livelli della struttura energetica proposta da ENEA:

- Livelli A, B e C, quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno);
- Livello D – Attività Principale:
 - Preparazione e fusione quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno);
 - Formatura quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno);
 - Imballaggio quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di vetro imballato (tonnellate/anno);
- Livello D – Servizi ausiliari: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) o quantità di vetro lavorato (tonnellate/anno) e se disponibile quantità di aria compressa prodotta ed utilizzata (Nm^3/anno).
- Livello D – Servizi generali: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e superficie locali climatizzati.

Per la determinazione degli Indici di Prestazione Energetica Specifici (IPS) per la fase di preparazione della miscela vetrificabile e di fusione, come anche indicato nelle BAT di settore [3], bisogna ricondursi ad un consumo energetico normalizzato al 50% di rottame. Questa normalizzazione permette un confronto prestazionale oggettivo tra le diverse realtà produttive, non influenzato da componenti esterne quali la quantità di rottame introdotto nel forno. La riduzione del consumo energetico legato all'aumento dell'uso del rottame non è infatti legata alle prestazioni della macchina, ma alla possibilità di approvvigionamento di rottame di qualità e alla qualità di vetro prodotto.

Nel calcolo dell'Indice Prestazionale Specifico (IPS) relativo al livello LD della struttura energetica proposta da ENEA deve essere applicata la seguente formula:

$$IPE50\% = \frac{\frac{\text{Consumo energetico totale}}{1 + \frac{(50 - \text{percentuale rottame\%}) * 0,025}{10}}}{\text{Cavato}}$$

Per tutte le altre aree funzionali si deve considerare come driver di consumo o destinazione d'uso la quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno), ma per il calcolo dell'Indice di Prestazione Specifico i consumi energetici non debbono essere normalizzati al 50% di rottame, in quanto l'energia richiesta da tali aree non è influenzata dalla quantità di rottame utilizzato.

7.4 Risultanze delle diagnosi energetiche: ripartizione consumi ed indici di prestazione energetica

Per quanto riguarda il sotto-gruppo afferente al vetro cavo i siti che hanno presentato la diagnosi energetica sono circa il 34% del totale dei siti riconducibili alla produzione del vetro (*Figura 2*).

7.4.1 Codice Ateco 23.13.00 “Fabbricazione di vetro cavo” - Indici di primo livello

L'analisi delle diagnosi per il codice Ateco 23.13.00 “Fabbricazione di vetro cavo” ha evidenziato una netta prevalenza dell'utilizzo del calore nei consumi energetici legati al processo produttivo. Nel grafico riportato in *Figura 14* è possibile osservare come l'energia termica incida quasi per l'82% rispetto ai consumi totali e solamente il 18% è imputato al consumo di energia elettrica. Nel campione analizzato l'energia termica utilizzata per il processo proviene per il 75% da Gas naturale e per il 7% da BTZ.

L'analisi dei consumi energetici per le differenti aree funzionali (*Figura 15*) permette di evidenziare come circa l'86% del consumo totale di energia è imputabile alle attività principali, circa il 10% ai servizi ausiliari e solo un 2% dei consumi è imputabile ai servizi generali. Vi è un ulteriore 2% di energia non rendicontata all'interno delle aree funzionali.

Incidenza dei vettori energetici sui Consumi Totali nel campione analizzato

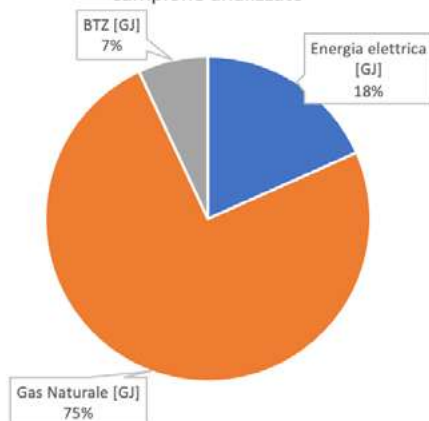


Figura 14 - Codice Ateco 23.13.00: Incidenza dei vettori energetici

Ripartizione dei consumi totali tra le aree funzionali

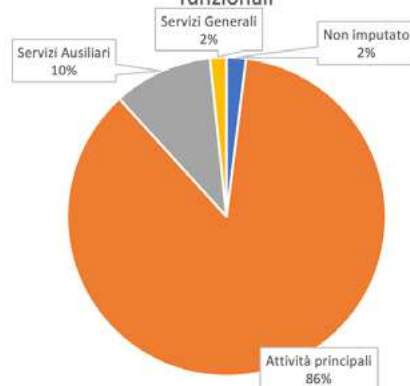


Figura 15 - Codice Ateco 23.13.00: Ripartizione dei consumi energetici totali tra le aree funzionali

L'analisi della ripartizione dei consumi sulle differenti aree funzionali in base alla tipologia di vettore energetico (Figura 16) evidenzia come il vettore termico proveniente dall'utilizzo di Gas Naturale e BTZ sia imputabile quasi esclusivamente alle attività principali (con un'incidenza del 97%). Per quanto riguarda i consumi elettrici, si osserva un'alta incidenza sia sulle attività principali (con incidenza del 39%), che sui servizi ausiliari (con un'incidenza di circa il 55%). L'alta incidenza dell'energia elettrica sui servizi ausiliari è legata fortemente alla produzione di aria compressa.

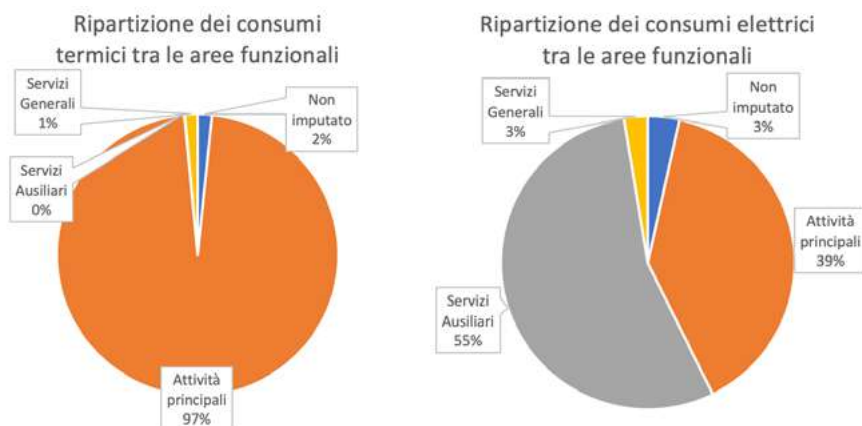


Figura I 6 - Codice Ateco 23.13.00: Ripartizione dei consumi energetici Termici ed Elettrici tra le aree funzionali

Il campione statistico a disposizione ha permesso di individuare sia gli indici di primo livello (Tabella 7) che alcuni indici di secondo livello.

Gli indici individuati di prestazione energetica individuati sono riferiti ai consumi finali di energia e non ai consumi primari.

23.13.00: IPE Globale*				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
30.000	124.999	6.627 ± 1.471	22,2%	MEDIA
125.000	400.000	5.497 ± 606	11,0%	ALTA
23.13.00: IPE Elettrico*				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
30.000	124.999	1.256 ± 247	19,7%	ALTA
125.000	400.000	998 ± 137	13,7%	ALTA
23.13.00: IPE Termico*				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t	t	MJ/t	Coeff. di Variazione	Affidabilità
30.000	124.999	5.358 ± 1.293	24,1%	MEDIA
125.000	400.000	4.491 ± 524	11,7%	ALTA

Tabella 7 - Sottogruppo Ateco 23.13.00 – Indici di primo livello: Globale, Elettrico e Termico

**nel caso di produzione prevalente di vetro bianco e mezzo bianco nella valutazione degli indici globali che specifici relativi alle attività principali la deviazione standard riportata, utilizzata per determinare l'intervallo di confidenza deve essere moltiplicata per 1,5.*

Osservazione sul campione statistico: benché il campione dati sia consistente, questo presenta al suo interno tipologie di prodotto differenti. Pertanto gli indici sono stati determinati solamente sulla produzione prevalente all'interno del sottogruppo Ateco 23.13.00 ed in particolare sulla **produzione di imballaggi ad uso alimentare** con l'esclusione quindi dei prodotti per la casa, prodotti farmaceutici, profumeria e cristalleria.

7.4.2 Codice Ateco 23.13.00 “Fabbricazione di vetro cavo” - Indici di secondo livello

Il processo di produzione del vetro cavo risulta essere sufficientemente omogeneo, presentando tuttavia differenze sostanziali nella tipologia di prodotto. Pertanto l'analisi del sottogruppo Ateco 23.13.00 si è incentrata sulla produzione di imballaggi ad uso alimentare con l'esclusione quindi dei prodotti per la casa, prodotti farmaceutici e profumeria e cristalleria. Tale analisi risulta pertanto coerente con la suddivisione suggerita sia dalle Bref che dall'associazione di categoria.

7.4.2.1 Attività principali – la fusione

Il primo aspetto preso in considerazione è stata la suddivisione dei consumi energetici all'interno delle attività principali, in particolari come questi si ripartiscono su: preparazione, fusione, formatura, imballaggio, altro.

Il grafico, riportato in *Figura 17*, evidenzia come i consumi energetici associati all'attività principale si concentrino nelle fasi di fusione, con circa l'82% dei consumi totali associati all'attività principale, e formatura con un 14% dei consumi totali dell'attività principale. Come già evidenziato in precedenza nella definizione della struttura energetica

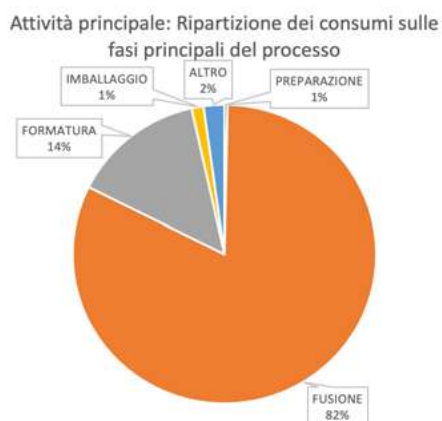


Figura 17 – Ateco 23.13.00 – Attività principale: ripartizione dei consumi energetici

le altre fasi presentano un'incidenza marginale sui consumi energetici.

Per le attività principali si è quindi proceduto all'individuazione di indici specifici ed in particolare ci si è concentrati sulla fase di fusione. L'analisi dati ha evidenziato come i forni *end-port* risultino essere la tipologia prevalente nella produzione di vetro cavo per uso imballaggi alimentari. Nel grafico di *Figura 18* viene riportata la distribuzione dei singoli forni *end-port* presenti negli stabilimenti produttivi rappresentati come livello di produzione annuo vs consumo energetico normalizzato. Risulta evidente come vi sia una forte correzione tra il consumo energetico e la produzione di cavato.

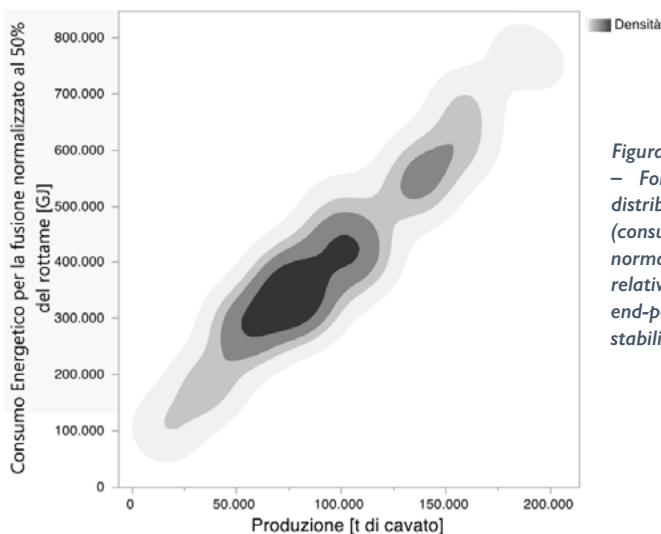
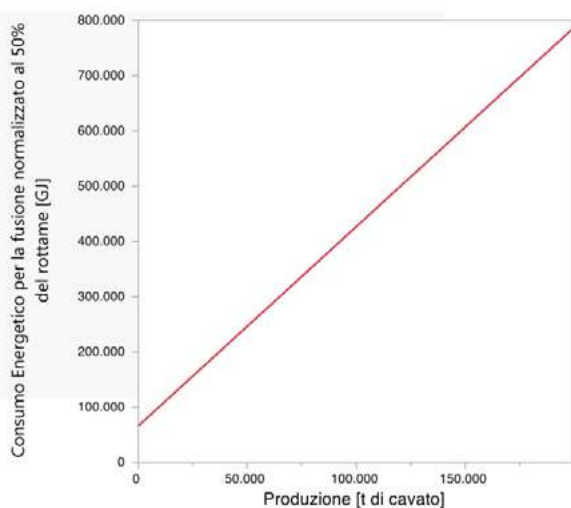


Figura 18 – Ateco 23.13.00 – Forni fusori: densità di distribuzione dei punti (consumo energetico normalizzato vs produzione) relativi ai forni fusori end-port presenti negli stabilimenti produttivi



Nella successiva *Figura 19* è riportata la relativa analisi di regressione.

Figura 19 - Ateco 23.13.00 – Forni fusori: curva di regressione lineare per forni fusori end-port

L'analisi di regressione lineare mostra una forte correlazione tra il consumo energetico normalizzato e la quantità di vetro prodotto.

È possibile, quindi, fornire l'equazione che lega il consumo energetico stimato in funzione del vetro cavato per i forni *end-port*:

$$\text{Consumo normalizzato al 50\% [GJ]} = 66.179 + 3,606 * \text{Produzione di cavato [t]}$$

La quale presenta i seguenti indici statistici:

R ²	R	P _{value}	N	R _{crit (bidirezionale)} α=0,05	R _{crit (bidirezionale)} α=0,01
0,951	0,976	<0,0001	39	0,304	0,393

Gli indici statistici qui riportati confermano l'alta affidabilità della retta di regressione.

Oltre alla relazione tra consumo e produzione dato dalla retta di regressione vengono forniti gli indici di prestazione energetica specifici della tipologia di forno *end-port*. In questo caso vengono riportati sulla base della produzione giornaliera.

23.13.00: IPE forni fusori “end-port”*				
Campo variazione produzione		IPE	Affidabilità	
Min	Max			
t/g	t/g	GJ/t	Affidabilità	Coeff. di Variazione
40	149,99	5,56 ± 0,80	ALTA	14,4%
150	209,99	4,83 ± 0,35	ALTA	7,2%
210	289,99	4,42 ± 0,50	ALTA	11,3%
290	500	3,95 ± 0,24	ALTA	6,1%

Tabella 8 - Sottogruppo Ateco 23.13.00 – Forni fusori *end-port* indici di prestazione energetica di secondo livello

*nel caso di produzione prevalente di vetro bianco e mezzo bianco nella valutazione degli indici globali che specifici relativi alle attività principali la deviazione standard riportata, utilizzata per determinare l'intervallo di confidenza deve essere moltiplicata per 1,5.

7.4.2.2 Servizi Ausiliari – Aria compressa

Come descritto nella struttura energetica del sottogruppo Ateco 23.13.00 il consumo degli ausiliari può essere suddividere tra il consumo energetico dell'aria compressa e altri consumi per servizi ausiliari.

Il grafico di *Figura 20* evidenzia come l'incidenza del consumo di aria compressa nei servizi ausiliari sia maggioritario rispetto agli altri consumi con il 58% del consumo totale assorbito. Gli altri impianti ausiliari (impianto acque di raffreddamento formatura, dal prelievo al trattamento finale e riciclo; raffreddamenti; aria comburente; impianto filtrazione emissioni in atmosfera, compreso ventilatore; ecc.) si dividono il restante 42%.

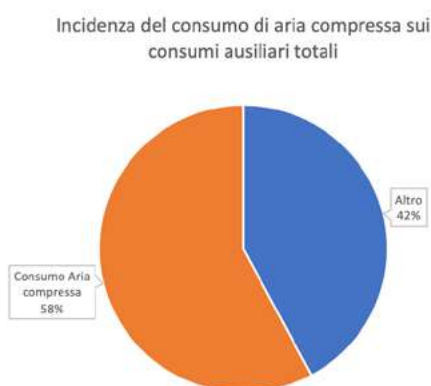


Figura 20 - Sottogruppo Ateco 23.13.00 – Ripartizione dei consumi dei Servizi Ausiliari

L'elevata incidenza del consumo di aria compressa sui consumi totali dei siti produttivi risulta anche evidente dall'attenzione mostrata da i redattori dei rapporti di diagnosi energetica, attenzione che ha permesso di determinare degli indici di riferimento per quanto riguarda il consumo energetico imputabile all'utilizzo di aria compressa. Quando si parla di aria compressa negli stabilimenti produttivi di vetro cavo è necessario fare una premessa, infatti solitamente all'interno degli stabilimenti sono presenti due differenti linee di produzione e distribuzione di aria compressa:

- la linea detta di bassa pressione [BP] relativa all'alimentazione dei sistemi di soffiaggio del vetro, che presenta livelli di pressione indicativamente ricompresi tra 2,5 – 3,5 bar;
- la linea detta di alta pressione [AP] relativa all'alimentazione dei sistemi di attuazione e movimentazione, che presenta livelli di pressione indicativamente ricompresi tra 6 – 8 bar.

Vista l'elevata differenza di pressione tra le due differenti linee di produzione e distribuzione dell'aria compressa si è ritenuto doveroso individuare degli indici di prestazione energetica differenti. Tale differenziazione è stata possibile in quanto i dati presenti nei rapporti di diagnosi energetica sono risultati numerosi e completi. L'analisi ha permesso infatti di individuare il consumo specifico e quindi l'IPE di 64 compressori, 15 dei quali riconducibili a linee di Alta Pressione e i restanti 49 a linee di Bassa Pressione (Figura 21).

In Figura 21 è riportata l'analisi statistica effettuata per determinare gli indici specifici delle due classi di compressori.

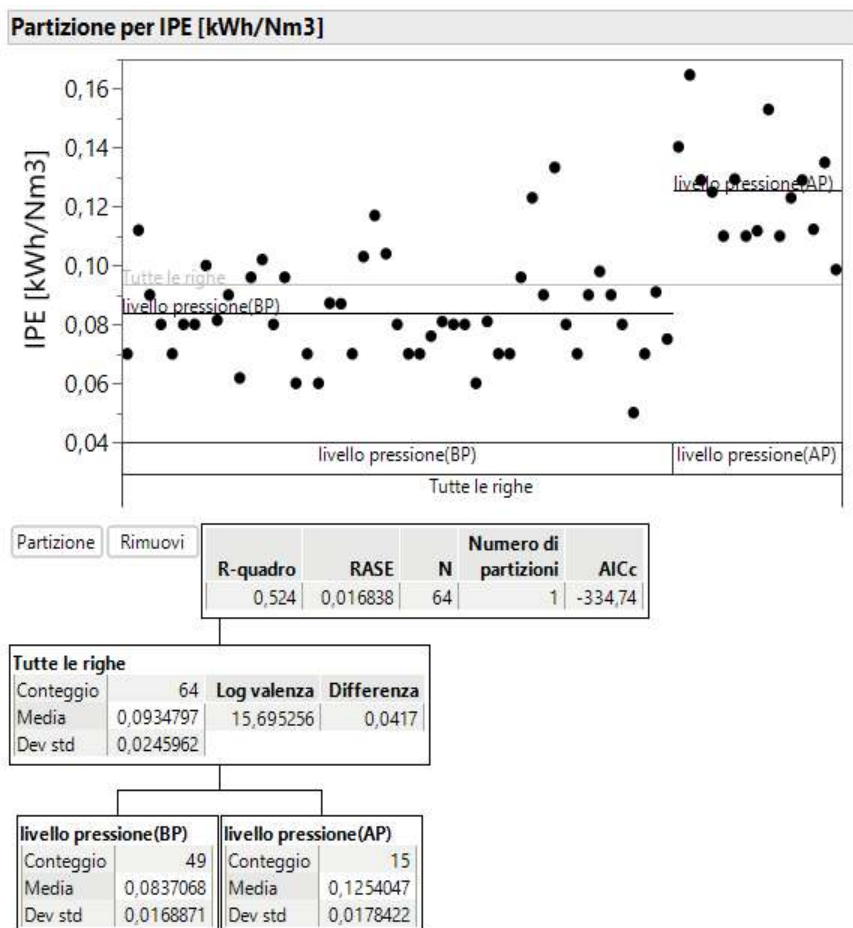
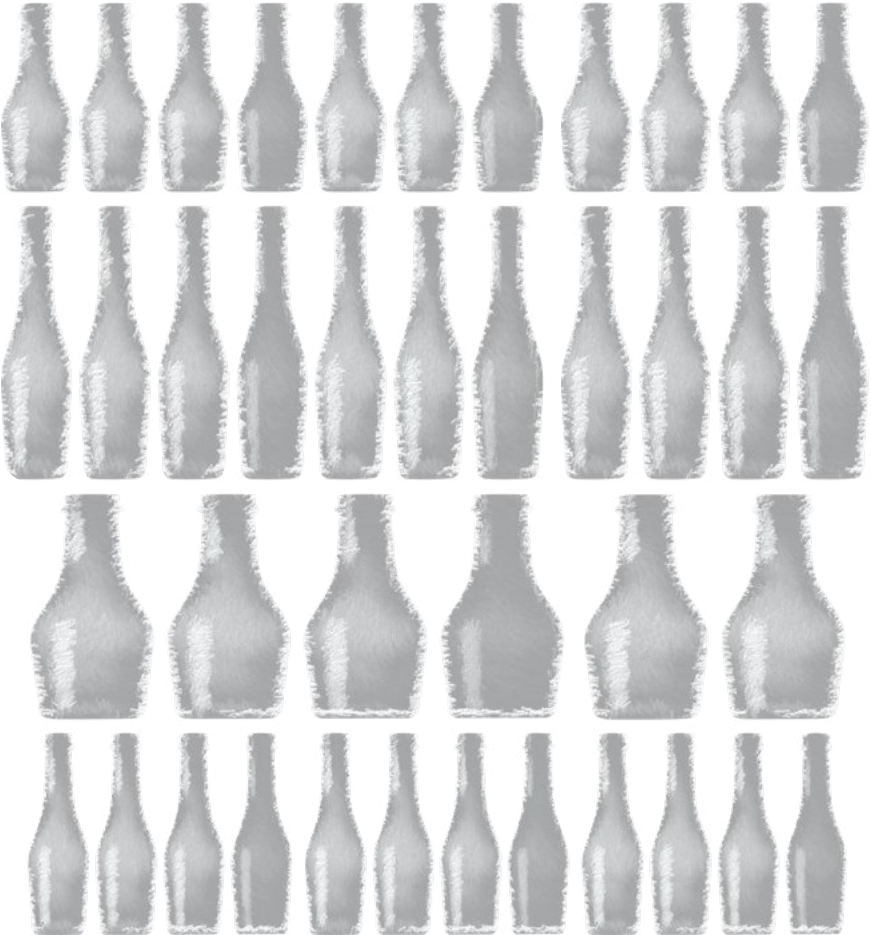


Figura 21 - Sottogruppo Ateco 23.13.00 – Aria compressa, analisi dati per i due differenti livelli di pressione

Nella tabella successiva sono riportati gli indici di prestazione energetica dei due livelli di pressione individuati.

23.13.00: IPE aria compressa			
Livello di pressione	kWh/Nm³	Affidabilità	Coeff. di Variazione
AP	0,125 ± 0,018	ALTA	14%
BP	0,084 ± 0,017	ALTA	20%

Tabella 9 - Sottogruppo Ateco 23.13.00 – Servizi Ausiliari: IPE centrali aria compressa alta e bassa pressione





VETRO CASALINGO E VETRO
BIANCO DI QUALITÀ
(SOTTOGRUPPO ATECO 23.13.00)

8

8. Vetro casalingo e vetro bianco di qualità (Sottogruppo Ateco 23.13.00)

In questo capitolo viene definita la struttura energetica che dovrebbe essere presa in considerazione nel momento in cui si affronta la diagnosi energetica in stabilimenti produttivi relativi alla produzione di vetro casalingo e vetro bianco di qualità (profumeria e farmaceutico). Per questa tipologia di prodotto/processo a differenza del vetro cavo ad uso imballaggi alimentari non è stato possibile individuare indici di prestazione energetica di riferimento, in quanto il campione dati è risultato essere numericamente non significativo.

8.1 Struttura energetica vetro casalingo e vetro bianco di qualità

La struttura energetica dell'industria del vetro casalingo e del vetro bianco di qualità (profumeria e farmaceutico) risulta abbastanza omogenea e standardizzabile e per alcuni versi simile a quella del vetro cavo anche se i consumi risultano genericamente superiori.

Alcune differenze possono esistere nell'ambito della formatura a seconda del tipo di articolo prodotto (bicchieri, flaconi, ecc.).

I principali consumi energetici derivano dalla fusione e formatura del vetro, e in misura minore, ma comunque significativa, dalla produzione di aria compressa per la movimentazione e funzionamento dei macchinari, in particolare per le macchine di formatura.

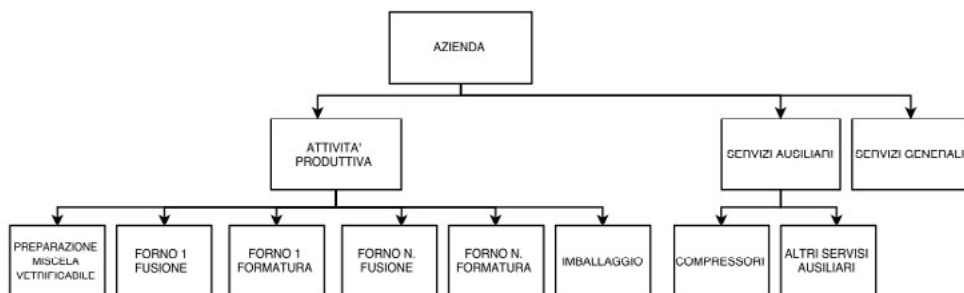


Figura 22 – Diagramma di Flusso nel processo di produzione del vetro cavo

Dettagliando le fasi principali della struttura energetica possiamo trovare:

A. ATTIVITÀ PRINCIPALI

I. Preparazione miscela vetrificabile

- ✓ ambito: dal carico delle materie prime all'infornaggio, compreso rottame (sollevatori, nastri trasportatori, bilance, impianto trasporto e recupero rottame interno, ecc.);
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% del totale (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo del IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame).

II. Forno n-esimo: Fusione

- ✓ ambito: dall'infornaggio all'uscita del bacino del forno [elettrodi; bruciatori metano o olio combustibile BTZ];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio combustibile BTZ, ossigeno;
- ✓ consumo energetico previsto: >40% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame); nel caso di fusione ad ossicombustione si deve dichiarare anche il consumo di ossigeno al fine di ottenere una quadro comparabile tra combustione tradizionale e ossicombustione.

III. Forno n-esimo: Formatura

- ✓ ambito: dall'uscita del bacino del forno all'uscita del forno di ricottura [macchine formatura; raffreddamenti; scovatura automatica; macchine saldatura; bruciatori a metano per riscaldamento trasportatori; ribrucatura post formatura; forni preriscaldamento stampi; forni di tempra; trattamento a freddo; scalottatura; ribrucatura; ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano; gas tecnici;
- ✓ consumo energetico previsto: >20% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

IV. Imballaggio

- ✓ ambito: dall'uscita del trattamento a freddo al magazzino, compreso trasporto e movimentazione [controllo qualità; nastri; termo retrazione; mezzi per movimentazione di proprietà; ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gasolio per autotrazione;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore;
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

B. SERVIZI AUSILIARI

I. Impianto aria compressa

- ✓ ambito: compressori produzione aria compressa;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore;
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

II. Altri servizi ausiliari

- ✓ ambito: impianto acque di raffreddamento formatura, dal prelievo al trattamento finale e riciclo; raffreddamenti; aria comburente; impianto filtrazione emissioni in atmosfera, compreso ventilatore; ecc.;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gas tecnici;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore;
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

C. SERVIZI GENERALI

- ✓ ambito: centrali termiche; condizionamento; illuminazione, gruppo elettrogeno, ecc.;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio BTZ, carburanti per autotrazione, ecc.;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore;
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

La preparazione della miscela vetrificabile, l'imballaggio e i servizi generali risultano tutti generalmente inferiori al 5% del consumo energetico complessivo, e pertanto non sono stati suddivisi in ulteriori aree funzionali. Allo stesso modo non sono stati "approfonditi" i consumi energetici legati a vettori secondari quali l'acetilene, i gas tecnici, vapore, acqua calda, il gpl e il gasolio, in quanto singolarmente inferiori al 5% del consumo totale di stabilimento.

8.2 I vettori energetici

La tipologia di vettori energetici impiegati nella produzione del vetro cavo dipende dal tipo di azienda e dalle singole scelte di politica energetica adottate: tipicamente si tratta di energia elettrica, metano ed olio combustibile BTZ. Gli altri vettori hanno un peso minore sul consumo energetico complessivo e comprendono principalmente gasolio per autotrazione e per i generatori di emergenza, e gas tecnici (e.g. acetilene per stampi e saldature, ossigeno). In rari casi possono essere presenti anche forniture di energia da fonti esterne, quali vapore e acqua calda.

I vettori energetici individuabili all'interno dell'industria del vetro cavo sono pertanto:

1. *Energia elettrica;*
2. *Metano;*
3. *Olio combustibile BTZ;*
4. *Gasolio per autotrazione;*
5. *Altri (gas tecnici, vapore, acqua calda, ecc.).*

8.3 Analisi dei consumi energetici

Per analizzare i consumi energetici di un qualsivoglia stabilimento produttivo è necessario che questi vengano normalizzati con i fattori di aggiustamento o "driver di consumo" corretti in modo tale da individuare degli Indici di Prestazione Energetica che siano realmente rappresentativi e confrontabili.

Questi "driver di consumo" possono essere differenti in funzione del livello energetico ed in funzione dello specifico processo che si va ad analizzare.

In particolare, possiamo individuare i seguenti parametri correttivi o driver di consumo per i differenti Livelli della struttura energetica proposta da ENEA:

- Livelli A, B e C, quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno).
- Livello D – Attività Principale:
 - ◊ Preparazione e fusione quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno);
 - ◊ Formatura quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno);
 - ◊ Imballaggio quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di vetro imballato (tonnellate/anno).
- Livello D – Servizi ausiliari: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) o quantità di vetro lavorato (tonnellate/anno) e se disponibile quantità di aria compressa prodotta ed utilizzata (Nm3/anno);
- Livello D – Servizi generali: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e superficie locali climatizzati.

Per la determinazione degli Indici di Prestazione Energetica Specifici (IPS) per la fase di preparazione della miscela vetrificabile e di fusione, come anche indicato nelle BAT di settore [3], bisogna ricondursi ad un consumo energetico normalizzato al 50 % di rottame. Questa normalizzazione permette un confronto prestazionale oggettivo tra le diverse realtà produttive, non influenzato da componenti esterne quali la quantità di rottame introdotto nel forno. La riduzione del consumo energetico legato all'aumento dell'uso del rottame non è infatti legata alle prestazioni della macchina, ma alla possibilità di approvvigionamento di rottame di qualità e alla qualità di vetro prodotto.

Nel calcolo dell'Indice Prestazionale Specifico (IPS) relativo al livello LD della struttura energetica proposta da ENEA deve quindi essere applicata la seguente formula:

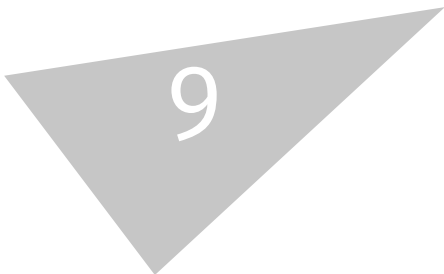
$$IPE50\% = \frac{\frac{\text{Consumo energetico totale}}{1 + \frac{(50 - \text{percentuale rottame}\%) * 0,025}{10}}}{\text{Cavato}}$$

Per tutte le altre aree funzionali si deve considerare come *driver di consumo* o destinazione d'uso la quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno), ma per il calcolo dell'Indice di Prestazione Specifico i consumi energetici non debbono essere normalizzati al 50% di rottame, in quanto l'energia richiesta da tali aree non è influenzata dalla quantità di rottame utilizzato.





FABBRICAZIONE DI FIBRE DI
VETRO (SOTTOGRUPPO ATECO
23.14.00)



9

9. Fabbricazione di Fibre di Vetro (Sottogruppo Ateco 23.14.00)

In questo capitolo viene definita la struttura energetica che dovrebbe essere presa in considerazione nel momento in cui si affronta la diagnosi energetica in stabilimenti produttivi relativi alla fabbricazione di fibre di vetro. Purtroppo a differenza di altri settori non è stato possibile individuare indici di prestazione energetica di riferimento, in quanto il campione dati è risultato essere numericamente non significativo.

9.1 Struttura Energetica fabbricazione di fibre di vetro

La struttura energetica all'interno dell'industria della fibra risulta abbastanza omogenea e standardizzabile. Alcune differenze possono esistere soprattutto sulle seconde lavorazioni e sulla tipologia di settore commerciale di indirizzo (lana di vetro o filamento continuo).

I principali consumi energetici derivano dalla fusione e formatura del vetro, dalle seconde lavorazioni, in misura minore ma comunque significativa dalla produzione di aria compressa per la movimentazione dei macchinari e dal condizionamento nel caso del filamento continuo.

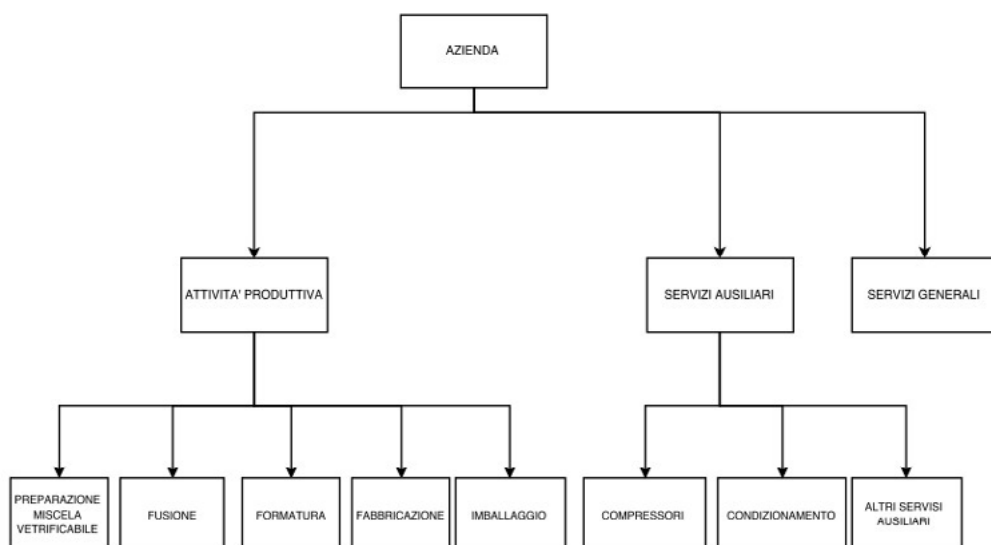


Figura 23 – Diagramma di Flusso nel processo di fabbricazione delle fibre di vetro

Dettagliando le fasi principali della struttura energetica (Figura 23) è possibile trovare:

A. ATTIVITA' PRINCIPALI

I. Preparazione miscela vetrificabile

- ✓ ambito: dal carico delle materie prime all'infornaggio, compreso rottame (sollevatori, nastri trasportatori, bilance, impianto trasporto e recupero rottame interno, ecc.);
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% del totale (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame).

II. Forno n-esimo: Fusione

- ✓ ambito: dall'infornaggio all'uscita della colata [elettrodi; bruciatori metano o olio combustibile BTZ;];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio combustibile BTZ;
- ✓ consumo energetico previsto: >10% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro (nel calcolo dell'IPS utilizzare il consumo energetico normalizzato al 50% di rottame).

III. Forno n-esimo: Formatura

- ✓ ambito: dall'uscita della colata all'uscita dell'apprettatura, compreso condizionamento [filiera; appretto];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

IV. Fabbricazione

- ✓ ambito: dall'uscita dell'apprettatura fino all'imballo [taglio;

- avvolgimento; trattamento termico; 2° lavorazioni];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (stima nel caso di forno singolo - da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

V. Imballaggio

- ✓ ambito: dall'uscita della fabbricazione al magazzino, compreso trasporto e movimentazione [controllo qualità; nastri; termo retrazione; taglio; mezzi per movimentazione di proprietà, ecc.];
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gasolio per autotrazione;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

B. SERVIZI AUSILIARI

I. Impianto aria compressa

- ✓ ambito: compressori produzione aria compressa;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

II. Condizionamento di processo

- ✓ ambito: impianto acque di raffreddamento, dal prelievo al trattamento finale e riciclo; vapore;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica; metano;
- ✓ consumo energetico previsto: >5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

III. Altri servizi ausiliari

- ✓ ambito: trattamento delle acque; impianto filtrazione emissioni in

atmosfera, compreso ventilatore; raffreddamenti; aria comburente; ecc.;

- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, gas tecnici
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

C. SERVIZI GENERALI

- ✓ ambito: centrali termiche; condizionamento; illuminazione, gruppo elettrogeno, ecc.;
- ✓ possibile vettore energetico: energia elettrica, metano, olio BTZ, carburanti per autotrazione, ecc.;
- ✓ consumo energetico previsto: <5% tep (da verificare per singolo vettore energetico e per confronto con il consumo energetico totale calcolato per il livello superiore);
- ✓ destinazione d'uso: cavato vetro.

La preparazione miscela vetrificabile, l'imballaggio, i servizi ausiliari diversi dall'aria compressa, alcune delle unità funzionali afferenti alle seconde lavorazioni e i servizi generali presentano consumi inferiori al 5% del consumo energetico totale e pertanto non sono stati ulteriormente sviluppati.

9.2 I vettori energetici

La tipologia di vettori energetici dipende dal tipo di azienda e dalle scelte di politica energetica adottata da ogni singola azienda. I principali vettori energetici sono legati alla produzione del vetro e alle lavorazioni successive, quindi energia elettrica, metano o olio combustibile BTZ. Gli altri hanno un peso minore nel consumo energetico complessivo e comprendono principalmente gasolio e gas tecnici. Possono essere presenti anche forniture di energia da fonti esterne quali, vapore e acqua calda. I vettori energetici individuabili all'interno dell'industria del vetro piano sono pertanto:

1. *Energia elettrica;*
2. *Metano;*
3. *Olio combustibile BTZ;*
4. *Gasolio per autotrazione e gruppo elettrogeno;*
5. *Altri (gas tecnici, vapore, acqua demineralizzata).*

9.3 Analisi dei consumi energetici

Per analizzare i consumi energetici di un qualsivoglia stabilimento produttivo è necessario che questi vengano normalizzati con i fattori di aggiustamento o “driver di consumo” corretti in modo tale da individuare degli Indici di Prestazione Energetica che siano realmente rappresentativi e confrontabili.

Questi “driver di consumo” possono essere differenti in funzione del livello energetico ed in funzione dello specifico processo che si va ad analizzare.

In particolare, possiamo individuare i seguenti parametri correttivi o driver di consumo per i differenti Livelli della struttura energetica proposta da ENEA:

- Livelli A, B e C, quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno).
- Livello D – Attività Principale:
 - ◊ Preparazione e fusione quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di rottame utilizzato (rottame in tonnellate/anno);
 - ◊ Formatura quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno);
 - ◊ Fabbricazione quantità di vetro cavato (cavato in tonnellate/anno) e quantità di vetro lavorato (tonnellate/anno);
 - ◊ Imballaggio quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e quantità di vetro imballato (tonnellate/anno).
- Livello D – Servizi ausiliari: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) o quantità di vetro lavorato (tonnellate/anno) e se disponibile quantità di aria compressa prodotta ed utilizzata (Nm³/anno).
- Livello D – Servizi generali: quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno) e superficie locali climatizzati.

Per la determinazione degli Indici di Prestazione Energetica Specifici (IPS) per la fase di preparazione della miscela vetrificabile e di fusione, come anche indicato nelle BAT di settore [3], bisogna ricondursi ad un consumo energetico normalizzato al 50 % di rottame. Questa normalizzazione permette un confronto prestazionale oggettivo tra le diverse realtà produttive, non influenzato da componenti esterne quali la quantità di rottame introdotto nel forno. La riduzione del consumo energetico legato all'aumento dell'uso del rottame non è infatti legata alle prestazioni della macchina, ma alla possibilità di approvvigionamento di rottame di qualità e alla qualità di vetro prodotto.

Nel calcolo dell'Indice Prestazionale Specifico (IPS) relativo al livello LD della struttura energetica proposta da ENEA deve quindi essere applicata la seguente formula:

$$IPE50\% = \frac{\frac{\text{Consumo energetico totale}}{1 + \frac{(50 - \text{percentuale rottame\%}) * 0,025}{10}}}{\text{Cavato}}$$

Per tutte le altre aree funzionali si deve considerare come *driver di consumo* o destinazione d'uso la quantità di vetro prodotto (cavato in tonnellate/anno), ma per il calcolo dell'Indice di Prestazione Specifico i consumi energetici non debbono essere normalizzati al 50% di rottame, in quanto l'energia richiesta da tali aree non è influenzata dalla quantità di rottame utilizzato.



INTERVENTI DI
EFFICIENTAMENTO
ENERGETICO E SOLUZIONI
TECNOLOGICHE PER IL
SETTORE DEL VETRO

10

10. Interventi di efficientamento energetico e soluzioni tecnologiche per il settore del vetro

In questo capitolo vengono rappresentate le principali soluzioni tecnologiche di efficientamento energetico presenti oggi sul mercato.

Vengono quindi elencati i principali interventi di efficientamento energetico suddivisi per le principali fasi del processo di produzione di vetro come:

- Preparazione della miscela;
- Fusione e affinaggio;
- Condizionamento e formatura;
- Finitura.

Inoltre vengono proposti anche i principali interventi che potrebbero essere presi in considerazione per l'efficientamento degli impianti ausiliari.

Scopo del presente capitolo è quello di fornire un elenco il più completo possibile delle soluzioni tecnologiche che allo stato dell'arte potrebbero essere considerate per l'efficientamento energetico del sito. Ovviamente l'individuazione di un possibile intervento di efficientamento non può prescindere dalla peculiarità specifica del sito produttivo, da un'analisi di fattibilità ed un'analisi costo-beneficio.

Gli interventi proposti sono quindi suddivisi per le principali fasi di processo e rappresentati in tabelle dove ciascuna fase viene suddivisa ulteriormente nelle sue caratteristiche componentistiche principali (oggetto della soluzione) e per ciascuna di queste vengono proposte una o più soluzioni tecnologiche (Soluzione), accanto ad ogni soluzione tecnologica vengono riportati i riferimenti bibliografici utili per eventuali approfondimenti (Reference) e infine eventuali note e contributi di esperti dell'associazione di categoria che forniscono ulteriori informazioni riguardo la soluzione individuata.

10.1 Attività principali

1. Preparazione alla fusione

La principale materia prima usata per produrre il vetro è la sabbia (soprattutto silica). Alla sabbia vengono aggiunti *limestone*, polvere di soda, rottami di vetro e altre sostanze chimiche necessarie per colorare il vetro. I materiali in input

al processo vengono preparati alla fusione nel seguente modo: si pesano le materie prime, si macinano (se necessario), si mescolano e, infine, si trasporta la carica con appositi nastri e sollevatori in ingresso al forno fusorio. L'operazione di macinazione è un processo intrinsecamente inefficiente, soprattutto quando deve essere effettuato a granulometria molto fine, per questo viene svolto solo se le materie prime non possono essere acquistate sotto forma di terra, ma devono essere macinate in loco [9]. Il consumo energetico a valle delle operazioni di preparazione alla fusione, solitamente, non supera il 4-5% del consumo energetico totale dell'impianto. Tra le tecnologie che costituiscono l'impianto di preparazione alla fusione i miscelatori risultano gli apparati più impattanti sul consumo energetico [9]. Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di preparazione alla fusione sono riepilogate in Tabella 10, nella quale la 1° colonna indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, la 3° il riferimento bibliografico consultabile per avere ulteriori informazioni sull'intervento e, infine, la 4° riporta commenti da esperti di settore, utili a capire lo stato di applicabilità attuale dell'intervento e il suo livello di maturità.



Tabella 10: Soluzioni tecnologiche relative alla fase di preparazione alla fusione

Preparazione alla fusione			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Bilance per pesatura M.P.	Installare celle di carico nei nastri trasportatori per effettuare la pesatura automatizzata e computerizzata	[1]	La pesatura delle materie prime è già automatizzata in tutti gli impianti
Sistemi di movimentazione M.P.	Sostituire sistemi di trasporto pneumatici, a vite o a catene con sistemi a nastro	[2], [3]	La scelta del sistema è legata, oltre che a motivazioni logistiche e di spazio, principalmente alle caratteristiche del materiale da trasportare (pezzatura, abrasività e polverosità). Non si conosce il vantaggio energetico, probabilmente trascurabile
	Installare sistemi per preriscaldare rottami e carica	[1], [2], [4]	Il preriscaldamento del rottame è una tecnologia possibile e citata nel BREF, tuttavia l'applicazione risulta a tutt'oggi limitata a causa di problemi logistici, emissivi e di gestione del materiale in ingresso. Di fatto la sua applicazione ad oggi si limita a poche unità
Mulini da macinazione M.P.	Comprare mulini ad alta efficienza	[2]	Le materie prime utilizzate dalle vetrerie non vengono macinate. Normalmente si procede con la semplice miscelazione e pesatura. L'impatto energetico sul totale è verosimilmente trascurabile
	Installare tecnologie che effettuino contemporaneamente macinazione e miscelazione	[5], [6]	Vedere punto precedente
Sistemi di recupero e macinazione rottami	Effettuare recupero del rottame proveniente dal forno fusorio e installare tecnologie efficienti per la sua macinazione	[1], [2]	Il rottame interno viene già recuperato, frantumato grossolanamente in un frantoio e poi riutilizzato nel processo di fusione. Una vera e propria macinazione fine del rottame non viene effettuata, e comunque potrebbe al massimo dare un vantaggio sulla cinetica di reazione, ma non sulla termodinamica. Inoltre, l'utilizzo di rottame macinato molto fine può dare problemi di controllo dell'indice <i>redox</i> del fuso, di schiuma e di <i>carryover</i> , oltre a richiedere maggiore energia per la sua produzione

Preparazione alla fusione			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero e macinazione rottami	Installare sistemi che effettuino contemporaneamente macinazione e pulitura del rottame	[7]	Vedere punto precedente. Inoltre, il rottame interno non necessita di pulitura, mentre il rottame esterno arriva già trattato e ripulito dalle possibili contaminazioni. Le vetrerie non sono dotate di sistemi per la separazione e depurazione del rottame, ma esternalizzano ai cosiddetti "trattatori"
	Installare macchine per la macinazione dei rottami che riducano il vetro in particelle più fini	[2]	Vedere punto precedente
	Installare sistemi per effettuare "phase separation" e decolorare il rottame, aumentando la percentuale di rottame da poter inserire per produrre vetro trasparente	[2], [8]	Il rottame non può essere decolorato, o almeno non si conoscono processi industrialmente maturi, economicamente sostenibili e ambientalmente compatibili in grado di eliminare i cromofori dal rottame colorato. Per aumentare la percentuale di rottame impiegabile nella produzione di vetro bianco è, pertanto, necessario potenziare la separazione del rottame misto nei vari colori ad opera di apposite macchine selezionatrici, ma soprattutto è necessario che venga adottata in Italia la separazione per colore in fase di raccolta, come già attuato in altri paesi europei
	Installare sistemi per effettuare "reductive melting" e decolorare il rottame, aumentando la percentuale di rottame da poter inserire per produrre vetro trasparente	[2], [8], [9]	Nel caso di adduzione di agenti riducenti al bagno vetroso per far precipitare al fondo i cromofori allo stato metallico, va fatto notare che ciò avrebbe un impatto catastrofico sul controllo dell'indice <i>redox</i> e del colore del vetro (es. la conseguente grande abbondanza di Fe ²⁺ porterebbe a colorazioni verdine molto intense), nonché creerebbe un potenziale forte rischio di formazione di schiuma. La tecnologia non è di fatto applicabile
	Installare sistemi per effettuare "electrochemistry" e decolorare il rottame, aumentando la percentuale di rottame da poter inserire per produrre vetro trasparente	[2], [8]	

Preparazione alla fusione			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero e macinazione rottami	Installare sistemi per effettuare "wet chemical extraction" e decolorare il rottame, aumentando la percentuale di rottame da poter inserire per produrre vetro trasparente	[2], [8]	
	Installare sistemi di colorazione del rottame alternativi, per renderne più facile la successiva decolorazione	[2]	
	Installare sistemi di separazione del rottame in base ai suoi colori, per renderne più facile la successiva decolorazione	[10]	Il rottame non può essere decolorato, o almeno non si conoscono processi industrialmente maturi, economicamente sostenibili e ambientalmente compatibili in grado di eliminare i cromofori dal rottame colorato. Per aumentare la percentuale di rottame impiegabile nella produzione di vetro bianco è, pertanto, necessario potenziare la separazione del rottame misto nei vari colori ad opera di apposite macchine selezionatrici, ma soprattutto è necessario che venga adottata in Italia la separazione per colore in fase di raccolta, come già attuato in altri paesi europei
Macchine per miscelazione M.P.	Usare tecnologie di essiccazione a spruzzo per il dosaggio selettivo e la premiscelazione delle M.P.	[2], [4]	La tecnologia è difficilmente applicabile. Il vantaggio ottenibile termodinamicamente non sarebbe così importante, per contro si creerebbero problemi di spolverio sia in fase di miscelazione che sul forno. Questa tecnologia è applicabile al mondo della ceramica, ma per il mondo del vetro è concettualmente inefficace o problematica
	Usare miscelatori con orbita a vite (screw orbit mixers)	[2]	Ad una prima valutazione i vantaggi di questa tecnologia sembrano essere limitati rispetto alle fasi più energivore del processo
	Usare miscelatori a nastro (ribbon mixers)	[2]	Vedere punto precedente

Preparazione alla fusione			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Macchine per miscelazione M.P.	Usare miscelatori ad anello passante (<i>ring through mixers</i>)	[2]	Vedere punto precedente
	Usare miscelatori a vasca rotante (<i>rotating pan mixers</i>)	[5], [6]	Vedere punto precedente

I 20 interventi riportati in *Tabella 10* relativi alla fase di preparazione alla fusione sono stati prima reperiti in letteratura e, successivamente, confermati e commentati da esperti di settore. Oltre a tali interventi, non sono state reperite altre misure di riduzione dei consumi mediante la consultazione delle diagnosi energetiche.

2. Fusione e affinaggio

Le materie prime vengono inserite nella fornace e riscaldate fino ad una temperatura di circa 1500°C. Il processo di fusione e affinaggio non avviene in modo istantaneo, ma prevede l'esecuzione dei seguenti passaggi gradualmente: eliminazione dell'acqua dalla carica in ingresso al forno; dissociazione (ossidazione) dei carbonati e solfati; riscaldamento della carica e fusione vera e propria (si trasforma la carica in una massa di vetro fusa); affinaggio della massa fusa (eliminazione delle bolle di gas presenti); decolorazione/colorazione mediante introduzione di sostanze decoloranti/coloranti nel forno; riposo e raffreddamento della massa di vetro fusa. Qualsiasi tipo di fornace si scelga, essa sarà costituita da una **camera di combustione** a seguito della quale il vetro fuso raggiunge la zona del forno adibita all'affinaggio (detta "*working chamber*") mediante canali detti "*neck*" se si produce *float glass* e "*throat*" in tutti gli altri casi. Inoltre, qualsiasi tipo di fornace si scelga, il riscaldamento del vetro all'interno del forno fusorio può avvenire secondo uno dei tre metodi seguenti [22]:

□ Riscaldamento a combustione

Il combustibile (gas naturale o olio) può presentarsi in forma solida, semi-solida, liquida o gassosa. Se l'adduzione di combustibile nella camera avviene mediante una lancia, si parla di *fuel lancing*. La combustione viene innescata attraverso bruciatori e, in base al tipo di comburente iniettato, si parla di:

- **Combustione semplice** (*air-fuel combustion*) se si usa aria compressa come comburente.

- **Ossicombustione** (*oxy-fuel combustion*) se, anziché usare aria, si impiega come comburente ossigeno puro almeno al 90%.
- **Combustione arricchita a ossigeno** (*enriched air stage*) se si usa ossigeno in quantità maggiore rispetto a quello presente nell'aria, ma minore del 90%. Se anziché partire con un comburente già ad alto contenuto di ossigeno, si aggiunge O₂ in un secondo momento, si parla di *Oxygen lancing* quando si inietta ossigeno direttamente dentro alla fiamma di combustione ottenuta accendendo la miscela di aria e combustibile e *Oxy-air-fuel* se si iniettano separatamente aria e O₂ nella fiamma del bruciatore.
- **Combustione con boosting a ossigeno** se nelle fasi finali della combustione si effettua un'ulteriore aggiunta non solo di comburente (ossigeno puro), ma anche di combustibile (post-combustione).

□ **Riscaldamento elettrico diretto**

In questo metodo degli elettrodi posti a contatto con il vetro lo riscaldano. Il vetro, infatti, si comporta come un conduttore elettrico [20]. Attualmente, si ricorre a fusione elettrica principalmente per la produzione di fibra di vetro, in quanto il riscaldamento elettrico diretto consente di ottenere un prodotto molto omogeneo e di alta qualità [9].

□ **“Boosting elettrico”**, combinazione dei due metodi precedenti.

Il processo di fusione e affinaggio è ad alta intensità energetica, corrispondendo al 60-70% del consumo energetico totale dell'impianto [9]. A monte della camera di combustione possono essere eseguiti una premiscelazione di comburente e combustibile, un preriscaldamento della miscela, e una combustione a stadi. Tali operazioni di non si escludono vicendevolmente. A valle del forno, invece, i gas di scarico del processo possono essere trattati e smaltiti o riutilizzati.

Le operazioni di trattamento e smaltimento dei gas sono energivore, mentre le operazioni di riutilizzo dei gas costituiscono un risparmio energetico, essendo, dunque, preferibili. Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie nella fase di fusione sono riepilogate in *Tabella 11*, nella quale la 1° colonna indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, la 3° il riferimento bibliografico consultabile per ulteriori informazioni e, infine, la 4° riporta commenti da esperti di settore, utili a capire lo stato di applicabilità attuale dell'intervento e il suo livello di maturità.

Tabella 11: Soluzioni tecnologiche relative alla fase di fusione e affinaggio

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni fusori, bruciatori ed elettrodi	Effettuare un revamping o sostituire i forni attuali con altri forni tecnologicamente più avanzati	[8], [9], [18]	
	Ridurre perdite d'aria o ingresso d'aria dentro al forno installando sigilli nelle zone di posizionamento dei bruciatori	[8], [9], [19]	La soluzione è prevista anche nel BREF. Va implementata nei piani di manutenzione
	Ridurre perdite d'aria o ingresso d'aria dentro al forno installando guarnizioni e sigilli nella struttura esterna	[8], [9]	Vedere punto precedente
	Coibentare il forno e rinnovare il materiale refrattario, scegliendone uno più resistente all'usura e alla corrosione	[8], [9]	Soluzione da implementare nei piani di manutenzione. È previsto anche nel BREF. Si osserva che i forni fusori non possono essere spenti per il revamping, quindi la sostituzione del materiale refrattario con materiali più performanti durante il ciclo di vita (10-20 anni) non è possibile. La scelta di materiali più performanti anche in sede di ricostruzione a fine campagna è comunque limitata dall'assenza sul mercato di materiali refrattari elettrofusi veramente "rivoluzionari" dal punto di vista prestazionale
	Installare sistemi termofotovoltaici (TPV) nelle pareti del forno per recuperare perdite di calore e convertirle in energia elettrica	[20]	Nel caso di sistemi tipo <i>Cella Peltier</i> da applicare all'esterno del rivestimento refrattario per recuperare il calore che viene disperso attraverso la muratura del forno e del rigeneratore, la tecnologia è lungi dall'essere matura o economicamente sostenibile. Evidenze di letteratura in merito riportano livelli prestazionali molto scarsi ed eccessiva delicatezza/fragilità dei dispositivi, che li rendono poco adatti ad un ambiente industriale severo come quello della vetreria

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni fusori, bruciatori ed elettrodi	Installare forni con bruciatori che premiscelano aria e combustibile	[9]	Già attuata nel caso dei forni <i>unit melter</i> . Risulta una soluzione poco efficiente dal punto di vista energetico viste le inferiori temperature di preriscaldamento dell'aria ottenibili con questo sistema di recupero primario del calore residuo dei fumi. Peraltro, fiamme premiscelate rendono meno preciso il controllo sulla combustione, con conseguente rischio di incremento di emissioni di NOx, specialmente alle densità di combustione impiegate nei forni fusori
	Installare gorgogliatori, ottimizzandone il posizionamento	[9]	Ai bollitori, tecnologia che è stata molto utilizzata, si preferisce oggi, in molte applicazioni, l'inserzione diretta di elettrodi, a formare il cosiddetto " <i>barrier boosting</i> ", che, oltre a rimescolare il bagno per effetto dei moti convettivi di risalita innescati dal riscaldamento locale in corrispondenza dell'elettrodo, apporta energia al fuso, e contribuisce quindi positivamente al bilancio energetico del processo di fusione. L'uso di bollitori è ormai poco utilizzato a causa dei forti fenomeni di usura forno che provocavano
	Ottimizzare la posizione dei bruciatori nei forni a combustione, regolando l'angolo che formano con la superficie di vetro fuso	[9], [21], [22]	Già adottata. Rientra nella manutenzione relativa alla soluzione precedentemente elencata "Coibentare il forno e rinnovare il materiale refrattario, scegliendone uno più resistente all'usura e alla corrosione"
	Installare <i>vertically-fired furnaces</i> anziché usare forni con bruciatori orizzontali	[9], [21]	Questo tipo di tecnologia trova maggior diffusione nella produzione di fibre di rinforzo (es. vetro E) poiché permette un controllo molto fine sulla produzione di schiuma, destabilizzata dalle fiamme verticali, che agiscono direttamente sulla superficie del bagno. Non si conoscono applicazioni al vetro cavo e piano

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni fusori, bruciatori ed elettrodi	Installare <i>end-fired furnaces</i> anziché forni di tipo <i>cross-fired-furnaces</i>	[9]	Le performance dei 2 forni sono paragonabili, se non appena migliori per il crossfired (per effetto delle “economie di taglia”). La scelta della tipologia di forno è legata alla cavata, alla disponibilità di spazi e a limiti costruttivi, oltre che di investimento e del livello produttivo che si vuole ottenere dal forno
	Installare forni a combustione ad aria arricchita (<i>oxygen enriched air staging</i>)	[9]	Vedere punto seguente
	Installare forni a ossicombustione	[9], [11], [22]	Sul vantaggio energetico dell'ossicombustione parziale (<i>oxygen enrichment/boosting</i> a ossigeno) o totale non possiamo esprimerci perché ancora oggi è difficile avere una fotografia chiara che comprenda anche i consumi per la produzione dell'ossigeno. In generale, il consumo energetico per tonnellata di vetro di un forno ad ossicombustione non è molto diverso da quello di un forno end-port ben ottimizzato. Se poi nel bilancio complessivo consideriamo anche il consumo energetico legato alla produzione di O ₂ , allora il consumo energetico complessivo si attesta sulla media degli <i>end-port</i> . Il ragionamento vale anche per la CO ₂ che è legata solamente al minore consumo di combustibile essendo la parte legata alle materie prime sempre la stessa.
	Installare forni a <i>boosting</i> di ossigeno	[22]	
	Installare forni a convezione ad alta velocità	[9]	In sede di ricostruzione tipicamente il modello di bruciatore viene già scelto in funzione delle prestazioni ambientali ed energetiche ottimali
	Installare forni con bruciatori ad alta luminosità e ad alto rendimento	[9]	Vedere punto precedente
	Installare forni a combustione oscillante o riadattare i forni esistenti con valvola oscillante e controllore elettronico	[9]	

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni fusori, bruciatori ed elettrodi	Installare forni a combustione sommersa (SCM)	[9]	
	Installare forni a combustione con mezzi porosi (<i>porous media combustion</i> PMC, o <i>porous burner</i>)	[23], [24]	
	Installare forni a fusione elettrica	[9], [22], [25]	
	Ottimizzare la posizione degli elettrodi nei forni elettrici, regolando l'angolo che formano con la superficie di vetro fuso	[9], [26]	
	Installare <i>top heating electric furnaces</i> (nel caso di forni elettrici) anziché posizionare elettrodi nella parte bassa del forno	[9]	
	Installare forni a <i>boosting</i> elettrico	[9], [27]	
	Installare forni di fusione a segmenti	[9], [28]	
	Installare forni di fusione al plasma	[9], [11], [29]	
	Sostituire la fusione in forno con la produzione di vetro mediante processo chimico "sol-gel"	[19], [30]	
Sistemi di recupero/ rigenerazione dei gas di scarico	Installare forni recuperativi impiegando il calore dei gas di scarico per preriscaldare l'aria comburente	[9], [23], [31]	
	Installare forni rigenerativi di tipo <i>end-fired furnaces</i> (preferibilmente a più strati di mattoni refrattari)	[9], [32]	
	Installare sistemi rigenerativi di tipo <i>cross-fired furnaces</i> (preferibilmente a più strati di mattoni refrattari)	[9], [32]	

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero/ rigenerazione dei gas di scarico	Sostituire i mattoni refrattari nel rigeneratore con materiali opportunamente conformati (ad es. <i>corrugated cruciforms</i>)	[9]	
	Adottare bruciatori a bassa produzione di NO _x nei forni recuperativi o rigenerativi	[9]	
	Aumentare le dimensioni del rigeneratore per scambiare più calore e rilasciare gas di scarico a temperatura minore	[9]	
	Effettuare combustione usando aria sintetica (ossigeno + gas di scarico della rigenerazione)	[9], [33]	
	Recuperare calore dai gas di scarico e usarlo per preriscaldare vapore o rottami con preriscaldamento diretto	[9]	
	Recuperare calore dai gas di scarico e usarlo per preriscaldare vapore o rottami con preriscaldamento indiretto (scambiatori a piastre)	[9]	
	Recuperare calore dai gas di scarico e usarlo per preriscaldare vapore o rottami con preriscaldamento diretto combinati con filtri, cicloni o ESP (<i>raining bed preheaters</i>)	[9]	
	Sostituire i sistemi a vapore di recupero indiretto del calore dai gas di scarico, con sistemi di tipo ORC	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Fusione e affinaggio			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero/ rigenerazione dei gas di scarico	Installare caldaie (a condensazione, oppure con bruciatori <i>premix, sealed, low NOx</i> , recuperativi o ad alta luminosità) a recupero o a rigenerazione del calore dei gas di scarico	[8], [9]	
	Sostituire le caldaie con caldaie più avanzate, ottimizzandone la taglia	[9], [34]	
	Sostituire le caldaie con pompe di calore ad alto rendimento	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare assorbitori atti alla produzione di energia frigorifera (in ausilio ai chiller attuali), che accumulino energia del vapore in eccesso (già riscaldato, ma non utilizzato per la produzione di vetro) per il raffreddamento di processo	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare sistemi termofotovoltaici (TPV) nel rigeneratore del forno per recuperare le perdite di calore e convertirle in energia elettrica	[20]	

Dei 41 interventi riportati in *Tabella 11* e relativi alla fase di fusione, 38 sono stati reperiti in letteratura e 3 (celle in rosso) sono stati proposti dalle aziende nelle diagnosi energetiche.

3. Condizionamento e formatura

Dopo che la massa di vetro fusa e raffinata si è in parte raffreddata e ha riposato, esce dal forno fusorio mediante canali (*neck* e *throat*, paragrafo 2) ed entra negli “**avanfori**”, ossia i canali che trasportano il vetro fuso alle macchine formatrici. L'unico processo che non richiede avanfori è quello che produce vetro float [22]. Una volta attraversati i canali, il vetro entra nelle macchine da formatura dove assume la forma finale. Gli avanfori sono costituiti da materiale refrattario e la loro funzione principale è quella di condizionare il vetro, in modo da trasportarlo alla formatura nelle condizioni di temperatura ideali per effettuare il processo. Gli avanfori possono essere **riscaldati a gas** (mediante bruciatori), **elettronicamente** (mediante elettrodi) o in modo ibrido. Completata la condizionatura, il vetro giunge alle macchine da formatura (pressatura, soffiaggio, presso-soffiatura, stampaggio, laminazione, trafilatura, estrusione, macchine per avvolgere le fibre di vetro tra loro, forno (*lehr*) di ricottura, taglio, ecc). La forma e il funzionamento della macchina formatrice cambiano a seconda del tipo di processo e del tipo di prodotto finito che si desidera ottenere [9]:

- Formatura di contenitori di vetro (vetro cavo, casalingo o bianco di qualità)
- Formatura di vetro piano (con processo *float glass*, a laminatura continua o a trafilatura continua)
- Formatura di fibra di vetro (fibra di vetro continua, lana di vetro e fibra ottica).

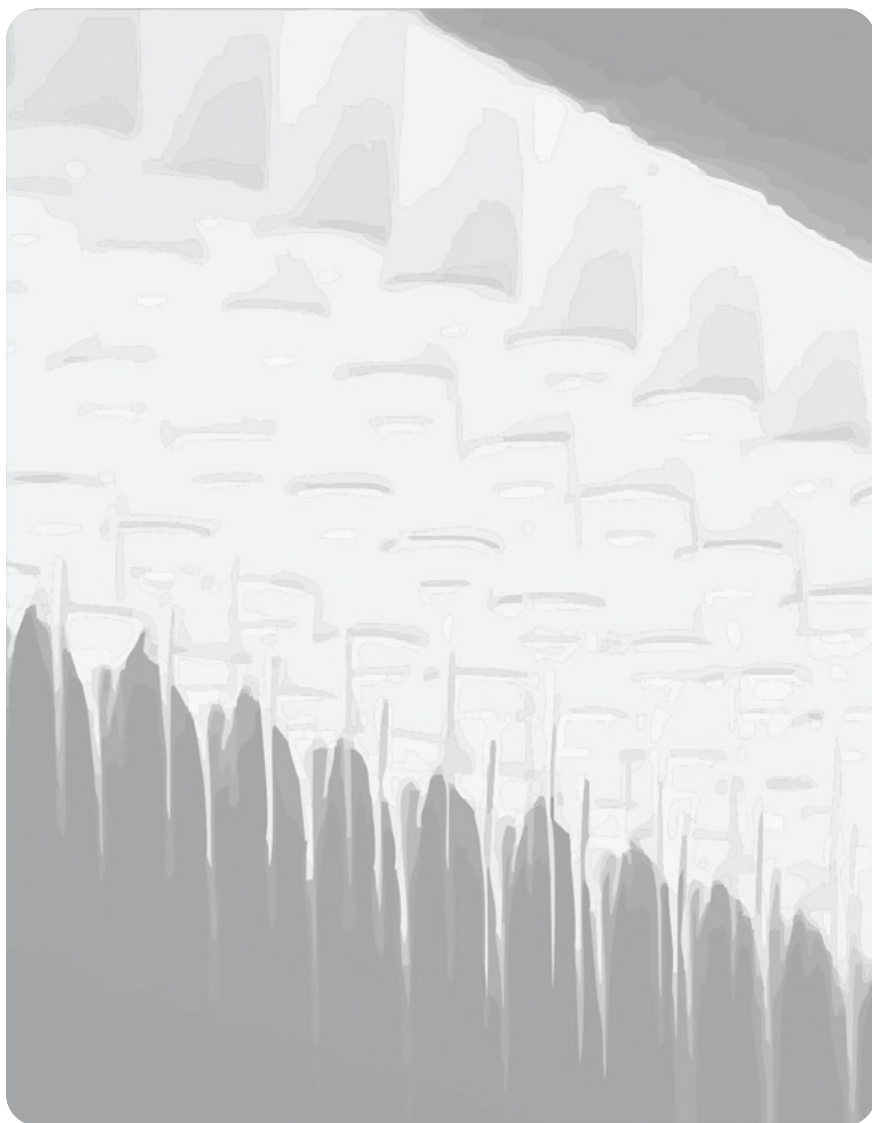
Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie di condizionamento e formatura sono riepilogate in *Tabella 12*, nella quale la 1° colonna indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, la 3° il riferimento bibliografico consultabile per ulteriori informazioni e, infine, la 4° riporta commenti da esperti di settore, utili a capire lo stato di applicabilità attuale dell'intervento e il suo livello di maturità.

Tabella 12: Soluzioni tecnologiche relative alla fase di condizionamento e formatura

Condizionamento e formatura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Canali di condizionamento, bruciatori ed elettrodi	Installare canali di condizionamento più avanzati e ottimizzarne numero, forma, posizione e dimensione degli scarichi	[9]	
	Sostituire i canali di condizionamento a gas riscaldati con combustione ad aria con canali a ossi-combustione	[9], [35]	Il vantaggio energetico va soppesato con le specifiche esigenze di puntuale controllo dell'omogeneità dell'assetto termico dei canali di distribuzione e <i>working end</i> , che potrebbero essere inficiate dalle differenti proprietà emissive delle fiamme a metano/O ₂ rispetto alle fiamme metano/aria.
	Sostituire i canali di condizionamento a gas con canali elettrici	[9]	A fronte delle problematiche di durata di vita utile dei canali riscaldati elettricamente, andrebbe soppesato attentamente l'eventuale vantaggio energetico, oltre che la sostenibilità.
Macchine per la formatura	Modificare le macchine da formatura o sostituirle con macchine più avanzate	[9]	
	Effettuare le operazioni di formatura usando tecniche a vuoto in sinergia con sistemi ad aria compressa	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Le macchine moderne già implementano sistemi a vuoto collegati agli stampi per coadiuvare la formatura
	Isolare termicamente le macchine da formatura, ad esempio coibentando gli estrusori e gli iniettori	[9]	Non è possibile isolare termicamente le macchine di formatura. Nella formatura il problema è infatti raffreddare in modo controllato gli stampi, al fine di far "solidificare" nel modo corretto il vetro al loro interno.
Sistemi di recupero dei gas di scarico	Recuperare calore dalla ciminiera di scarico del raffreddamento del condizionamento del vetro	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Sono già state fatte delle valutazioni per il recupero del calore emesso dalle aperture sul tetto o attraverso i refrattari della zona del forno, dei canali e della formatura. La quantità di energia recuperabile è ridotta e non giustifica l'investimento e le complicazioni impiantistiche necessarie a sfruttare questo calore con degli aerogeneratori.

Dei 7 interventi riportati in *Tabella 12,5* sono stati reperiti in letteratura e 2 (celle in rosso) sono stati proposti dalle aziende nelle diagnosi energetiche.

Tutti gli interventi riportati sono stati prima individuati in letteratura o nelle diagnosi e, successivamente, confermati e commentati da esperti di settore.



4. Finitura

Una volta che si è data la forma desiderata al prodotto di vetro, si possono applicare diversi trattamenti di finitura (seconde o addirittura terze lavorazioni) per influenzare ulteriormente le caratteristiche del risultato finale. Tra i trattamenti più ricorrenti in questa fase del processo di lavorazione si hanno [9]:

- Finitura meccanica (lavaggio, molatura, smerigliatura, foratura, intaglio, flessione e assemblaggio)
- Finitura chimica (opacificazione, rivestimento, manganatura, siliconatura e solforazione)
- Finitura termica (fusione locale, tempra, ricottura in forno spesso seguita da riposo e/o tempra, es. autoclavatura, raffreddamento con aria fredda, bagno d'acqua o bagno d'olio)

Questa fase del processo solitamente non è ad alta intensità energetica. Le strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie nella fase di finitura sono riepilogate in *Tabella 13*, nella quale la 1° colonna indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, la 3° il riferimento bibliografico consultabile per avere ulteriori informazioni sull'intervento e, infine, la 4° riporta commenti da esperti di settore, utili a capire lo stato di applicabilità attuale dell'intervento e il suo livello di maturità.



Tabella 13: Soluzioni tecnologiche relative alla fase di finitura

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Nastri e rulli per trasportare il vetro alla finitura	Riprogettare il <i>layout</i> d'impianto minimizzando le distanze tra forno fusorio e operazioni di rifinitura	[9]	Una volta prodotto il vetro lo stesso va condizionato portandolo alla temperatura di formatura. Non è un processo che può essere accelerato
	Isolare termicamente rulli e nastri che portano i semilavorati ai forni lehr	[9]	Il vantaggio energetico va soppesato con le specifiche esigenze di puntuale controllo dell'omogeneità dell'assetto termico dei canali di distribuzione e <i>working end</i> , che potrebbero essere inficiate dalle differenti proprietà emissive delle fiamme a metano/O ₂ rispetto alle fiamme metano/aria
	Sostituire sistemi di trasporto pneumatici, a vite o a catene con sistemi di tipo a nastro	[9], [10]	Non esistono per il mondo vetrario
Macchine da finitura, bruciatori ed elettrodi	Modificare le macchine da finitura o sostituirle con macchine più avanzate	[9]	
	Installare lavatrici e macchine da lavoro dotate di sistemi automatici di <i>stand-by</i> per interrompere le lavorazioni quando non sono richieste	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Si parla probabilmente dei sistemi impiegati nelle seconde lavorazioni del vetro piano
	Se presenti più stazioni di lavoro o più reparti affini, accorpate tutto in un'unica macchina. Nello specifico, la diagnosi fa riferimento all'unione di due reparti di assemblaggio	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Le macchine moderne già implementano sistemi a vuoto collegati agli stampi per coadiuvare la formatura
	Adottare sistemi di rivestimento del vetro di tipo a microonde	[9]	
	Sostituire le celle elettrolitiche per la produzione di idrogeno con celle più efficienti	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Preferire sistemi di raffreddamento ad aria (o al più evaporativi), piuttosto che a bagno d'acqua	[9]	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni di ricottura, tempra, bruciatori ed elettrodi	Effettuare un <i>revamping</i> dei forni attualmente presenti nell'impianto, modificandoli o sostituendoli con altri forni della stessa tipologia, ma tecnologicamente più avanzati	[8], [9], [20]	
	Ridurre perdite d'aria e trafileamenti d'aria fredda dentro al forno installando guarnizioni e sigilli nelle zone di posizionamento dei bruciatori	[9], [21]	
	Ridurre le perdite d'aria e impedire trafileamenti di aria fredda dentro al forno installando guarnizioni, sigilli e tende isolanti nella struttura esterna	[9]	
	Coibentare e isolare il forno e selezionare o rinnovare il materiale refrattario usato per la coibentazione, scegliendone uno più resistente all'usura e alla corrosione	[9]	
	Installare sistemi termofotovoltaici (TPV) nelle pareti del forno per recuperare le perdite di calore e convertirle in energia elettrica (in letteratura NON ci sono casi applicativi di questa soluzione)	[22]	
	Installare forni con bruciatori che premiscelano aria e combustibile (<i>premix burners</i>)	[9]	
	Installare gorgogliatori (<i>bubblers</i>), ottimizzandone il posizionamento, per uniformare lo scambio di calore e migliorare la qualità del vetro	[9]	
	Ottimizzare la posizione dei bruciatori nella camera di combustione, regolando l'angolo che essi formano con la superficie di vetro	[9], [21], [22]	
	Installare <i>vertically-fired furnaces</i> (nel caso di forni a combustione) anziché usare forni con bruciatori orizzontali	[9], [21]	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Forni di ricottura, tempra, bruciatori ed elettrodi	Installare forni a cottura finale (<i>end-fired furnaces</i>) anziché un forno di tipo <i>cross-fired</i>	[9]	
	Installare forni a combustione ad aria arricchita (<i>Oxygen Enriched Air Staging</i>)	[9]	
	Installare forni a ossicombustione (<i>oxy-fuel furnace</i> o <i>hot-oxy furnace</i>)	[9], [11], [22]	
	Installare forni a boosting di ossigeno	[22]	
	Installare forni a convezione ad alta velocità (<i>high speed convection</i>)	[9]	
	Installare forni con bruciatori ad alta luminosità e ad alto rendimento	[9]	
	Installare forni combustione oscillante o riadattare il forno esistente con valvola oscillante e controllore elettronico	[9]	
	Installare forni a combustione sommersa (SCM)	[9]	
	Installare forni a combustione con mezzi porosi (<i>porous media combustion PMC</i> , o <i>porous burner</i>)	[23], [24]	
	Installare forni a fusione elettrica	[9], [23], [27]	
	Ottimizzare la posizione degli elettrodi nei forni elettrici, regolando l'angolo che essi formano con la superficie di vetro caldo	[9], [26]	
	Installare <i>top heating electric furnaces</i> (nel caso di forni elettrici) anziché usare elettrodi posizionati nella parte inferiore del forno	[9]	
	Installare forni a <i>boosting</i> elettrico	[9], [27]	
	Installare forni di ricottura a segmenti	[9], [28]	
	Installare forni al plasma	[9], [11], [29]	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero dei gas di scarico	Installare forni recuperativi e bruciatori recuperativi (<i>recuperative burners</i>) per impiegare il calore dei gas di scarico per preriscaldare l'aria in ingresso alla combustione	[9], [21], [31]	
	Installare sistemi rigenerativi di tipo <i>end-fired furnaces</i> (preferibilmente a più strati di mattoni refrattari, detti " <i>multi-pass regenerators</i> ")	[9], [28]	
	Installare sistemi rigenerativi di tipo <i>cross-fired furnaces</i> (preferibilmente a più strati di mattoni refrattari, detti " <i>multi-pass regenerators</i> ")	[9], [28]	
	Sostituire i mattori refrattari nel rigeneratore con materiali opportunamente conformati (ad esempio, " <i>corrugated cruciforms</i> ")	[9]	
	Adottare dei bruciatori a bassa produzione di NOx (<i>Low NOx burners</i>) nei sistemi di recupero o rigenerazione dei forni	[9]	
	Aumentare le dimensioni del rigeneratore per scambiare più calore e rilasciare in ambiente i gas di scarico a temperatura minore	[9]	
	Effettuare una combustione usando aria sintetica (miscela di ossigeno + gas di scarico derivanti dalla rigenerazione opportunamente trasformati)	[9], [35]	
	Recuperare il calore dei gas di scarico. Usare preriscaldamento diretto	[9]	
	Recuperare il calore dei gas di scarico. Usare preriscaldamento indiretto (scambiatori a piastre)	[9]	
	Recuperare il calore dei gas di scarico. Usare preriscaldamento diretto combinati con filtri, cicloni o ESP (<i>raining bed preheaters</i>)	[9]	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero dei gas di scarico	Sostituire i sistemi a vapore di recupero indiretto del calore dei gas di scarico, con sistemi di tipo ORC (che usano metano o altri fluidi organici)	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Nel caso di recupero termico secondario del calore dei fumi (a valle del rigeneratore / recuperatore dei forni fusori), raramente si sono installati sistemi basati su turbine a vapore, data la rigidità di questa tecnologia ed il rischio di distruzione di rotori e statori in corrispondenza alla formazione di vapore umido, per es dovuta ad una fluttuazione nelle temperature dei fumi di partenza. Generalmente vengono installate turbine ORC, relativamente più flessibili e meno impattanti sul processo vetrario a monte
	Installare caldaie (a condensazione, oppure con bruciatori di tipo <i>premix, sealed, low NOx</i> , recuperativi o ad alta luminosità) a recupero o a rigenerazione del calore proveniente dalle fasi di tempra o ricottura	[8], [9]	Si tratta di recuperi marginali, ad oggi impiegati al massimo per il riscaldamento invernale o la produzione di ACS
	Sostituire le caldaie con caldaie più avanzate (<i>revamping</i>), ottimizzandone la taglia	[9], [34]	
	Sostituire le caldaie con pompe di calore ad alto rendimento	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare un assorbitore atto alla produzione di energia frigorifera (in ausilio ai chiller attuali), che accumuli l'energia del vapore in eccesso (già riscaldato, ma non utilizzato per la produzione di vetro) per il raffreddamento di processo	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Finitura			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Sistemi di recupero dei gas di scarico	Installare sistemi termofotovoltaici (TPV) nel rigeneratore del forno per recuperare le perdite di calore e convertirle in energia elettrica (in letteratura NON ci sono casi applicativi di questa soluzione)	[20]	

Dei 49 interventi riportati in Tabella 13, 44 sono stati reperiti in letteratura e 6 (in rosso) sono stati proposti nelle diagnosi energetiche.

10.2 Impianti ausiliari

Tutte le fasi di processo prevedono l'impiego di impianti ausiliari, le cui strategie per ridurre i consumi energetici delle tecnologie sono riepilogate in *Tabella 14*. La 1° colonna della tabella indica il macchinario su cui l'intervento agisce, la 2° fornisce una descrizione dell'intervento, la 3° il riferimento bibliografico consultabile per avere ulteriori informazioni e, la 4° commenti da esperti di Assovetro), utili a capire lo stato di applicabilità attuale dell'intervento e il suo livello di maturità.

Per completezza sono state inserite sono stati inseriti anche alcuni interventi di efficientamento energetico trasversali a tutti i settori manifatturieri, come ad esempio, sostituzione di motori elettrici.

Tabella 14: Soluzioni tecnologiche relative a impianti ausiliari

Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Motori	Installare motori a velocità variabile (ASD,VSD)	[9]	Dove possibile
	Installare motori elettrici efficienti IE2, IE3, IE4	[8], [9]	Già per legge
	Sostituire le cinghie di trasmissione trapezoidali con cinghie nuove o più efficienti, ad esempio quelle dentate (preferibilmente per alte coppie) per ottimizzare le tensioni	[8], [9]	Dove possibile
	Ristabilire il pretensionamento delle cinghie dei motori	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Dove possibile
	Rifasare i motori (trifase) per ribilanciare i carichi di ogni fase mediante l'uso di condensatori	[9]	Dove possibile
	Riavvolgere i motori elettrici già presenti in impianto (rewind motors)	[9]	Dove possibile
	Installare <i>inverter</i>	[8], [9], [26]–[38]	Dove possibile
	Sostituire motori a cinghia con motori idraulici o riduttori	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Dove possibile
	Ri-cablare i motori	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Dove possibile
	Installare motori correttamente dimensionati rispetto alle potenze richieste dall'impianto	[8], [9]	Dove possibile
Compressori, pompe, ventilatori e sistemi di iniezione aria compressa, refrigerazione o trattamento acqua	Sostituire compressori, pompe, sistemi d'adduzione aria e sistemi frigoriferi con macchinari più efficienti	[9], [39]	

Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Compressori, pompe, ventilatori e sistemi di iniezione aria compressa, refrigerazione o trattamento acqua	Sostituire compressori necessari a raffreddare, aspirare, agitare, mescolare o gonfiare il vetro con ventilatori e soffiatori	[9]	Dove possibile è già stato realizzato
	Installare guarnizioni o altri dispositivi oppure sostituire i componenti danneggiati per ridurre le perdite d'aria compressa nelle giunzioni dei tubi e nei punti soggetti a trafilamento	[8], [9], [40]	
	Dimensionare correttamente tubi, raccordi, filtri e manichette per minimizzare le perdite d'aria	[8], [40]	
	Sostituire compressori necessari a pulire o rimuovere detriti con spazzole, pompe a vuoto o soffiatori	[9]	
	Sostituire compressori necessari a movimentare componenti con soffiatori o attuatori elettrici o idraulici	[9]	Solo dove possibile in base alla produzione e alla disponibilità della tecnologia.
	Sostituire compressori necessari a creare il vuoto con pompe a vuoto	[9]	
	Sostituire compressori per alimentare macchine, utensili e attuatori con motori elettrici	[39]	
	Selezionare il compressore adeguato alle richieste di impianto	[8]	
	Installare valvole e regolatori di pressione nei sistemi di distribuzione dell'aria compressa per regolare l'afflusso di aria o interromperlo quando non viene usato dai macchinari	[9]	
	Usare sistemi <i>dry-cooler</i> anziché <i>chiller</i> (frigoriferi) per raffreddare l'acqua	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

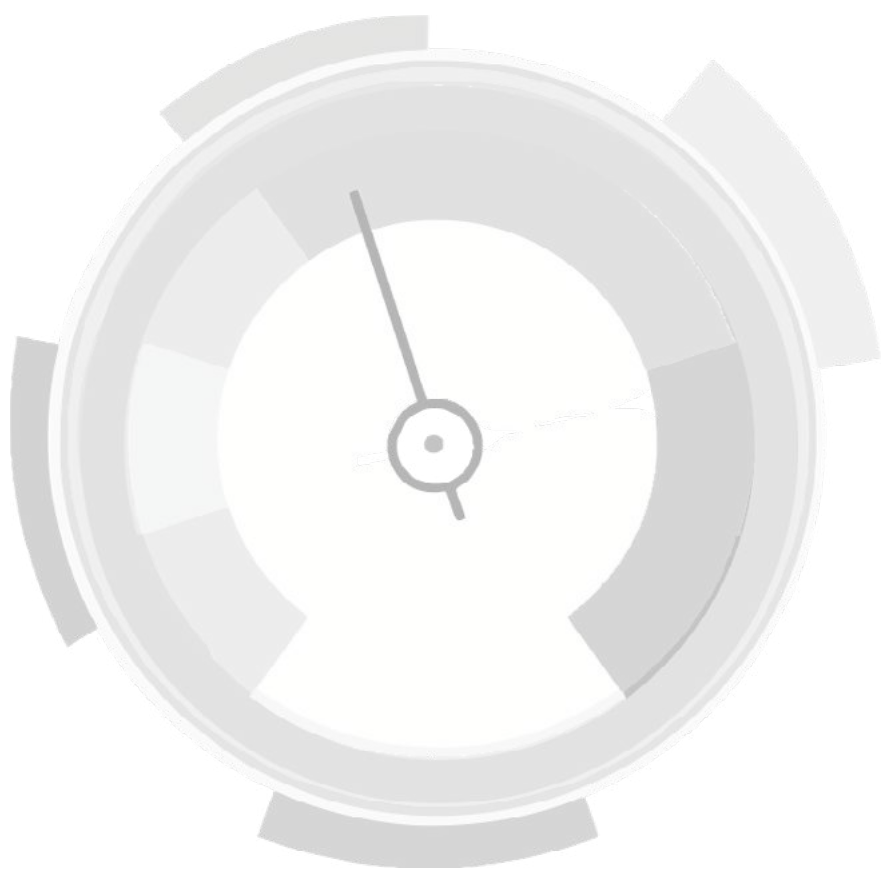
Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Compressori, pompe, ventilatori e sistemi di iniezione aria compressa, refrigerazione o trattamento acqua	Installare tubi con diametro più grande possibile nei sistemi di distribuzione dell'aria per ridurre le perdite	[8], [41]	
	Installare compressori alimentati a corrente elettrica (aventi minori costi di manutenzione e downtime e maggior vita utile)	[9]	
	Installare compressori alimentati a gas (per cui è più facile ottenere macchine a velocità variabile, generando minori costi operativi d'impianto)	[9]	
	Sostituire e rinnovare gli ugelli di erogazione dell'aria compressa (che potrebbero essere usurati, otturati o corrosi)	[9]	
	Installare serbatoi e sistemi per lo stoccaggio dell'aria compressa in eccesso	[8]	
	Installare sistemi di raffreddamento dell'aria compressa (ad esempio mediante acqua di torre) per ridurre il consumo energetico degli essiccatori	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare scambiatori o altri sistemi di recupero del calore proveniente dai compressori	[8], [39], [40]	

Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Rif.	Commenti da esperti di settore
Trasformatori di energia elettrica e altri elementi	Installare sistemi per migliorare la qualità della potenza elettrica e l'alimentazione del sistema. Un esempio possibile è il sistema brevettato " <i>E-Power System</i> " (filtro passivo) che riduce i fenomeni di disturbo sui componenti sensibili d'impianto e la suscettibilità, regolando l'induttanza in modo da adattarla all'assorbimento di potenza richiesto dal sistema	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Rinnovare i trasformatori nella cabina elettrica (installando preferibilmente trasformatori <i>k-factor</i>)	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Ottimizzare le perdite dei trasformatori nella cabina elettrica	[9]	
	Sostituire trasformatori ad olio con trasformatori a resina (hanno meno perdite)	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare una centralina di rifasamento di tutto l'impianto elettrico e rifasare l'impianto	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare UPS (preferibilmente rotanti, non statici), ossia filtri passivi per garantire continuità e qualità all'energia elettrica	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
Impianti di immissione, prelievo, trattamento e riciclo di acqua, aria ed emissioni inquinanti	Modificare o sostituire gli impianti di trattamento dell'acqua con impianti più avanzati	[8]	
	Installare sistemi di recupero dell'acqua altrimenti smaltita in fognatura e riutilizzo di essa come acqua di reintegro per le torri evaporative	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti di settore
Impianti di immissione, prelievo, trattamento e riciclo di acqua, aria ed emissioni inquinanti	Recuperare calore a valle del sistema di filtraggio e trattamento fumi	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	A valle dei sistemi di filtrazione e trattamento dei fumi questi ultimi si trovano tipicamente ad una temperatura di circa 300°C per gli elettrofiltri, o ancora più bassa per i filtri a maniche, pertanto il livello termico del calore recuperabile è poco “appetibile” per recuperi interni al processo vetrario. Diversa è la situazione se si volesse recuperare questo calore per altre applicazioni (ACS, riscaldamento invernale, climatizzazione con assorbitori, teleriscaldamento). Risulta comunque di gran lunga più interessante recuperare il calore dei fumi in uscita dal rigeneratore (T dell'ordine dei 550°C), a monte dell'impianto di filtrazione, per es. tramite turbine ORC o sistemi di preriscaldamento. In ogni caso, la scelta deve essere ingegneristicamente ponderata con attenzione, giacché comporta inevitabili complicazioni impiantistiche, effetti collaterali da gestire, ed introduce nuovi “constraint” sul processo produttivo primario (es. necessità di mantenere un certo livello termico costante nei fumi, per non perdere stabilità nei processi downstream). Inoltre, l'abbattimento della temperatura dei fumi va a ridurre il diametro del cono di ricaduta delle immissioni con conseguente impatto ambientale e di conseguenza Autorizzativo da parte degli Enti di Controllo
	Installare sistemi avanzati per l'abbattimento di NOx nella ciminiera a valle del forno fusorio	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Sostituire gli spurghi di condensa manuali con spurghi automatici più efficienti	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	

Impianti ausiliari			
Oggetto della soluzione	Soluzione	Riferimento	Commenti da esperti di settore
Impianti di immissione, prelievo, trattamento e riciclo di acqua, aria ed emissioni inquinanti	Sostituire le unità di trattamento dell'aria (UTA) nelle <i>clean-room</i>	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	
	Installare elettrofiltri avanzati per trattare i fumi e ripulirli prima di immetterli in atmosfera	Soluzione estratta dalle diagnosi energetiche	Gli impianti di filtrazione sono già implementati in pressoché tutte le realtà produttive

Dei 41 interventi riportati in *Tabella 14*, 25 sono stati prima reperiti in letteratura e 16 (celle in rosso) sono stati proposti dalle aziende nelle diagnosi energetiche.





ANALISI DEGLI INTERVENTI
INDIVIDUATI ED EFFETTUATI
NELLE DIAGNOSI ENERGETICHE

II. Analisi degli interventi individuati ed effettuati nelle diagnosi energetiche

Questo capitolo conclusivo ha lo scopo di mettere a fattor comune le soluzioni che esperti del settore hanno individuato per efficientare i siti produttivi del settore del vetro. Viene pertanto riportata un'analisi degli interventi di efficientamento energetico proposti o realizzati all'interno delle diagnosi energetiche suddivisi per aree di intervento.

II.1 Metodologia di analisi

L'obiettivo della metodologia qui sviluppata è stato la sistematizzazione dell'analisi degli interventi effettuati e individuati riportati nelle diagnosi, elaborando un approccio metodologico replicabile per ogni Ateco e aggiornabile nel tempo. Tale approccio è diretto a monitorare i risparmi conseguiti e potenziali e fornire informazioni utili agli operatori del settore e ai policy makers.

Le informazioni caricate sul portale Audit 102 e automaticamente raccolte in un unico database hanno costituito una fondamentale base di partenza per elaborare le informazioni di seguito presentate. Le informazioni non sono state utilizzate tal quali, ma è stata applicata una metodologia di analisi che ha previsto alcuni step di riorganizzazione dei dati e verifica della loro coerenza.

Gli step metodologici applicati possono essere così sintetizzati:

1. Ricodifica di circa 300 aree di intervento individuali in 16 principali, descritte in Tabella 15⁶
2. Individuazione degli indicatori di interesse, così elencabili
 - Risparmio totale di energia finale
 - Risparmio totale di energia primaria
 - Risparmi per tipologia: risparmi di energia elettrica, risparmi di energia termica, risparmi di carburante, altri risparmi
 - Tempo di ritorno semplice
 - Investimento
 - Costo efficacia, definito come Investimento/risparmio di energia finale

⁶ L'elenco di interventi riportato nella seconda intende avere un carattere esemplificativo e non esaustivo di tutti i possibili interventi. Chiaramente ogni area di intervento sarà più o meno rilevante a seconda delle specificità del codice Ateco esaminato e anche del sito produttivo oggetto di diagnosi.

o primaria.

3. Definizione e calcolo delle variabili che non erano presenti nel database, come risparmi totali e costo efficacia; in questo step è stata effettuata la conversione in tep dei risparmi elettrici e termici in tep di energia finale o primaria
4. Eliminazione dei duplicati dei risparmi elettrici, termici o di carburante rispetto ai valori riportati alla voce altri risparmi
5. Definizione delle aree di intervento con risparmi di energia primaria e correzione dei relativi risparmi, ove necessario
6. Riallocazione dei risparmi di carburante nelle categoria di appartenenza rilevante di caso in caso, individuabile tra risparmi elettrici, termici e altri risparmi
7. Analisi delle singole diagnosi per specifici codici Ateco e verifica/ integrazione delle informazioni relative agli interventi caricate sul portale.

In particolare, relativamente al punto 5, le aree di intervento con risparmi di energia primaria sono state identificate in Cogenerazione/ Trigenerazione e Produzione da fonti rinnovabili. Il risparmio di energia elettrica associato all'autoproduzione di energia elettrica è considerato un risparmio di energia primaria, in quanto tale energia elettrica non viene più prelevata dalla rete e quindi prodotta dal sistema di generazione nazionale. Nel caso dell'area Cogenerazione/Trigenerazione, o di alcuni interventi nell'area Produzione da fonti rinnovabili associati alla produzione di energia termica, un discorso analogo può essere applicato alla produzione di calore.

Tabella 15 – Aree di classificazione degli interventi e relativa descrizione

Area intervento	Descrizione
Altro	• Interventi non altrove classificati • Interventi di natura mista, appartenenti a diverse categorie (per esempio la riqualificazione globale, con interventi ricadenti nelle aree Climatizzazione, Involucro edilizio e Illuminazione)
Aria compressa	• Sostituzione di compressori • Ricerca ed eliminazione delle perdite • Installazione di sistemi di misura • Ottimizzazione degli impianti • Installazione di inverter
Aspirazione	• Sostituzione di motori usati per aspirazione con nuovi di categoria più efficiente (IE3 o superiore) • Installazione di inverter • Ottimizzazione degli impianti

Area intervento	Descrizione
Centrale termica/ Recuperi termici	• Sostituzione dell'impianto di generazione calore con modelli più efficienti • Recupero termico, tra cui anche sistemi ORC • Sostituzione dei bruciatori
Climatizzazione	• Sostituzione dell'impianto di riscaldamento e/o raffrescamento con modelli più efficienti
Cogenerazione/ Trigenerazione	• Installazione di un impianto di cogenerazione o trigenerazione • Miglioramento di impianti esistenti
Freddo di processo	• Sostituzione di gruppi frigo • Sostituzione di ventilatori di raffreddamento • Ottimizzazione della gestione
Generale/Gestionale	• Introduzione o miglioramento del sistema di monitoraggio • Interventi di tipo organizzativo, come lo spegnimento programmato nelle ore notturne o nel weekend • Corsi di formazione in ambito efficienza energetica • Adozione della certificazione ISO 50001 • Installazione di contatori • Adozione di nuovi strumenti software • Interventi di natura comportamentale
Illuminazione	• Introduzione di LED in aree specifiche • Relamping dello stabilimento • Installazione di rilevatori di presenza
Impianti elettrici	• Installazione di un sistema power quality • Sostituzione di trasformatori • Installazione di economizzatori di rete
Involucro edilizio	• Rifacimento del cappotto esterno • Coibentazione della copertura • Installazione o sostituzione di schermature solari • Sostituzione degli infissi
Linee produttive	• Interventi relativi ai processi nell'area attività principale, come ad esempio: • Sostituzione del forno fusorio • Revamping dello stabilimento • Ottimizzazione della gestione dei forni • Interventi sui nastri trasportatori • Sostituzione dei carica batteria muletti
Motori elettrici/ Inverter	• Sostituzione di motori elettrici con nuovi di categoria più efficiente (IE3 o superiori) • Installazione di inverter
Produzione da fonti rinnovabili	• Installazione di un impianto fotovoltaico, solare termico o di una centrale a biomassa
Rifasamento	• Rifasamento degli impianti • Installazione di nuovi rifasatori

Area intervento	Descrizione
Trasporti	• Mobilità elettrica e altri interventi di conversione del parco veicoli con modelli a maggiore efficienza • Corsi di formazione su eco-driving
Reti di distribuzione	• Ricerca delle perdite di distribuzione • Verifica dello stato della rete vapore • Verifica delle coibentazioni nella rete di trasporto calore • Sostituzione di scaricatori di condensa

I 1.2 Risultati complessivi della Divisione ATECO 23

Le diagnosi energetiche inviate ad ENEA e caricate sul portale Audit 102 riportano 7.513 interventi effettuati, da parte di 2.429 imprese. Gli interventi individuati attraverso le diagnosi energetiche sono invece 31.261 e si riferiscono a 5.870 imprese, di cui 2.801 imprese che si dichiarano energivore.

Secondo quanto dichiarato nelle diagnosi, gli interventi effettuati hanno consentito il raggiungimento di un risparmio di energia finale di 475 ktep/anno e di un risparmio di energia primaria di 193 ktep/anno, associato a interventi nelle categorie Cogenerazione/Trigenerazione e Produzione da fonti rinnovabili. Gli interventi individuati, se realizzati, sarebbero associati a un risparmio di energia finale di circa 1,690 Mtep/anno, suddiviso in diverse tipologie: risparmi di energia elettrica (23% del totale), di energia termica (14%), di carburante (4%) e altri risparmi (59%). La categoria altri risparmi può contenere diverse tipologie di risparmi, ad esempio risparmi associati a vettori energetici non altrove classificati o risparmi di energia finale o primaria relativi a più di un vettore energetico (ad esempio calore ed energia elettrica negli interventi di cogenerazione)⁷. Gli interventi individuati sarebbero inoltre associati ad un risparmio di energia primaria di circa 0,859 Mtep/anno, riconducibile alle aree di intervento Cogenerazione/Trigenerazione e Produzione da fonti rinnovabili.

Sette divisioni Ateco, appartenenti ai settori C (Attività manifatturiere) e G (Commercio all'ingrosso e al dettaglio;

⁷ La categoria è attualmente oggetto di approfondimento. Per l'Ateco 23, sulla base delle informazioni eventualmente disponibili in diagnosi energetica, si è proceduto a riallocare i risparmi categorizzati come altri risparmi nelle altre tre categorie più specifiche. In questo modo la categoria "Altri risparmi" è rimasta una categoria residuale.

Riparazione di autoveicoli e motocicli) arrivano a rappresentare circa la metà del totale degli interventi complessivi individuati. La Divisione Ateco 23, Fabbricazione di altri prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi, la quinta in ordine decrescente di importanza, con una quota pari al 5,9% del totale (1.852 interventi).

Per la Divisione Ateco 23 sono state esaminate le diagnosi di 12 codici Ateco⁸ per integrare e, ove necessario, correggere le informazioni relative agli interventi caricate sul portale, come da step 7 della metodologia descritta nel paragrafo precedente. L'esito di questa analisi è stato anche la produzione delle schede per i codici Ateco 23.11.00 Fabbricazione di vetro piano, 23.12.00 Lavorazione e trasformazione del vetro piano, 23.13.00 Fabbricazione di vetro cavo, riportate in *Appendice*.

Per ognuno di questi codici Ateco la scheda elaborata contiene tabelle e grafici di sintesi degli indicatori calcolati, di cui è riportata un'idea della struttura in *Figura 24*.

Le tabelle relative agli interventi effettuati sono proposte anche relativamente agli interventi individuati e in questo caso l'analisi è corredata da informazioni relative al tempo di ritorno. Le schede relative ai tre codici sopra elencati possono essere consultate in conclusione del capitolo. È inoltre proposta una scheda per la Divisione 23, con le informazioni complessive relative a tutti i codici Ateco ad essa appartenenti.

⁸ Si tratta dei seguenti codici: 23.11.00 Fabbricazione di vetro piano; 23.12.00 Lavorazione e trasformazione del vetro piano; 23.13.00 Fabbricazione di vetro cavo; 23.31.00 Fabbricazione di piastrelle in ceramica per pavimenti e rivestimenti; 23.32.00 Fabbricazione di mattoni, tegole ed altri prodotti per l'edilizia in terracotta; 23.51.00 Produzione di cemento; 23.52.10 Produzione di calce; 23.61.00 Fabbricazione di prodotti in calcestruzzo per l'edilizia; 23.69.00 Fabbricazione di altri prodotti in calcestruzzo, gesso e cemento; 23.70.10 Segazione e lavorazione delle pietre e del marmo; 23.70.30 Frantumazione di pietre e minerali vari non in connessione con l'estrazione; 23.99.00 Fabbricazione di altri prodotti in minerali non metalliferi nca.

Figura 24 – Sezioni della scheda interventi

[illegible]

Risparmi per tipologia

Risparmio totale e medio per intervento

Risparmio/Consumo (totale, elettrico e termico)

È di seguito fornita una rappresentazione combinata di investimento e risparmio energetico, suddividendo i punti, rappresentativi dei singoli interventi, in quattro quadranti. I quadranti sono definiti in base alla mediana della distribuzione di risparmio di energia finale o primaria (linea orizzontale) e investimento (linea verticale), in ogni specifica area di intervento esaminata. Ricordando che il costo efficacia è definito come il rapporto tra investimento e risparmio energetico, il quadrante in alto a sinistra rappresenta gli interventi con migliore costo efficacia (interventi più convenienti) e quello in alto a destra gli interventi efficaci. Nel caso della *Figura 25* viene rappresentata l'aria compressa, un'area di intervento trasversale ai codici Ateco esaminati della Divisione 23, che arriva a rappresentare un terzo degli interventi individuati nel codice Ateco 23.13⁹. In figura il gruppo Ateco 23.1 viene confrontato con altri i gruppi Ateco, come indicato in legenda.

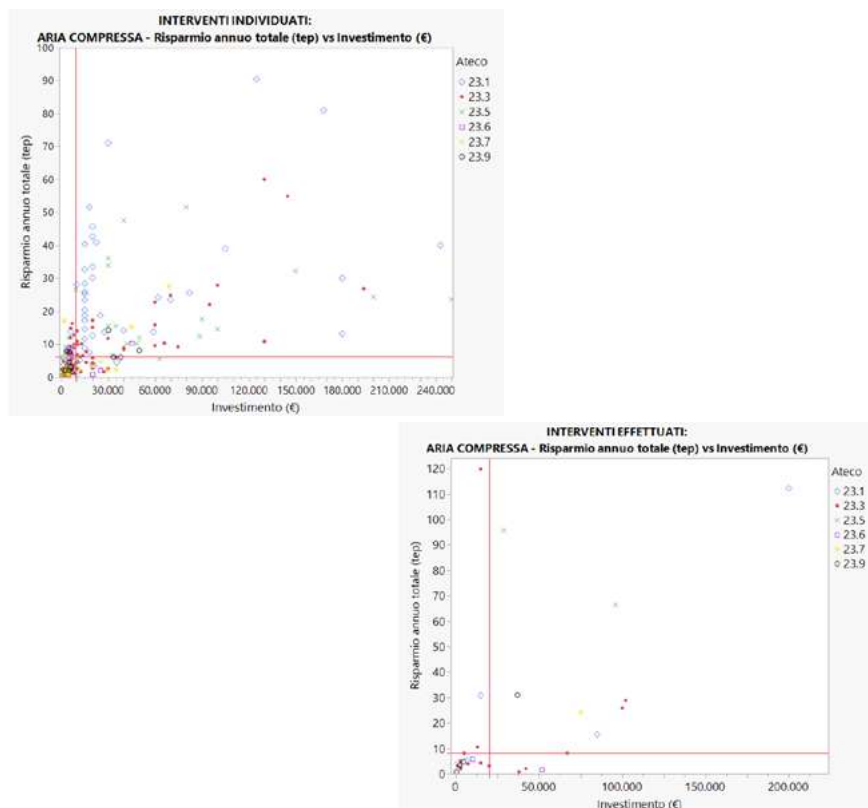


Figura 25 – Costo efficacia degli interventi effettuati e individuati nella categoria Aria compressa

⁹ Prendendo a riferimento le diagnosi pervenute a ENEA da parte di tutti i codici Ateco, l'aria compressa rappresenta il 15% sul totale degli interventi effettuati e il 17% sul totale degli interventi individuati.

Di seguito sono proposti due ulteriori grafici sul costo efficacia, di confronto degli interventi individuati tra diversi gruppi Ateco. La *Figura 26*, relativa agli interventi nell'area Generale/Gestionale mostra un quadrante di interventi a migliore costo efficacia molto popolato, in particolare da interventi che a parità di costo di investimento forniscono risparmi di energia finale variabili a seconda della dimensione e del processo del sito produttivo esaminato. La *Figura 27* rappresenta i risparmi di energia primaria associati agli interventi individuati nell'area Produzione da fonti rinnovabili, e mostra un loro andamento lineare al costo di investimento.

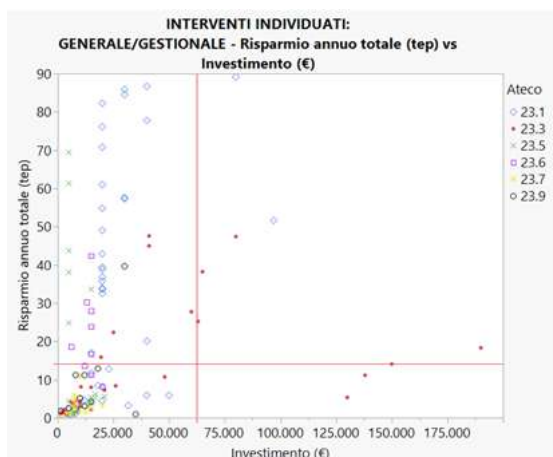


Figura 26 – Costo efficacia degli interventi individuati nell'area Generale/Gestionale

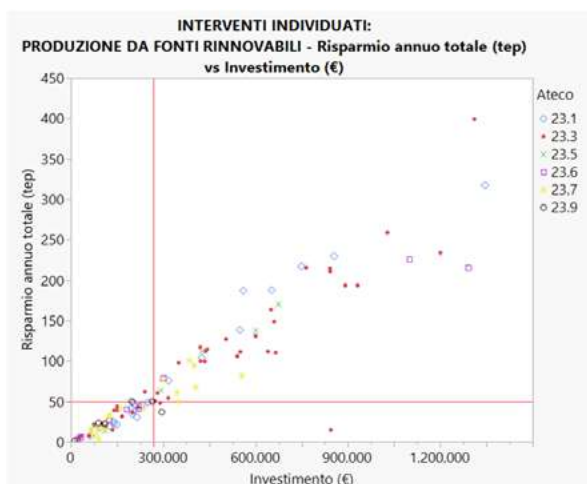


Figura 27 – Costo efficacia degli interventi individuati nell'area Produzione da fonti rinnovabili

11.3 Risultati per il settore vetro

Le informazioni contenute nelle schede possono essere sintetizzate organizzandole in tabelle qualitative e quantitative di sintesi. La *Tabella 16* sintetizza la presenza di interventi effettuati e individuati nelle diverse aree per i codici Ateco esaminati appartenenti al settore vetro. Si fa riferimento agli interventi con informazioni, cioè descritti in termini di risparmio conseguito o potenziale e di costo di investimento.

Una scala di colori indica la numerosità degli interventi, che chiaramente dipende dal numero di diagnosi pervenute per ogni codice Ateco ma anche dalla qualità della diagnosi stessa.

	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa	●	○●	○●
Aspirazione	●		●
Centrale termica/Recuperi termici	○●	●	●
Climatizzazione	●	●	○
Cogenerazione/Trigenerazione			
Freddo di processo	●	○●	●
Generale/Gestionale	●	●	○●
Illuminazione	○●	○●	○●
Impianti elettrici	●	●	
Involucro edilizio			○
Linee produttive	○●	○●	○●
Motori elettrici/Inverter	○●	○●	○●
Produzione da fonti rinnovabili	●	○●	
Rifasamento		○●	○
Trasporti			
area presente in interventi effettuati con informazioni	○		
area presente in interventi individuati con informazioni	●		
se interventi individuati >20			
se interventi effettuati e individuati >20			
se interventi effettuati >20			

Tabella 16 – Quadro di sintesi del numero interventi effettuati ed individuati

La *Tabella 17* fa riferimento agli interventi effettuati e sintetizza la presenza di risparmi elettrici e termici per ogni area di intervento e codice Ateco.

Anche in questo caso una scala di colori indica se il valore dei risparmi totali conseguito in quel codice Ateco è superiore a una soglia, individuata in 50 tep

sulla base della distribuzione osservata. Il valore dei risparmi è strettamente collegato al numero di diagnosi pervenute a ENEA ma anche a specificità settoriali e di sito produttivo.

	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa		◇	◇
Aspirazione			
Centrale termica/Recuperi termici	◇ □		
Climatizzazione			□
Cogenerazione/Trigenerazione			
Freddo di processo		◇	
Generale/Gestionale			◇ □
Illuminazione	◇	◇	◇
Impianti elettrici			
Involucro edilizio			◇ □
Linee produttive	□	◇	◇ □
Motori elettrici/Inverter	◇	◇	◇
Produzione da fonti rinnovabili	◇	◇	
Rifasamento		◇	◇
Trasporti			

area presente in interventi effettuati con informazioni	◇
area presente in interventi individuati con informazioni	□
se interventi individuati >20	
se interventi effettuati e individuati >20	
se interventi effettuati >20	

Tabella 17 – Quadro di sintesi dei risparmi da interventi effettuati

Nelle due tabelle successive sono fornite maggiori informazioni, in termini quantitativi, relativamente ai risparmi di energia finale conseguiti dagli interventi effettuati per area di intervento e codice Ateco. In particolare si riportano i risparmi elettrici (Tabella 18) attraverso due indicatori per ogni area di intervento:

1. risparmi totali rapportati al consumo elettrico totale di ogni codice Ateco (tabella superiore);
2. risparmi medi della specifica area di intervento rapportati al consumo elettrico totale di ogni codice Ateco (tabella inferiore).

Gli stessi due indicatori sono proposti nella Tabella 19 con riferimento ai risparmi termici, totali e medi, e ai consumi termici di ogni codice Ateco.

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	23.11.00	23.12.00	23.13.00	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa		5,2 (0,03%)	566,8 (0,18%)		1,7 (0,01%)	51,5 (0,02%)
Aspirazione						
Centrale termica/Recuperi termici	35,8 (0,22%)			11,9 (0,07%)		
Climatizzazione						
Freddo di processo		13,8 (0,07%)			3,4 (0,02%)	
Generale/Gestionale			14,5 (0,00%)			2,4 (0,00%)
Illuminazione	64,2 (0,40%)	60,4 (0,30%)	93,8 (0,03%)	16,0 (0,10%)	6,7 (0,03%)	31,3 (0,01%)
Impianti elettrici						
Involucro edilizio			55,1 (0,02%)			27,5 (0,01%)
Linee produttive		0,9 (0,00%)	132,1 (0,04%)		0,4 (0,00%)	5,7 (0,00%)
Motori elettrici/Inverter	17,0 (0,11%)	0,4 (0,00%)	46,7 (0,01%)	5,7 (0,04%)	0,4 (0,00%)	46,7 (0,01%)
Rifasamento		1,7 (0,01%)			1,7 (0,01%)	
Trasporti						

Tabella 18 – Risparmi elettrici da interventi effettuati (tep e %)

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	23.11.00	23.12.00	23.13.00	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa						
Aspirazione						
Centrale termica/Recuperi termici	23,1 (0,01%)			7,7 (0,00%)		
Climatizzazione			496,1 (0,1%)			99,2 (0,02%)
Freddo di processo						
Generale/Gestionale			146,0 (0,02%)			24,3 (0,00%)
Illuminazione						
Impianti elettrici						
Involucro edilizio			6,5 (0,00%)			3,2 (0,00%)
Linee produttive	5.087,6 (3,08%)		8.285,9 (1,36%)	5.087,6 (3,08%)		360,3 (0,00%)
Motori elettrici/Inverter						
Rifasamento						
Trasporti						

Tabella 19 – Risparmi termici da interventi effettuati (tep e %)

La *Tabella 20* sintetizza la presenza di interventi individuati nelle diverse aree di intervento per i codici Ateco oggetto di analisi. Gli interventi individuati sono generalmente in numero maggiore rispetto agli interventi effettuati per ogni codice Ateco e sito esaminato. È opportuno ricordare che gli interventi individuati sono un set di proposte contenuto in diagnosi energetica: in quanto tali non saranno attuati tutti e la loro eventuale implementazione sarà dilazionata nel tempo. Il risparmio è quindi da intendersi come un risparmio potenziale, ragion per cui in questo caso non si è ritenuto opportuno identificare una soglia di risparmio.

	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa	◇	◇	◇□
Aspirazione			◇
Centrale termica/Recuperi termici	◇□	□	◇□
Climatizzazione	◇□	◇□	
Cogenerazione/Trigenerazione			
Freddo di processo	◇	◇□	
Generale/Gestionale	◇□	◇□	◇□
Illuminazione	◇	◇	◇
Impianti elettrici	◇	◇	
Involucro edilizio			◇
Linee produttive	◇□	◇	◇□
Motori elettrici/Inverter	◇	◇	
Produzione da fonti rinnovabili			
Rifasamento			
Trasporti			

interventi individuati con risparmi di energia elettrica

◇
□

interventi individuati con risparmi di energia termica

Tabella 20 - Quadro di sintesi dei risparmi da interventi individuati

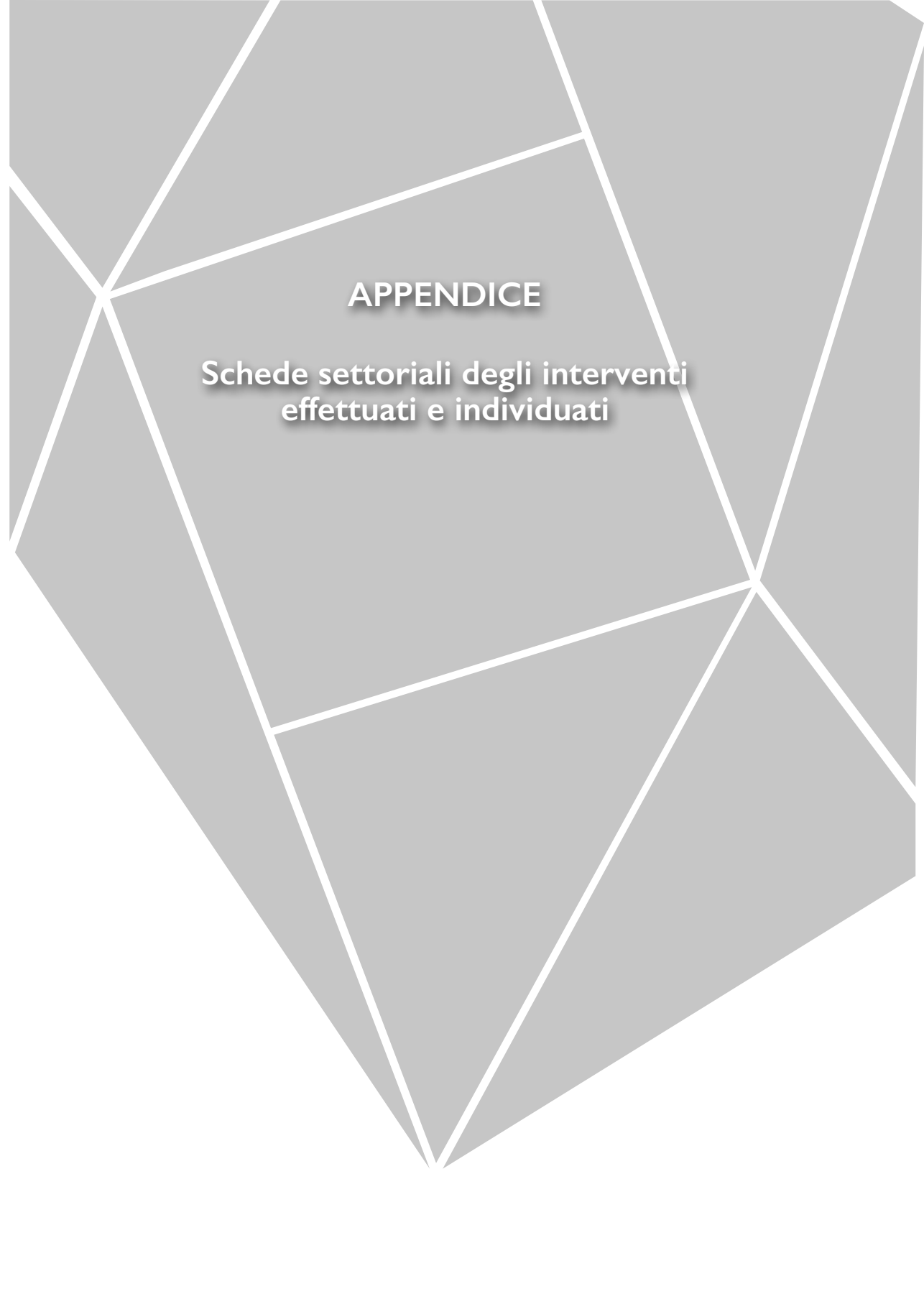
In modo analogo agli interventi effettuati, in *Tabella 21* e *Tabella 22* sono fornite informazioni quantitative relativamente ai risparmi potenziali di energia finale associati agli interventi individuati, per area di intervento e codice Ateco.

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	23.11.00	23.12.00	23.13.00	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa	93,5 (0,58%)	152,2 (0,75%)	1.618,2 (0,51%)	15,6 (0,10%)	6,9 (0,03%)	32,7 (0,01%)
Aspirazione			1,5 (0,00%)			1,5 (0,00%)
Centrale termica/Recuperi termici	1.606,2 (0,88%)		788,9 (0,25%)	535,4 (0,29%)		128,0 (0,04%)
Climatizzazione	3,7 (0,02%)	30,9 (0,15%)		1,8 (0,01%)	6,2 (0,03%)	
Freddo di processo	23,1 (0,14%)	23,4 (0,12%)	18,7 (0,01%)	23,1 (0,14%)	11,7 (0,06%)	9,3 (0,00%)
Generale/Gestionale	64,7 (0,40%)	74,1 (0,36%)	430,2 (0,14%)	32,3 (0,20%)	3,0 (0,01%)	74,9 (0,02%)
Illuminazione	62,5 (0,39%)	99,0 (0,49%)	154,1 (0,05%)	31,2 (0,19%)	3,2 (0,02%)	25,7 (0,01%)
Impianti elettrici	143,1 (0,88%)	217,2 (1,07%)		47,7 (0,29%)	4,3 (0,02%)	
Linee produttive	40,2 (0,25%)	25,9 (0,13%)	6.485,0 (2,15%)	13,4 (0,08%)	1,4 (0,01%)	475,4 (0,15%)
Motori elettrici/Inverter	15,3 (0,09%)	9,5 (0,05%)	234,9 (0,07%)	7,7 (0,05%)		21,4 (0,01%)
Rifasamento						
Trasporti						

Tabella 21 – Risparmi elettrici da interventi individuati (tep e %)

	RISPARMI TOTALI			RISPARMI MEDI		
	23.11.00	23.12.00	23.13.00	23.11.00	23.12.00	23.13.00
Aria compressa			18,7 (0,00%)			0,4 (0,00%)
Aspirazione						
Centrale termica/Recuperi termici	1.912,6 (1,16%)	3.712,5 (0,20%)	235,0 (0,04%)	535,4 (0,29%)		128,0 (0,04%)
Climatizzazione	39,7 (0,02%)	34,1 (0,00%)		19,9 (0,01%)	742,5 (0,04%)	
Freddo di processo		2,5 (0,00%)			5,7 (0,00%)	
Generale/Gestionale	94,5 (0,06%)	10,9 (0,00%)	2.176,5 (0,36%)	47,2 (0,03%)	1,2 (0,00%)	55,8 (0,01%)
Illuminazione					0,4 (0,00%)	
Impianti elettrici						
Linee produttive	141,6 (0,09%)		4.899,6 (0,80%)	47,2 (0,03%)		169,0 (0,03%)
Motori elettrici/Inverter						
Rifasamento						
Trasporti						

Tabella 22 – Risparmi termici da interventi individuati (tep e %)



APPENDICE

**Schede settoriali degli interventi
effettuati e individuati**

APPENDICE - INDICE

Ateco 23.11.00 FABBRICAZIONE DI VETRO PIANO	143
Ateco 23.12.00: LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DEL VETRO PIANO	146
Ateco 23.13.00: FABBRICAZIONE DI VETRO CAVO	150
Ateco 23: FABBRICAZIONE DI ALTRI PRODOTTI DELLA LAVORAZIONE DI MINERALI NON METALLIFERI	153
12. Bibliografia	157

Ateco 23.11.00 FABBRICAZIONE DI VETRO PIANO

INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
5			5		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
6			5		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
4			4		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		2,6	Numero medio interventi per sito		6,4
Quota di diagnosi contenenti interventi		100%	Quota di diagnosi contenenti interventi		100%
N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)
13	5.227,6	402,1	32	4.240,6	132,5
2,0%	12,6%	Quote sul totale Ateco 23	1,7%	5,7%	Quote sul totale Ateco 23
Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale	Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale
2,9%	0,7%	3,1%	2,3%	12,7%	1,3%
INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA			INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA		
Area di intervento		N° interventi	Area di intervento		N° interventi
Aria compressa		0	Aria compressa		6
Centrale termica/Recuperi termici		3	Centrale termica/Recuperi termici		3
Climatizzazione		0	Climatizzazione		2
Freddo di processo		0	Freddo di processo		1
Generale/Gestionale		2	Generale/Gestionale		2
Illuminazione		4	Illuminazione		2
Impianti elettrici		0	Impianti elettrici		3
Linee produttive		1	Linee produttive		3
Motori elettrici/Inverter		3	Motori elettrici/Inverter		2
Produzione da fonti rinnovabili		0	Produzione da fonti rinnovabili		8
Totale		13	Totale		32

ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI									
INVESTIMENTI					COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)	Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		
Centrale termica/Recuperi termici	3	268.000,0	1,8%	89.333,3	Centrale termica/Recuperi termici	3	8.196,1		
Generale/Gestionale	2	70.000,0	0,5%	35.000,0	Generale/Gestionale	0	0,0		
Illuminazione	4	322.700,0	2,2%	80.675,0	Illuminazione	4	5.059,5		
Linee produttive	1	13.908.900,0	95,1%	13.908.900,0	Linee produttive	1	2.733,9		
Motori elettrici/Inverter	3	49.900,0	0,3%	16.633,3	Motori elettrici/Inverter	2	4.440,8		
Totale	13	14.619.500,0	100%	2.826.108,3	Totale <i>*(media)</i>	10	5.107,6*		
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Centrale termica/Recuperi termici	3	58,9	1,1%	19,6	35,8	23,1	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	0	0,0	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Illuminazione	4	64,2	1,2%	16,0	64,2	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	1	5.087,6	97,3%	5.087,6	0,0	5.087,6	0,0	0,0	
Motori elettrici/Inverter	3	17,0	0,3%	8,5	17,0	0,0	0,0	0,0	
Totale	11	5.227,6	100%	1.026,3	117,0	5.110,6	0,0	0,0	

ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI				
INVESTIMENTI				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)
Aria compressa	6	201.400,0	1,1%	33.566,7
Centrale termica/Recuperi termici	3	13.940.000,0	74,1%	4.646.666,7
Climatizzazione	2	140.000,0	0,7%	70.000,0
Freddo di processo	1	70.000,0	0,4%	70.000,0
Generale/Gestionale	2	127.000,0	0,7%	63.500,0
Illuminazione	2	169.900,0	0,9%	84.950,0
Impianti elettrici	3	586.000,0	3,1%	195.333,3
Linee produttive	3	157.000,0	0,8%	52.333,3
Motori elettrici/Inverter	2	59.800,0	0,3%	29.900,0
Produzione da fonti rinnovabili	8	3.369.500,0	17,9%	421.187,5
Totale	32	18.820.600,0		566.743,8
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		Tempo di ritorno medio (anni)
Aria compressa	6	3.571,0		2,6
Centrale termica/Recuperi termici	3	3.754,0		5,9
Climatizzazione	2	7.158,2		5,1
Freddo di processo	1	3.028,1		2,2
Generale/Gestionale	2	1.079,4		1,0
Illuminazione	3	4.812,2		3,2
Impianti elettrici	3	4.328,9		3,3
Linee produttive	2	2.506,5		1,9
Motori elettrici/Inverter	8	5.148,9		3,5
Produzione da fonti rinnovabili	0	0		0
Totale *(media)	30	3.931,9*		3,2
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		Tempo di ritorno medio (anni)
Produzione da fonti rinnovabili	8	5.341,5		8,5

INTERVENTI INDIVIDUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Aria compressa	6	93,5	2,2%	15,6	93,5	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	3	3.518,7	83,0%	1.172,9	1.606,2	1.912,6	0,0	0,0	
Climatizzazione	2	43,4	1,0%	21,7	3,7	39,7	0,0	0,0	
Freddo di processo	1	23,1	0,5%	23,1	23,1	0,0	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	2	159,2	3,8%	79,6	64,7	94,5	0,0	0,0	
Illuminazione	3	62,5	1,5%	31,2	62,5	0,0	0,0	0,0	
Impianti elettrici	3	143,1	3,4%	47,7	143,1	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	2	181,8	4,3%	60,6	40,2	141,6	0,0	0,0	
Motori elettrici/Inverter	8	15,3	0,4%	7,7	15,3	0,0	0,0	0,0	
Totale	30	4.240,6	100%	162,2	2.052,2	2.188,4	0,0	0,0	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	"N° interventi con informazioni"	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Produzione da fonti rinnovabili	8	755,5	1,0	94,4	755,5	0,0	0,0	0,0	

INTERVENTI INDIVIDUATI

ANALISI PER CLASSE DI TEMPO DI RITORNO

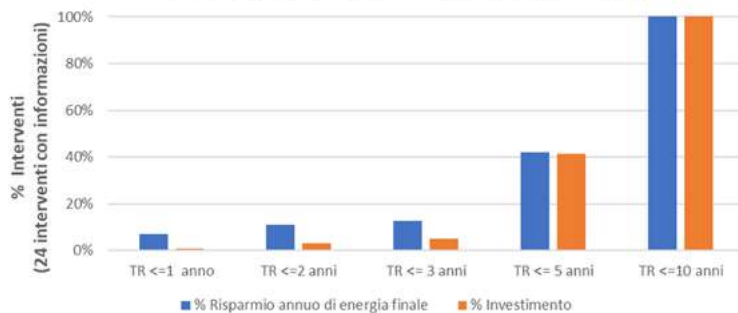
Classi tempo di ritorno	N° interventi	Risparmio annuo (tep/anno)	Investimento (€)
TR <= 1 anno	4	301,1	97.000,0
1 < TR <= 2 anni	5	161,5	382.800,0
2 < TR <= 3 anni	3	78,4	272.100,0
3 < TR <= 5 anni	7	1.238,3	5.635.700,0
5 < TR <= 10 anni	5	2.461,3	9.063.500,0
Totale	24	4240,6	15.451.100,0



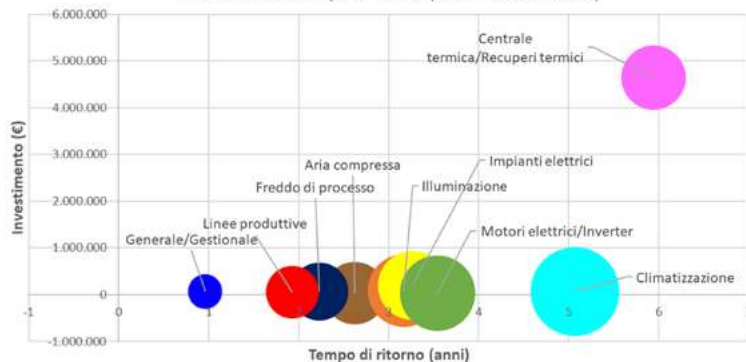
ANALISI CUMULATA PER CLASSE DI TEMPO DI RITORNO

Classi tempo di ritorno	N° interventi	% Interventi	Risparmio annuo (tep/anno)	% Risparmio annuo di energia finale	Investimento (€)	% Investimento
TR <= 1 anno	4	16,7%	301,1	7,1%	97.000,0	0,6%
TR <= 2 anni	9	37,5%	462,6	10,9%	479.800,0	3,1%
TR <= 3 anni	12	50,0%	541,0	12,8%	751.900,0	4,9%
TR <= 5 anni	19	79,2%	1.779,2	42,0%	6.387.600,0	41,3%
TR <= 10 anni	24	100,0%	4.240,6	100,0%	15.451.100,0	100,0%

Investimenti e risparmi cumulati per classe di tempo di ritorno



Investimento e tempo di ritorno (area = costo efficacia)



Ateco 23.12.00: LAVORAZIONE E TRASFORMAZIONE DEL VETRO PIANO

INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
45			40		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
11			36		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
1			23		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,0	Numero medio interventi per sito		3,4
Quota di diagnosi contenenti interventi		44%	Quota di diagnosi contenenti interventi		93%
N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)
47	140,9	3,0	152	4.490,6	29,5
7,4%	0,3%	Quote sul totale Ateco 23	8,2%	6,0%	Quote sul totale Ateco 23
Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale	Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale
0,0%	0,7%	0,0%	0,2%	3,1%	0,2%
INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA			INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA		
Area di intervento	N° interventi		Area di intervento	N° interventi	
Altro	2		Altro	1	
Aria compressa	7		Aria compressa	25	
Centrale termica/Recuperi termici	0		Centrale termica/Recuperi termici	5	
Climatizzazione	0		Climatizzazione	7	
Cogenerazione/Trigenerazione	0		Cogenerazione/Trigenerazione	1	
Freddo di processo	4		Freddo di processo	3	
Generale/Gestionale	6		Generale/Gestionale	33	
Illuminazione	14		Illuminazione	31	
Impianti elettrici	0		Impianti elettrici	10	
Involucro edilizio	1		Involucro edilizio	0	
Linee produttive	5		Linee produttive	6	
Motori elettrici/Inverter	2		Motori elettrici/Inverter	8	
Produzione da fonti rinnovabili	5		Produzione da fonti rinnovabili	19	
Rifasamento	1		Rifasamento	3	
Totale	47		Totale	152	

ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI				
INVESTIMENTI				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)
Altro	1	281.304,9	9%	281.304,9
Aria compressa	3	79.450,0	3%	26.483,3
Freddo di processo	3	15.000,0	0%	5.000,0
Generale/Gestionale	4	128.450,0	4%	32.112,5
Illuminazione	8	411.030,0	14%	51.378,8
Involucro edilizio	0	0,0	0%	0,0
Linee produttive	2	354.070,1	12%	177.035,1
Motori elettrici/Inverter	1	2.400,0	0%	2.400,0
Produzione da fonti rinnovabili	3	1.751.000,0	58%	583.666,7
Rifasamento	1	5.000,0	0,0%	5.000,0
Totale	26	3.027.705,0	100%	129.375,7
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		
Altro	1	3.571,0		
Aria compressa	1	3.754,0		
Freddo di processo	2	7.158,2		
Generale/Gestionale	0	3.028,1		
Illuminazione	6	1.079,4		
Involucro edilizio	0	4.812,2		
Linee produttive	0	4.328,9		
Motori elettrici/Inverter	1	2.506,5		
Rifasamento	1	0		
Totale *(medio)	12	4.574,9*		
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		
Produzione da fonti rinnovabili	3	8.633,1		

INTERVENTI EFFETTUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Altro	1	58,5	42%	58,5	58,5	0,0	0,0	0,0	
Aria compressa	1	5,2	4%	5,2	5,2	0,0	0,0	0,0	
Freddo di processo	3	13,8	10%	4,6	4,6	0,0	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Illuminazione	7	60,4	43%	8,6	8,6	0,0	0,0	0,0	
Involucro edilizio	0	0,0	0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	1	0,9	1%	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	
Motori elettrici/Inverter	1	0,4	0%	0,4	0,4	0,0	0,0	0,0	
Rifasamento	1	1,7	1%	1,7	1,7	0,0	0,0	0,0	
Totale	15	140,9	100%	8,9	140,9	0,0	0,0	0,0	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Produzione da fonti rinnovabili	3	222,0		74,0	222,0	0,0	0,0	0,0	

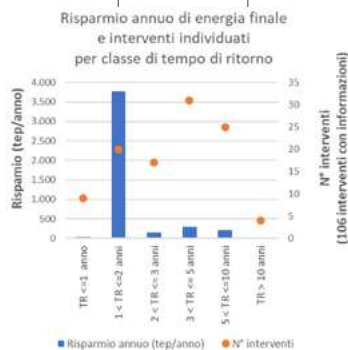
ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI				
INVESTIMENTI				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)
Altro	1	12.500,0	0,1%	12.500,0
Aria compressa	22	537.500,0	5,3%	24.431,8
Centrale termica/Recuperi termici	5	1.666.500,0	16,4%	333.300,0
Climatizzazione	6	216.400,0	2,1%	36.066,7
Cogenerazione/Trigenerazione	1	548.000,0	5,4%	548.000,0
Freddo di processo	2	80.000,0	0,8%	40.000,0
Generale/Gestionale	23	315.775,0	3,1%	13.729,3
Illuminazione	27	566.170,7	5,6%	20.969,3
Impianti elettrici	9	947.651,6	9,3%	105.294,6
Linee produttive	3	36.500,0	0,4%	12.166,7
Motori elettrici/Inverter	7	36.063,0	0,4%	5.151,9
Produzione da fonti rinnovabili	18	5.171.998,0	51,0%	287.333,2
Rifasamento	3	7.260,0	0,1%	7.260,0
Totale	127	10.142.318,3	100%	111.246,4
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		Tempo di ritorno medio (anni)
Altro	1	14.391,0		8,7
Aria compressa	22	3.982,5		3,4
Centrale termica/Recuperi termici	5	2.885,8		6,8
Climatizzazione	5	3.091,2		3,0
Freddo di processo	2	3.347,4		3,2
Generale (monitoraggio, organizzazione, formazione, ISO 50001)	22	4.260,3		2,9
Illuminazione	27	7.599,8		4,4
Impianti elettrici	9	7.656,3		5,1
Linee produttive	1	1.548,1		1,9
Motori elettrici/Inverter	7	6.530,8		3,6
Rifasamento	1	85,4		7,6
Totale *(medio)	102	5.034,4*		4,6
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		Tempo di ritorno medio (anni)
Cogenerazione/Trigenerazione	1	3.021,1		11,5
Produzione da fonti rinnovabili	18	4.917,1		7,4
Totale *(media)	19	3.969,1*		9,4

INTERVENTI INDIVIDUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Altro	1	0,9	0,0%	0,9	0,9	0,0	0,0	0,0	
Aria compressa	22	152,0	3,4%	6,9	152,0	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	5	3.712,5	82,7%	742,5	0,0	3.712,5	0,0	0,0	
Climatizzazione	5	65,0	1,4%	13,0	30,9	34,1	0,0	0,0	
Freddo di processo	2	25,8	0,6%	12,9	23,4	2,5	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	22	97,8	2,2%	4,4	74,1	10,9	0,0	12,8	
Illuminazione	27	99,0	2,2%	3,7	99,0	0,0	0,0	0,0	
Impianti elettrici	9	217,2	4,8%	24,1	217,2	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	5	25,9	0,6%	5,2	25,9	0,0	0,0	0,0	
Motori elettrici/Inverter	7	9,5	0,2%	1,4	9,5	0,0	0,0	0,0	
Rifasamento	1	85,0	1,9%	85,0	0,0	0,0	0,0	85,0	
Totale	105	4.490,6	100%	81,8	632,9	3.759,9	0,0	97,8	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Cogenerazione/Trigenerazione	1	181,4		181,4	181,4	0,0	0,0	0,0	
Produzione da fonti rinnovabili	7	680,3		61,8	680,3	0,0	0,0	0,0	
Totale	8	861,7	0,0	121,6	861,7	0,0	0,0	0,0	

INTERVENTI INDIVIDUATI

ANALISI PER CLASSE DI TEMPO DI RITORNO

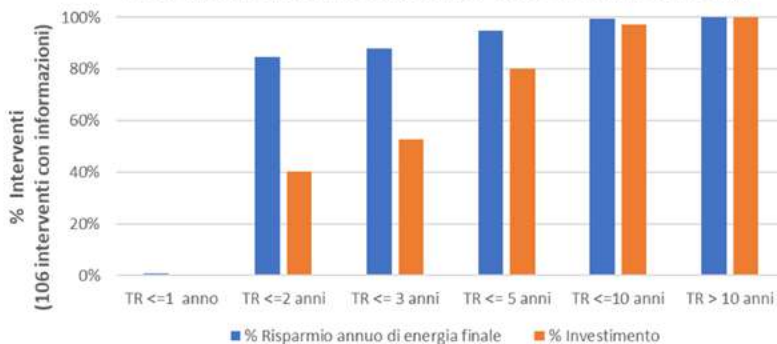
Classi tempo di ritorno	N° interventi	Risparmio annuo (tep/anno)	Investimento (€)
TR <=1 anno	9	29,1	23.594,9
1 < TR <=2 anni	20	3775,9	1.764.637,0
2 < TR <= 3 anni	17	147,8	551.800,0
3 < TR <= 5 anni	31	302,6	1.201.965,2
5 < TR <=10 anni	25	211,0	755.823,2
TR >10 anni	4	19,8	124.500,0
Totale	106	4.486,2	4.422.320,3



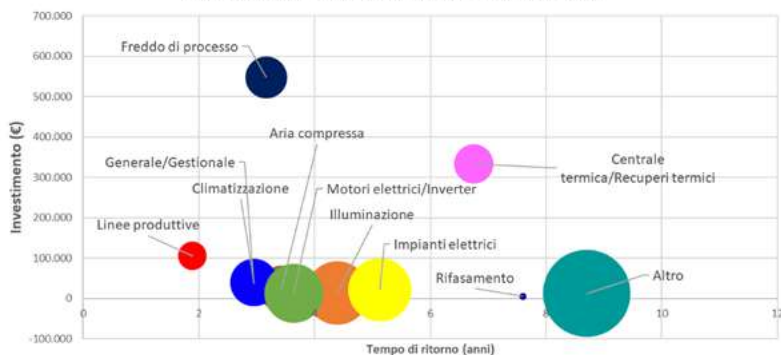
ANALISI CUMULATA PER CLASSE DI TEMPO DI RITORNO

Classi tempo di ritorno	N° interventi	% Interventi	Risparmio annuo (tep/anno)	% Risparmio annuo di energia finale	Investimento (€)	% Investimento
TR <=1 anno	9	8,5%	29,1	0,6%	23.594,9	0,5%
TR <=2 anni	29	27,4%	3.805,0	84,8%	1.788.231,9	40,4%
TR <= 3 anni	46	43,4%	3.952,8	88,1%	2.340.031,9	52,9%
TR <= 5 anni	77	72,6%	4.255,4	94,9%	3.541.997,1	80,1%
TR <=10 anni	102	96,2%	4.466,3	99,6%	4.297.820,3	97,2%
TR >10 anni	106	100,0%	4.486,1	100,0%	4.422.320,3	100,0%

Investimenti e risparmi cumulati per classe di tempo di ritorno



Investimento e tempo di ritorno (area = costo efficacia)



Ateco 23.13.00: FABBRICAZIONE DI VETRO CAVO

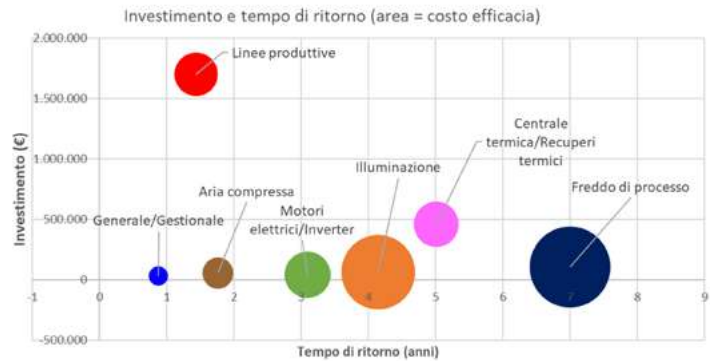
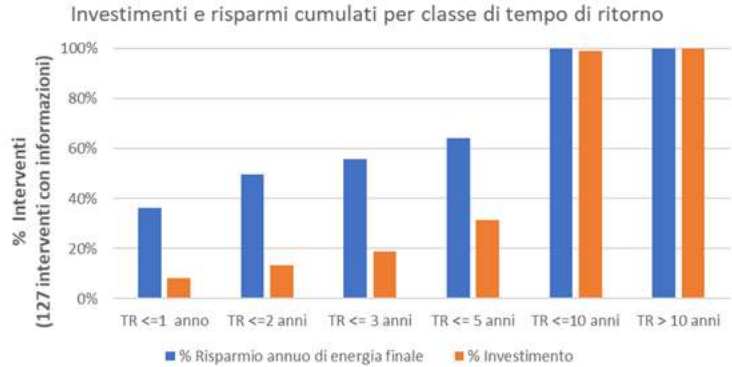
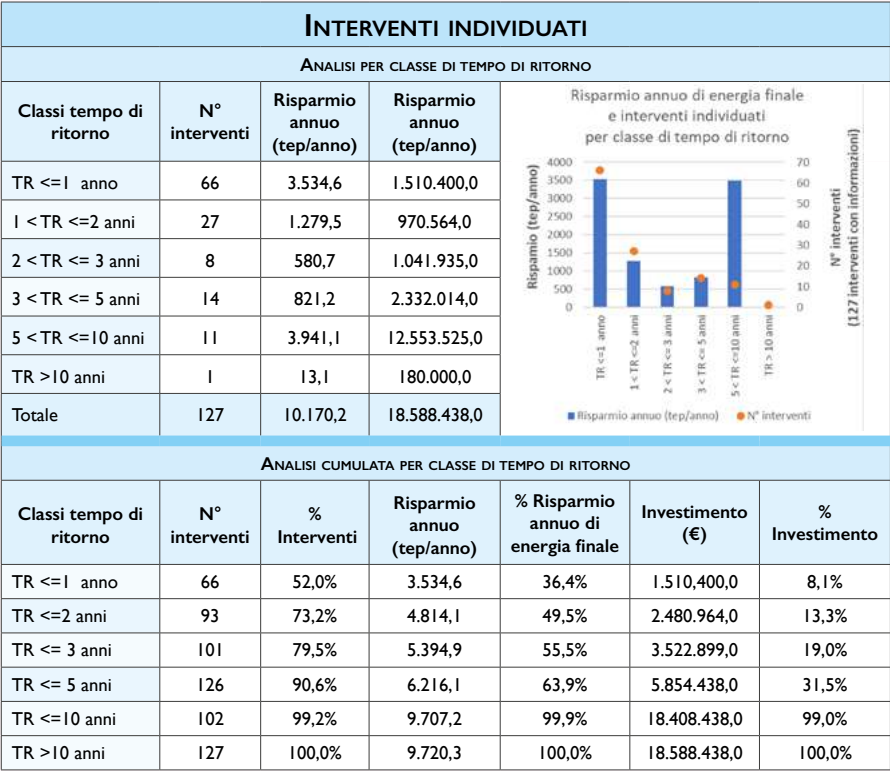
INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero P.IVA		
39			19		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
35			18		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
1			37		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,5	Numero medio interventi per sito		3,9
Quota di diagnosi contenenti interventi		64%	Quota di diagnosi contenenti interventi		100%
N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)
58	14.402,9	248,3	154	19.077,4	123,9
9,1%	34,6%	Quote sul totale Ateco 23	8,3%	25,5%	Quote sul totale Ateco 23
Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale	Risparmio annuo totale/ Consumo totale	Risparmio annuo di energia elettrica/ Consumo elettrico totale	Risparmio annuo di energia termica/ Consumo termico totale
1,6%	0,3%	1,5%	2,1%	3,2%	1,2%
INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA			INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA		
Area di intervento		N° interventi	Area di intervento		N° interventi
Aria compressa		12	Aria compressa		50
Aspirazione		0	Aspirazione		1
Centrale termica/Recuperi termici		1	Centrale termica/Recuperi termici		9
Climatizzazione		5	Climatizzazione		0
Generale/Gestionale		6	Generale/Gestionale		39
Freddo di processo		4	Freddo di processo		2
Illuminazione		4	Illuminazione		6
Involucro edilizio		2	Involucro edilizio		0
Linee produttive		23	Linee produttive		29
Motori elettrici/Inverter		2	Motori elettrici/Inverter		12
Rifasamento		3	Rifasamento		0
Motori elettrici/Inverter		0	Motori elettrici/Inverter		0
Produzione da fonti rinnovabili		0	Produzione da fonti rinnovabili		6
Totale		58	Totale		154

ANALISI DEGLI INTERVENTI EFFETTUATI

INVESTIMENTI						COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE					
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)		Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)			
Aria compressa	5	281.304,9	0%	169.300,0		Aria compressa	4	2.027,4			
Centrale termica/Recuperi termici	0	79.450,0	0%	0,0		Centrale termica/Recuperi termici	0	0,0			
Climatizzazione	3	226.000,0	0%	75.333,3		Climatizzazione	3	458,8			
Generale/Gestionale	6	378.200,0	0%	63.033,3		Generale/Gestionale	3	757,1			
Illuminazione	1	399.019,0	0%	399.019,0		Illuminazione	1	29.291,4			
Involucro edilizio	1	30.000,0	0%	30.000,0		Involucro edilizio	1	544,6			
Linee produttive	18	170.681.300,0	99%	9.482.294,4		Linee produttive	15	5.793,9			
Motori elettrici/Inverter	1	70.000,0	0%	70.000,0		Motori elettrici/Inverter	1	1.497,7			
Rifasamento	1	40.000,0	0%	40.000,0		Rifasamento	0	0,0			
Totale	36	172.671.019,0	100%	1.291.122,5		Totale *(Media)	28	5.767,3*			
RISPARMI DI ENERGIA FINALE											
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)		Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)		
Aria compressa	10	566,8	0,0%	56,7		566,8	0,0	0,0	0,0		
Centrale termica/Recuperi termici	0	0,0	0,0%	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		
Climatizzazione	4	496,1	0,0%	124,0		0,0	496,1	0,0	0,0		
Generale/Gestionale	3	276,2	0,0%	92,1		14,5	146,0	0,0	115,7		
Illuminazione	2	93,8	0,0%	46,9		93,8	0,0	0,0	0,0		
Involucro edilizio	2	61,6	0,0%	30,8		55,1	6,5	0,0	0,0		
Linee produttive	20	12.861,7	0,0%	643,1		132,1	8.285,9	0,0	4.443,7		
Motori elettrici/Inverter	1	46,7	0,0%	46,7		46,7	0,0	0,0	0,0		
Rifasamento	0	0,0	0,0%	0,0		0,0	0,0	0,0	0,0		
Totale	42	14.402,9	0	115,6		909,0	8.934,6	0,0	4.599,4		

ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI									
INVESTIMENTI					COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)	Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)	Tempo di ritorno medio (anni)	
Aria compressa	48	2.725.812,0	6,2%	57.350,0	Aria compressa	47	1.699,1	1,8	
Aspirazione	1	0,0	0,0%	0,0	Aspirazione	0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	7	3.223.000,0	7,3%	460.428,6	Centrale termica/Recuperi termici	7	3.680,6	5,0	
Freddo di processo	2	215.000,0	0,5%	107.500,0	Freddo di processo	2	11.660,3	7,0	
Generale/Gestionale	37	1.260.000,0	2,8%	34.054,1	Generale/Gestionale	3	644,8	0,9	
Illuminazione	4	258.564,0	0,6%	64.641,0	Illuminazione	27	9.697,1	4,1	
Linee produttive	20	34.094.572,0	76,8%	1.704.728,6	Linee produttive	2	3.358,9	1,4	
Motori elettrici/Inverter	11	484.490,0	1,1%	44.044,5	Motori elettrici/Inverter	5	3.785,4	3,1	
Produzione da fonti rinnovabili	5	2.124.000,0	4,8%	424.800,0	Produzione da fonti rinnovabili	0	0	0	
Totale	135	44.412.438,0	100%	353.249,6	Totale <i>*(media)</i>	93	4.932,3*	3,3	
					COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA				
					Produzione da fonti rinnovabili	5	4.670,8	6,9	

INTERVENTI INDIVIDUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Aria compressa	50	1.636,8	8,6%	32,7	1.618,2	18,7	0,0	0,0	
Aspirazione	1	1,5	0,0%	1,5	1,5	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	8	1.023,9	5,4%	128,0	788,9	235,0	0,0	0,0	
Freddo di processo	2	18,7	0,1%	9,3	18,7	0,0	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	36	2.695,9	14,1%	74,9	430,2	2.176,5	0,0	89,2	
Illuminazione	6	154,1	0,8%	25,7	154,1	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	28	13.311,6	69,8%	475,4	6.845,0	4.899,6	0,0	1.567,0	
Motori elettrici/Inverter	11	234,9	1,2%	21,4	234,9	0,0	0,0	0,0	
Totale	142	19.077,4	100%	96,1	10.091,5	7.329,9	0	1.656,15	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Produzione da fonti rinnovabili	5	583,5		116,7	583,5	0	0	0	



Ateco 23: FABBRICAZIONE DI ALTRI PRODOTTI DELLA LAVORAZIONE DI MINERALI NON METALLIFERI

INQUADRAMENTO GENERALE					
Numero diagnosi (siti)			Numero PIVA		
513			362		
Numero grandi imprese			Numero grandi imprese energivore		
197			299		
Numero siti ISO 50001			Numero siti sottoposti a monitoraggio		
36			353		
INTERVENTI EFFETTUATI			INTERVENTI INDIVIDUATI		
Numero medio interventi per sito		1,2	Numero medio interventi per sito		3,6
Quota di diagnosi contenenti interventi		52%	Quota di diagnosi contenenti interventi		98%
N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)	N° interventi	Risparmio annuo di energia finale (tep/anno)	Risparmio medio di energia finale per intervento (tep)
636	41.580,2	65,4	1.852	74.843,7	40,4
INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA			INTERVENTI EFFETTUATI PER AREA		
Area di intervento		N° interventi	Area di intervento		N° interventi
Altro		4	Altro		8
Aria compressa		100	Aria compressa		324
Aspirazione		15	Aspirazione		26
Centrale termica/Recuperi termici		37	Centrale termica/Recuperi termici		103
Climatizzazione		16	Climatizzazione		28
Cogenerazione/Trigenerazione		11	Cogenerazione/Trigenerazione		63
Freddo di processo		6	Freddo di processo		16
Generale/Gestionale		83	Generale/Gestionale		305
Illuminazione		142	Illuminazione		309
Impianti elettrici		6	Impianti elettrici		70
Involucro edilizio		5	Involucro edilizio		1
Linee produttive		129	Linee produttive		140
Motori elettrici/Inverter		58	Motori elettrici/Inverter		243
Produzione da fonti rinnovabili		11	Produzione da fonti rinnovabili		168
Trasporti		2	Trasporti		15
Rifasamento		10	Rifasamento		33
Reti di distribuzione		1	Reti di distribuzione		0
Totale		636	Totale		1.852

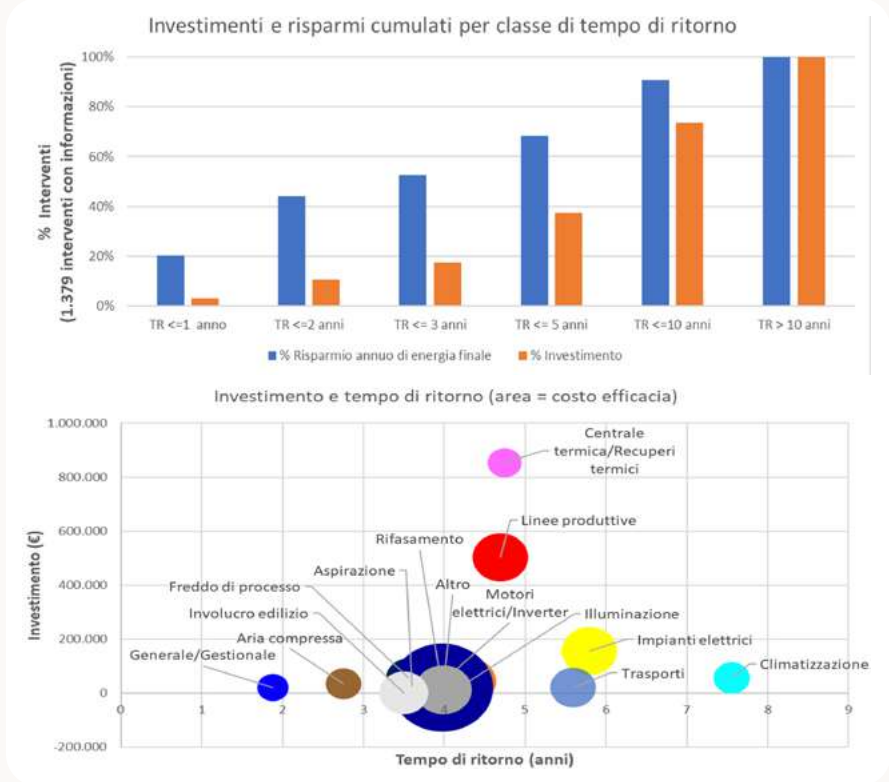
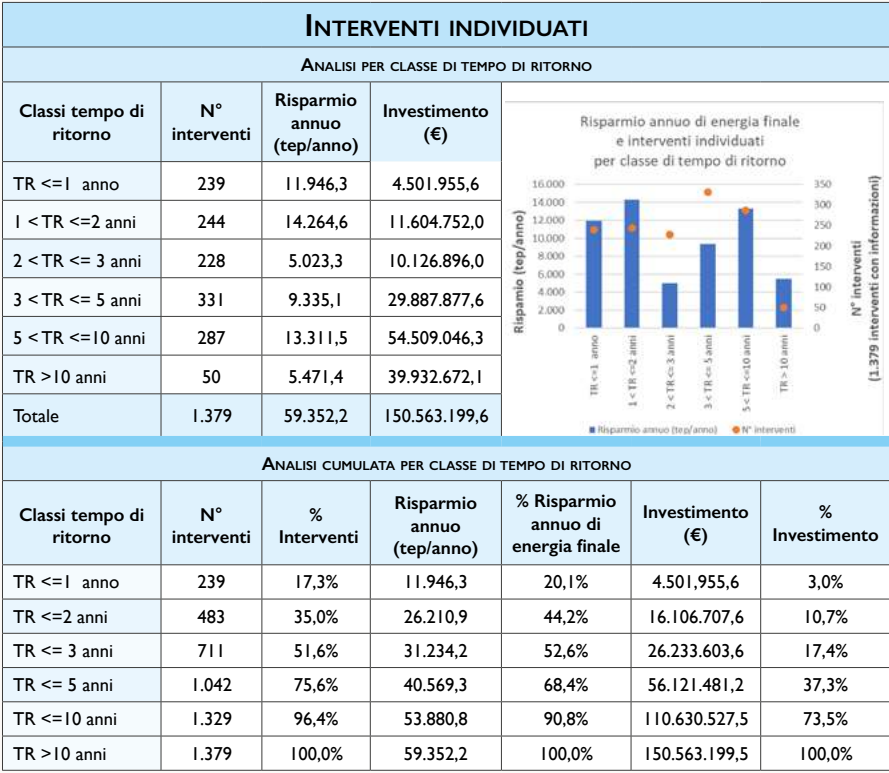
INTERVENTI EFFETTUATI				
ANALISI DEGLI INVESTIMENTI				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (%)	Investimento medio (%)
Altro	3	37.809.000,9	11,3%	12.603.000,3
Aria compressa	55	2.651.001,0	0,8%	49.092,6
Centrale termica/Recuperi termici	12	195.000,0	0,1%	16.250,0
Climatizzazione	22	23.642.800,0	7,1%	1.074.672,7
Cogenerazione/Trigenerazione	11	1.030.341,0	0,3%	93.667,4
Freddo di processo	4	50.000,0	0,0%	12.500,0
Generale/Gestionale	56	1.833.235,0	0,5%	32.736,3
Illuminazione	84	5.692.508,3	1,7%	69.420,8
Impianti elettrici	3	215.000,0	0,1%	71.666,7
Involucro edilizio	3	320.000,0	0,1%	106.666,7
Linee produttive	68	245.545.151,4	73,3%	3.610.958,1
Motori elettrici/Inverter	27	1.189.179,0	0,4%	45.737,7
Produzione da fonti rinnovabili	5	1.887.700,0	0,6%	377.540,0
Rifasamento	5	69.148,0	0,0%	13.829,6
Trasporti	1	0,0	0,0%	0,0
Reti di distribuzione	0	0,0	0,0%	0,0
Totale	367	334.995.064,0	100%	1.319.057,6
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		
Altro	2	3.659,3		
Aria compressa	36	4.830,0		
Aspirazione	12	1.322,9		
Centrale termica/Recuperi termici	14	6.390,3		
Climatizzazione	9	8.640,5		
Freddo di processo	3	25.514,6		
Generale/Gestionale	13	9.664,1		
Illuminazione	62	6.869,5		
Impianti elettrici	2	6.178,7		
Involucro edilizio	3	3.694,1		
Linee produttive	49	9.976,5		
Motori elettrici/Inverter	20	4.595,5		
Rifasamento	3	1.849,6		
Trasporti	0	0,0		
Reti di distribuzione	0	0,0		
Totale (*media)	228	7.168,1*		
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA				
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)		
Cogenerazione/Trigenerazione	6	4.309,5		
Produzione da fonti rinnovabili	5	8.363,6		
Totale *(media)	11	6.336,6*		

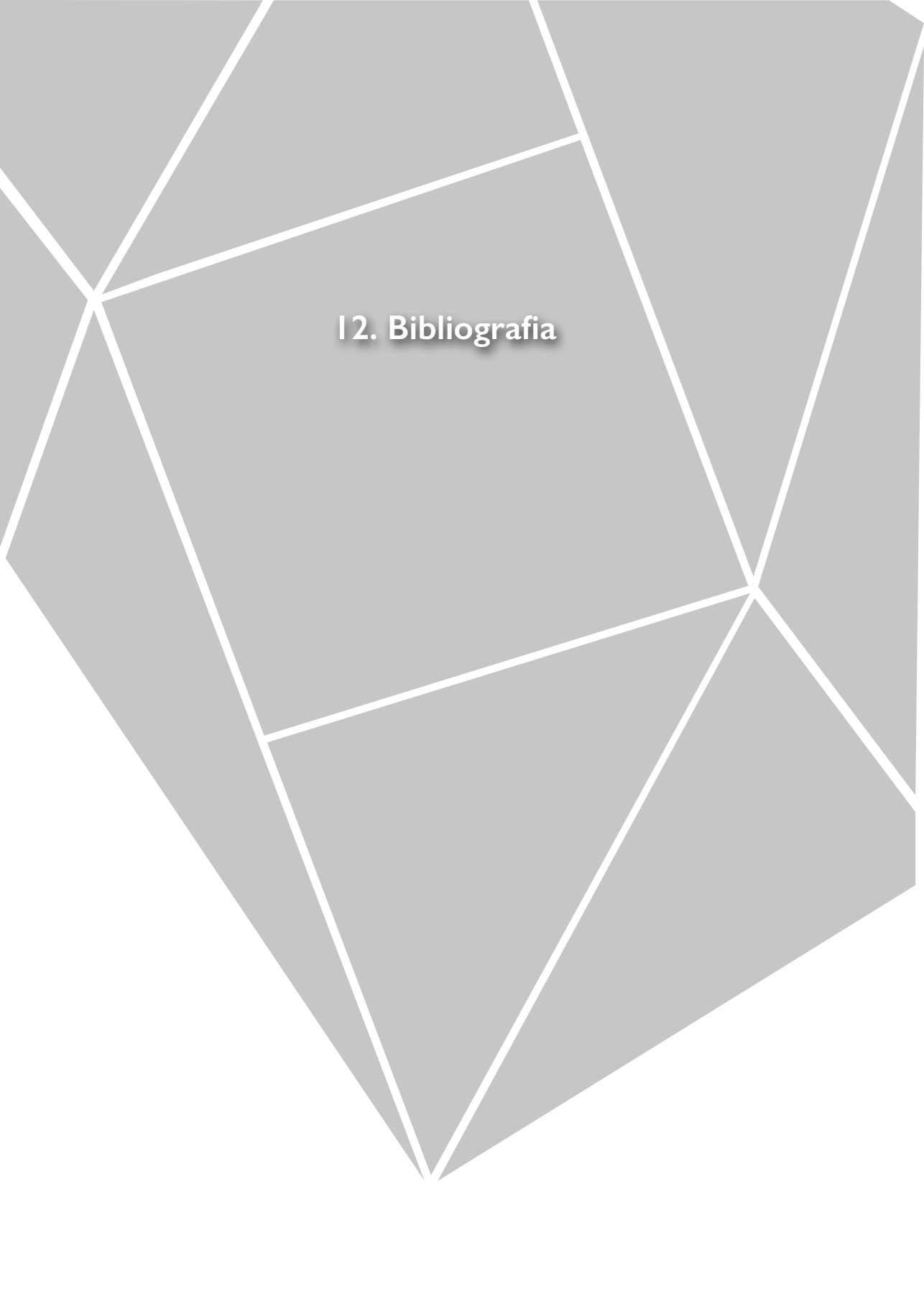
INTERVENTI EFFETTUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Altro	2	72,7	0,2%	36,3	72,7	0,0	0,0	0,0	
Aria compressa	43	1.148,8	2,8%	27,4	1.053,1	0,0	0,0	0,0	
Aspirazione	12	249,2	0,6%	20,8	249,2	0,0	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	16	5.557,9	13,4%	347,4	1.879,7	3.194,7	0,0	483,5	
Cimatizzazione	10	534,6	1,3%	53,5	20,7	513,9	0,0	0,0	
Freddo di processo	4	14,3	0,0%	3,6	14,3	0,0	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	14	467,0	1,1%	33,4	78,3	146,0	0,0	242,7	
Illuminazione	68	1.088,8	2,6%	16,5	1.088,8	0,0	0,0	0,0	
Impianti elettrici	2	26,4	0,1%	13,2	26,4	0,0	0,0	0,0	
Involucro edilizio	4	116,6	0,3%	29,2	110,1	6,5	0,0	0,0	
Linee produttive	60	32.044,1	77,1	534,1	3.923,8	22.687,6	0,0	5.432,7	
Motori elettrici/Inverter	22	244,4	0,6%	11,6	244,4	0,0	0,0	0,0	
Rifasamento	3	15,5	0,0%	5,2	15,5	0,0	0,0	0,0	
Trasporti	0	0,0	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Reti di distribuzione	0	0,0	0,0%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
Totale	260	41.580,2	100%	75,5	8.776,9	26.548,7	0	6.158,9	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Cogenerazione/Trigenerazione	6	583,5	93%	573,3	253,3	0,0	0,0	3.186,8	
Produzione da fonti rinnovabili	5	583,5	7%	48,6	243,0	0,0	0,0	0,0	
Totale	11	3.683,1	100%	311,0	496,4	0	0	3.186,8	

ANALISI DEGLI INTERVENTI INDIVIDUATI

INVESTIMENTI						COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA FINALE			
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Investimento totale (€)	Investimento totale (€)	Investimento medio (€)	Area di intervento	N° interventi con informazioni	Costo efficacia (€/top di energia finale)	Tempo di ritorno medio (anni)	
Altro	7	92.500,0	0,0%	13.214,3	Altro	7	8.829,0	4,0	
Aria compressa	289	9.758.836,8	3,2%	33.651,2	Aria compressa	275	3.466,5	2,8	
Aspirazione	24	586.606,0	0,2%	24.441,9	Aspirazione	23	4.419,5	3,6	
Centrale termica/Recuperi termici	78	66.570.006,0	22,0%	853.461,6	Centrale termica/Recuperi termici	77	3.147,1	4,7	
Climatizzazione	23	1.288.069,0	0,4%	56.003,0	Climatizzazione	21	3.626,9	7,6	
Cogenerazione/Trigenerazione	55	62.814.764,0	20,8%	1.121.692,2	Cogenerazione/Trigenerazione				
Freddo di processo	14	807.510,0	0,3%	57.679,3	Freddo di processo	13	5.196,5	3,6	
Generale/Gestionale	236	4.936.507,0	1,6%	20.917,4	Generale/Gestionale	182	2.720,7	1,9	
Illuminazione	298	12.873.300,1	4,3%	43.199,0	Illuminazione	284	7.970,8	4,3	
Impianti elettrici	62	9.836.770,2	3,3%	156.139,2	Impianti elettrici	60	8.472,6	5,8	
Involucro edilizio	1	1.100,0	0,0%	1.100,0	Involucro edilizio	1	6.502,6	3,5	
Linee produttive	112	56.319.000,0	18,6%	502.848,0	Linee produttive	99	8.361,3	4,7	
Motori elettrici/Inverter	224	10.794.813,5	3,6%	48.191,1	Motori elettrici/Inverter	211	5.228,3	4,0	
Produzione da fonti rinnovabili	160	64.637.128,4	21,4%	403.982,1	Produzione da fonti rinnovabili	0	0	0	
Rifasamento	28	587.931,0	0,2%	20.273,5	Rifasamento	15	28.252,1	4,0	
Trasporti	14	288.000,0	0,1%	20.571,4	Trasporti	12	5.723,3	5,6	
Totale	1.625	302.192.841,9	100%	211.085,3	Totale *(media)	1.280	7.279,8*	4,3	
COSTO EFFICACIA DEGLI INTERVENTI CON RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
					Cogenerazione/Trigenerazione	52	3.626,9	5,3	
					Produzione da fonti rinnovabili	150	5.685,0	8,1	
					Totale *(media)	202	4.656,0*	6,7	

INTERVENTI INDIVIDUATI									
RISPARMI DI ENERGIA FINALE									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Altro	7	12,8	0,0%	1,8	12,8	0,0	0,0	0,0	
Aria compressa	291	3.910,2	5,2%	13,4	3.840,9	35,9	0,0	33,6	
Aspirazione	25	355,8	0,5%	14,2	332,1	23,7	0,0	0,0	
Centrale termica/Recuperi termici	84	31.912,1	42,6%	379,9	15.343,5	15.740,2	0,0	828,4	
Climatizzazione	21	417,9	0,6%	19,9	192,4	210,2	0,0	15,3	
Freddo di processo	14	231,4,7	0,3%	16,5	216,6	14,8	0,0	0,0	
Generale/Gestionale	187	5.961,4	8,0%	31,9	1.611,8	3.070,0	0,0	1.279,5	
Illuminazione	288	2.355,9	3,1%	8,2	2.298,6	0,0	0,0	57,3	
Impianti elettrici	62	1.817,2	2,4%	29,3	1.817,2	0,0	0,0	0,0	
Involucro edilizio	1	0,2	0,0%	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0	
Linee produttive	117	24.855,2	33,2%	212,4	8.045,2	14.125,0	0,0	2.685,0	
Motori elettrici/Inverter	214	2.704,2	3,6%	12,6	2.693,2	0,0	0,0	11,0	
Rifasamento	15	299,2	0,4%	19,9	214,2	0,0	0,0	85,0	
Trasporti	12	10,2	0,0%	0,8	5,1	0,0	5,1	0,0	
Totale	1.338	74.843,7	100%	54,4	36.623,8	33.219,9	5,1	4.995,1	
RISPARMI DI ENERGIA PRIMARIA									
Area di intervento	N° interventi con informazioni	Risparmio annuo totale (tep/anno)	Risparmio annuo totale (%)	Risparmio annuo totale medio (tep/anno)	Risparmio annuo di energia elettrica (tep/anno)	Risparmio annuo di energia termica (tep/anno)	Risparmio annuo di carburante (tep/anno)	Altri risparmi annui (tep/anno)	
Cogenerazione/Trigenerazione	53	34.572,8	66%	652,3	19.704,9	7.087,4	0,0	7.685,5	
Produzione da fonti rinnovabili	150	17.466,1	34%	116,7	13.043,8	3.999,7	0,0	422,5	
Totale	203	52.038,9	100%	384,4	32.748,7	11.087,2	0,0	8.108,0	





I 2. Bibliografia

12. Bibliografia

- [1] Rapporto di Sostenibilità 2020, Assovetro
- [2] Classificazione delle attività economiche Ateco 2007, ISTAT
- [3] B.M. Scalet, M. Garcia Munoz, A.Q. Sissa, S. Roudier, L. Delgado Sancho, Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Manufacture of Glass, JRC Reference reports, 2012, ISBN 978-92-79-28284-3
- [4] Diagnosi Energetiche art 8 del D.Lgs. 102/2014 Linee Guida e Manuale Operativo Clusterizzazione, il rapporto di diagnosi ed il piano di monitoraggio, ENEA, 2019
- [5] Linea guida per la stesura delle diagnosi energetiche (ex Art. 8 D.Lgs 102/2014), 2018, Assovetro
- [6] Chiarimenti in materia di Diagnosi Energetica nelle imprese ai sensi dell'articolo 8 del Decreto Legislativo N. 102 del 2014, novembre 2016, MISE
- [7] UNI CEI EN 16247:1-4
- [8] European Commission, 'Best Available Techniques Reference Document (BREF) for the Manufacture of Glass', p. 485, 2013.
- [9] E. Worrell, C. Galitsky, E. Masanet, and W. Graus, 'Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Glass Industry. An ENERGY STAR® Guide for Energy and Plant Managers', Berkeley National Laboratory, 2008, doi: 10.2172/927883.
- [10] Y. Pang and G. Lodewijks, 'Improving energy efficiency in material transport systems by fuzzy speed control', in 3rd IEEE International Symposium on Logistics and Industrial Informatics, 2011, pp. 159–164.
- [11] E. Levine, M. Greenman, and K. Jamison, 'The Development of a Next Generation Melting System for Glass Production: Opportunities and Progress', 2003.
- [12] Y. Wang, E. Forssberg, and J. Sachweh, 'Dry fine comminution in a stirred media mill—MaxxMill®', International Journal of Mineral Processing, vol. 74, pp. S65–S74, 2004.
- [13] S. Gerl and J. Sachweh, 'Plant concepts for ultrafine dry grinding with the agitated media mill MaxxMill®', Minerals engineering, vol. 20, no. 4, pp. 327–333, 2007.
- [14] Institute for Industrial Productivity, 'Explore energy efficiency technologies across the industrial sectors', iipinetwork.org, 2016. <http://www.iipinetwork.org/> (accessed Jan. 11, 2021).
- [15] GTS, 'Feasibility Study for the Reduction of Colour within the Glass Furnace',

Mar. 2004.

- [16] Y. Jani and W. Hogland, 'Reduction-melting extraction of trace elements from hazardous waste glass from an old glasswork's dump in the southeastern part of Sweden', *Environ Sci Pollut Res*, vol. 24, no. 34, pp. 26341–26349, Dec. 2017, doi: 10.1007/s11356-017-0243-4.
- [17] J. Reindl, 'Reuse/recycling of glass cullet for non-container uses', 1992.
- [18] O. Auchet, P. Riedinger, O. Malasse, and C. lung, 'First-principles simplified modelling of glass furnaces combustion chambers', *Control Engineering Practice*, vol. 16, no. 12, pp. 1443–1456, Dec. 2008, doi: 10.1016/j.conengprac.2008.04.005.
- [19] B. A. Garrett-Price, A. G. Fassbender, and G. A. Bruno, 'Potential for energy conservation in the glass industry', Pacific Northwest Lab., Richland, WA (USA), 1986.
- [20] T. Bauer, I. Forbes, R. Penlington, and N. Pearsall, 'The potential of thermophotovoltaic heat recovery for the glass industry', in *AIP conference proceedings*, 2003, vol. 653, no. 1, pp. 101–110.
- [21] M. Hubert, 'IMI-NFG Course on Processing in Glass: Lecture 3: Basics of industrial glass melting furnaces'. CelSian Glass & Solar, Eindhoven, The Netherlands, 2015.
- [22] LexInnova, 'Oxy-fuel combustion system (OCS) - technology landscape'. Jun. 2013.
- [23] J. J. do Rosário, R. P. M. Guimarães, M. A. Leite, A. P. N. de Oliveira, and M. C. Fredel, 'Porous media of LZSA glass-ceramic for burner applications', in *Materials Science Forum*, 2012, vol. 727, pp. 686–690.
- [24] A.A. Mohamad, 'Combustion in porous media: fundamentals and applications', in *Transport phenomena in porous media III*, Elsevier, 2005, pp. 287–304.
- [25] J. Kuenen et al., 'NFR: 2. A. 3 Glass production, SNAP: 040613 Glass (decarbonizing), ISIC: 2610 Manufacture of glass and glass products.', vol. Version Guidebook 2019, pp. 1–27, 2019.
- [26] C.W. Hibscher, P.R. Davies, M. P. Davies, and D. H. Davis, 'A designer's insight into all-electric melting', 2004.
- [27] R. Stormont, 'Electric melting and boosting for glass quality improvement', *Glass Worldwide*, no. 25, 2009.
- [28] R. Beerkens, 'Analysis of elementary process steps in industrial glass melting tanks—some ideas on innovations in industrial glass melting', *Ceramics-Silikáty*, vol. 52, no. 4, pp. 206–217, 2008.
- [29] K. Watanabe, T. Okuma, and T. Takenaka, 'Evolutionary design framework for Smart PSS: Service engineering approach', *Advanced Engineering Informatics*,

vol. 45, p. 101119, Aug. 2020, doi: 10.1016/j.aei.2020.101119.

- [30] C. J. Brinker and G. W. Scherer, 'Sol, gel, glass: I. Gelation and gel structure', *Journal of Non-Crystalline Solids*, vol. 70, no. 3, pp. 301–322, 1985.
- [31] S. Karellas, D. Giannakopoulos, C.-S. Hatzilau, I. Dolianitis, G. Skarpetis, and T. Zitounis, 'The potential of WHR/batch and cullet preheating for energy efficiency in the EU ETS glass industry and the related energy incentives', *Energy Efficiency*, vol. 11, no. 5, pp. 1161–1175, 2018.
- [32] R. G. Beerkens and J. van Limpt, 'Energy efficiency benchmarking of glass furnaces', 2001.
- [33] A. Gonzalez et al., 'OPTIMELTTM regenerative thermo-chemical heat recovery for oxy-fuel glass furnaces', in *75th conference on glass problems: ceramic engineering and science proceedings*, 2015, vol. 36, p. 113.
- [34] K. Yazawa, A. Shakouri, and T. J. Hendricks, 'Thermoelectric heat recovery from glass melt processes', *Energy*, vol. 118, pp. 1035–1043, 2017.
- [35] S. Mighton, 'Development/Demonstration of an Advanced Oxy-Fuel Front-End System', Owens Corning, 2007.
- [36] A. De Almeida et al., 'VSDs for electric motor systems', Final Report, SAVE Programme, European Commission, Brussels, 2001.
- [37] S. Nadel, *Energy-efficient motor systems: a handbook on technology, program, and policy opportunities*. Amer Council for an Energy, 1991.
- [38] N. Martin, E. Worrell, M. Ruth, L. Price, R. N. Elliott, and A. M. Shipley, 'Emerging Energy-Efficient Industrial Technologies (No. LBNL 46990)', Berkeley, CA: Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.
- [39] M. Benedetti, I. Bertini, V. Introna, and S. Ubertini, 'Explorative study on compressed air systems' energy efficiency in production and use: First steps towards the creation of a benchmarking system for large and energy-intensive industrial firms', *Applied energy*, vol. 227, pp. 436–448, 2018.
- [40] P. Radgen and E. Blaustein, 'Compressed air systems in the European Union', Stuttgart: LOG_X, 2001.
- [41] R. Dindorf, 'Estimating potential energy savings in compressed air systems', *Procedia Engineering*, vol. 39, pp. 204–211, 2012.

ENEA



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI SALERNO

TOR VERGATA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI ROMA



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI DELLA
TUSCIA



ALMA MATER STUDIORUM
UNIVERSITÀ DI BOLOGNA
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE,
CHIMICA, AMBIENTALE E DEI MATERIALI



UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
FIRENZE

RdS
RICERCA DI SISTEMA

La presente pubblicazione è stata realizzata nell'ambito della
Ricerca di Sistema PTR 2019-2021, progetto I.6 "Efficienza
Energetica dei prodotti e dei processi industriali", finanziato dal
Ministero dello Sviluppo Economico